



# VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

## FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

## ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

## HODNOCENÍ PLOCHY SVARU MAG METODOU

EVALUATION OF THE CROSS-SECTION OF THE WELD MAG METHODS

### BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

### AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Vojtěch Pop

### VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Jaroslav Kubíček

BRNO 2017

# Zadání bakalářské práce

Ústav:	Ústav strojírenské technologie
Student:	<b>Vojtěch Pop</b>
Studijní program:	Strojírenství
Studijní obor:	Strojírenská technologie
Vedoucí práce:	<b>Ing. Jaroslav Kubíček</b>
Akademický rok:	2016/17

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:

## Hodnocení plochy svaru MAG metodou

### Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Metoda svařování MAG je světově nejpoužívanější technologií spojování ocelových konstrukcí. Různé typy přenosů kovu v oblouku a nové modifikace metody umožňují svařovat velmi variabilní typy svařenců.

### Cíle bakalářské práce:

1. Zhodnotit současný stav svařování metodou MAG.
2. Vypracovat literární studii na danou metodu.
3. Vyhodnotit parametry a podmínky svařování, které mají vliv na profil svaru.
4. Navrhnout parametry pro experimentální ověření.
5. Porovnat vliv parametrů a typu přenosu na plošný průřez svarů.
6. Provést a vyhodnotit experiment.

### Seznam literatury:

DVOŘÁK, Milan a kol. Technologie II, 2 vyd. CERM Brno, 2004, 237 s. ISBN 80-214-2683-7

PILOUS, Václav. Materiály a jejich chování při svařování, 1 vyd. ŠKODA-WELDING, Plzeň, 2009

BARTÁK, J. Výroba a aplikované inženýrství, 1 vyd. ŠKODA-WELDING, Plzeň, 2009

KOUKAL, Jaroslav a KOLEKTIV AUTORŮ. Materiály a jejich svařitelnost, 1 vyd. Zeross, Ostrava 2001, 292 s. ISBN 80-85771-85-3

AMBROŽ, Oldřich a KOLEKTIV AUTORŮ. Technologie svařování a zařízení, 1 vyd. Zeross, Ostrava 2001, 395 s. ISBN 80-85771-81-0



VEJVODA Stanislav a KOLEKTIV AUTORŮ. Navrhování a posuzování svařovaných konstrukcí a tlakových zařízení, 1 vyd. Zeross, Ostrava 1999, 249 s. ISBN 80-85771-70-5

BARTÁK, Jiří a KOLEKTIV AUTORŮ. Výroba a aplikované inženýrství ve svařování, 1 vyd. Zeross, Ostrava 2000, 214 s. ISBN 80-85771-72-1

ONDREJČEK, P. Zváranie ocelí v ochrane plynov taviacou sa elektródou, 1 vyd. ETERNA PRESS s.r.o. Bratislava 2003, ISBN 80-968359-5-5

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2016/17

V Brně, dne

L. S.

---

prof. Ing. Miroslav Píška, CSc.  
ředitel ústavu

---

doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.  
děkan fakulty

## **ABSTRAKT**

POP Vojtěch: Hodnocení plochy svaru MAG metodou.

---

Práce obsahuje návržení svařovacích parametrů a následné vyhodnocení profilu svaru, který je svařený metodou MAG. Na základě literární studie problematiky obloukového svařování v ochranných atmosférách bylo navrženo svařování drátem o průměru 1mm označený podle katalogu OK AristoRod 12.50 a chemickém složení odpovídající G3Si1. Svařován byl plech o tloušťce 4mm z oceli ČSN 11 375 a svařováno bylo v ochranné atmosféře M21, která odpovídá směsi Ar + 8% CO<sub>2</sub>. Svařováno bylo dvěma typy oblouku, impulsním a zkratem, přičemž zdroj byl Aristo Mig U5000i. Výsledné mechanické vlastnosti a chemické složení svaru je uvedeno v příloze, kde najdeme inspekční certifikát 3.1

Klíčová slova: MAG, svařování, teorie, plyn, technologie, profil svaru

## **ABSTRACT**

POP Vojtěch: Evaluation of the cross-section of the weld MAG methods.

---

This thesis focuses on the design of welding parameters and subsequently evaluates profile of the weld that is welded by the MAG method. On the basis of the literature study on arc welding in protective atmospheres, a 1 mm diameter welding was designed according to OK AristoRod 12.50 catalogue and chemical composition corresponding to G3Si1. A 4 mm thick steel sheet made from ČSN 11 375 steel was welded and the welding was conducted in protective atmosphere M21, which equals a mixture of Ar + 8% CO<sub>2</sub>. Welding was conducted using two types of an arch, impulse and short-circuit, and the source was Aristo Mig U5000i. Final mechanical properties and chemical composition of the weld is included in the attachment, where we can find the inspection certificate 3.1.

Keywords: MAG, welding, theory, gas, technology, profile of the weld

## **BIBLIOGRAFICKÁ CITACE**

POP, Vojtěch. *Hodnocení plochy svaru MAG metodou*. Brno, 2017. 38s, 3 přílohy, CD. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství. Ústav strojírenské technologie, Odbor technologie svařování a povrchových úprav. Vedoucí práce Ing. Jaroslav Kubíček.

## **ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ**

Tímto prohlašuji, že předkládanou bakalářskou práci jsem vypracoval samostatně, s využitím uvedené literatury a podkladů, na základě konzultací a pod vedením vedoucího bakalářské práce.

V Brně dne 27.5.2017

.....

Podpis

## **PODĚKOVÁNÍ**

Tímto děkuji panu Ing. Jaroslavu Kubičkovi za cenné připomínky při vypracování bakalářské práce. Dále děkuji Rudolfu Hrabinovi z firmy ESAB za rady a pomoc při vytvoření praktické části bakalářské práce v laboratořích firmy ESAB a dále děkuji své rodině za poskytnutí financí a dobrých podmínek při studiu na vysoké škole.

# OBSAH

Zadání  
Abstrakt  
Bibliografická citace  
Čestné prohlášení  
Poděkování  
Obsah

<b>ÚVOD</b> .....	<b>9</b>
<b>1 OBLOUKOVÉ SVAŘOVÁNÍ V OCHRANNÉ ATMOSFÉŘE</b> .....	<b>10</b>
1.1 TIG (WIG) .....	11
1.2 MIG/MAG .....	12
<b>2 TEORIE SVAŘOVÁNÍ METODOU MAG</b> .....	<b>13</b>
2.1 PŘÍDAVNÝ MATERIÁL .....	13
2.1.1 Svařovací drát .....	14
2.1.2 Ochranný plyn.....	15
2.2 CHEMICKÉ REAKCE VE SVAROVÉ LÁZNI .....	16
2.3 ELEKTRICKÝ OBLOUK.....	18
2.3.1 Zdroje svařovacího proudu.....	19
2.3.2 Přenos materiálu z elektrody do svarové lázně .....	20
2.4 VADY SVAROVÝCH SPOJŮ.....	23
<b>3 EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST – NAVRŽENÍ PARAMETRŮ</b> .....	<b>25</b>
3.1 VÝPOČET TEPELNÉHO PŘÍKONU .....	26
3.1.1 Výpočty tepelného příkonu pro každý vzorek.....	27
<b>4 VYHODNOCENÍ SVAŘOVANÝCH VZORKŮ</b> .....	<b>28</b>
<b>5 SHRUTÍ VÝSLEDKŮ</b> .....	<b>37</b>
<b>ZÁVĚR</b> .....	<b>38</b>

Seznam použitých zdrojů  
Seznam použitých symbolů a zkratk  
Seznam obrázků  
Seznam tabulek  
Seznam příloh

## ÚVOD [10][14][17]

Před 70-ti lety byl položen základ technickému vývoji v oblasti obloukového svařování v ochranném plynu. Tehdy ještě nikdo netušil, že do budoucna tato metoda nalezne obrovské univerzální využití při svařování nelegovaných a legovaných ocelí. Tato metoda dostala dále velkému využití i při svařování lehkých a barevných kovů v kovozpracujícím průmyslu.

Píše se rok 1970 a svařování metodou MIG/MAG začíná být nejpoužívanější metoda svařování vůbec. V této době se touto metodou svářelo nejen při výrobě velkých ocelových konstrukcí, tlakových nádob a výrobě kotlů, ale především v automobilovém, strojírenském, chemickém a také spotřebním průmyslu.

V posledních letech má MIG/MAG stále většího uplatnění a to díky možnosti svařování více variantami. Jednak se může svářet jednou tavicí nebo dvěma tavicími elektrodami, ale i elektrodou páskovou. Svářet automatizovanými procesy nebo využívat adaptivní řídicí procesy. Aplikování svářecích robotů je metodou MAG lehce dosažitelné bez dalších komplikací, které při svařování mohou nastat.



Obr. 1. Příslušenství pro svařování metodou MAG

# 1 OBLOUKOVÉ SVAŘOVÁNÍ V OCHRANNÉ ATMOSFÉŘE

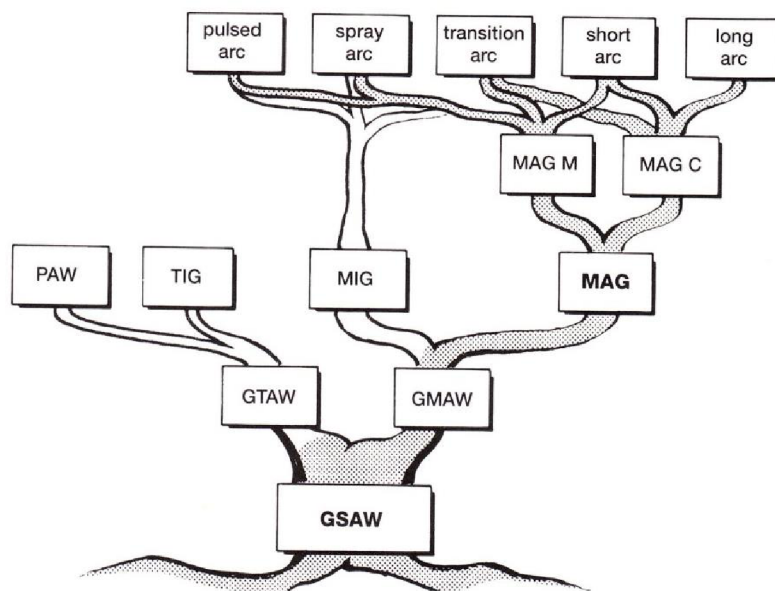
## [8][13]

Dnešní poptávka a růst objemu ve svařování všeho druhu po celém světě vyžaduje princip svařet co nejrychleji a co nejlevněji. Svařování v ochranných atmosférách má tu výhodu, že kromě vysokých svařovacích rychlostí a možnosti nastavení širokého spektra svařovacích parametrů, můžeme svařovat takřka všechny typy materiálů v různých odvětvích výroby (viz obr. 2). Metoda MIG/MAG nám v posledních letech rychle nahrazuje metodu svařování obalenou elektrodou. Při svařování velkých konstrukcí nejčastěji z hliníku nebo jeho slitin je nejvyužívanější metoda MIG, která díky čistotě ochranné atmosféry zajistí naprosto čisté a kvalitní svary. Dále při narůstající výrobě se využívá více svařecích robotů a automatizovaných systémů, které jsou pro svařování v ochranných atmosférách lehce programovatelné. Při svařování velkých potrubních systémů, potravinářského, chemického průmyslu a svařování konstrukcí, které mají odolávat vysokým teplotám, například reaktory jaderných elektráren, je uplatněna technologie svařování v ochranné atmosféře metodou TIG (WIG). Pro přiblížení jaká byla spotřeba svařovacího drátu, máme obrázkovou ukázkou z posledních let minulého století v příloze.

V Evropě se mezi lety 1975 a 2002 spotřebovalo 401 tisíc tun přídavného materiálu. Z toho 294 000 tun (74%) byl materiál spotřebováván v metodách MIG/MAG, 49 000 tun (12%) materiál pro svařování elektrodou, 34 000 tun (8%) pro svařování trubičkou a 23 000 tun (6%) pro metodu svařování pod tavidlem.

V tom samém období, ale v USA se celkově spotřebovalo 347 000 tun přídavného materiálu. Metoda MIG/MAG se zasloužila o 204 000 tun (59%), trubička 67 000 tun (19%), elektroda 60 000 tun (17%) a svařování pod tavidlem 16 000 tun, což činilo 5% spotřeby přídavného materiálu v USA.

Dalším světovým gigantom ve svařování je Japonsko, to si v poslední části 20. století vedlo následovně. 127 000 tun (53%) svařecího drátu bylo pro metodu MIG/MAG, 64 000 tun (27%) pro svařování trubičkou, 36 000 tun (15%) pro metodu svařování elektrodou a pod tavidlem se spotřebovalo 13 000 tun drátu (5%). Celková spotřeba v Japonsku tedy byla 240 000 tun svařovacího materiálu mezi lety 1975 a 2002.



Obr. 2. Varianty svařování v ochranné atmosféře



## 1.1 TIG (WIG) [7][8][15][16]

Název TIG pochází z anglického ‚Tundsten inert gas‘, což v doslovném překladu znamená ‚wolfram netečný plyn‘. V Evropě se můžeme častěji setkat s názvem WIG, kde se nejedná o změnu technologie, ale pouze o zkratku převzatou z němčiny, kde ‚W‘ symbolizuje německy wolfram.

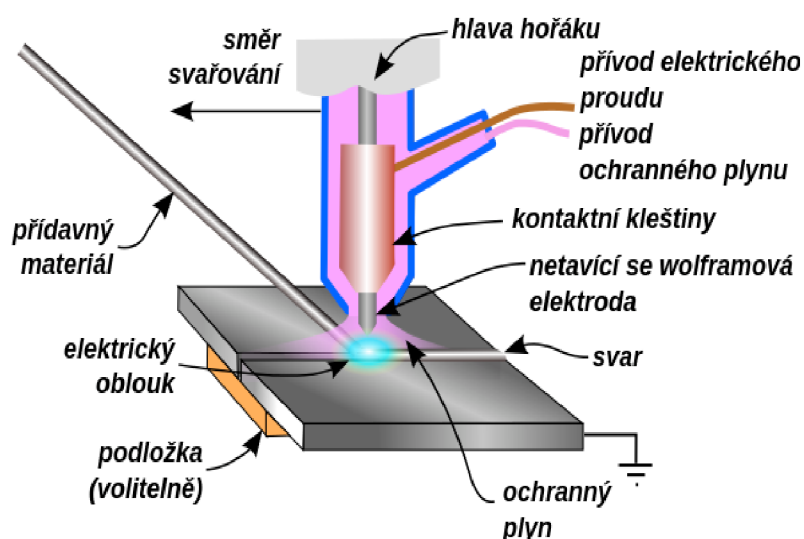
Princip svařování touto metodou spočívá v hoření oblouku mezi základním materiálem a netavící se wolframovou elektrodou (viz obr. 3). Tavná lázeň a elektroda jsou zároveň v ochranné atmosféře, kterou tvoří nereagující plyn o vysoké čistotě. Hlavními plyny, které se užívají, jsou helium, argon nebo jejich směsi. Čistota těchto směsí musí být minimálně 99.995%. Přisun přídavného materiálu je dvojího typu. První typ je přidávání materiálu ručním způsobem. Druhým typem je svařování pomocí automatického podavače drátu, kde rychlost podávání lze nastavit podle parametrů svařování. Přídavný materiál musí být u metody TIG o přesném chemickém složení, jelikož tento druh svařování užíváme k nejkvalitnějším svarům, kde je požadovaná vysoká bezpečnost. Pro slitiny hliníku a hořčíku se používá střídavý proud. Stejnoseměrný proud se používá pro vysokolegované ocele, nikl, měď, titan a molybden. Z ekonomických důvodů se TIG používá pro svařování uhlíkatých ocelí zcela výjimečně. Navíc je zde riziko vzniku porů.

Výhody svařování metodou TIG:

- Působením inertního plynu se chrání svarová lázeň a oblast ohřátá po svařování a dále nereaguje se vzdušným kyslíkem, zabraňuje i vzniku strusy a výsledkem je čistý povrch svaru, není nutné použití tavidel,
- malá tepelně ovlivněná oblast a minimální deformace,
- jednoduchá obsluha, dobře viditelná svarová lázeň, lehká změna tvaru svařovacího oblouku magnetickým polem,
- oblouk je stabilní v širokém rozsahu svařovacích proudů.

Nevýhody svařování metodou TIG:

- Pomalejší rychlosti svařování než u MIG/MAG,
- finančně náročnější díky používání drahých, vzácných plynů a vysoké náročnosti na čistotu a chemické složení přídavného drátu.



Obr. 3. Schéma svařování metodou TIG (WIG)

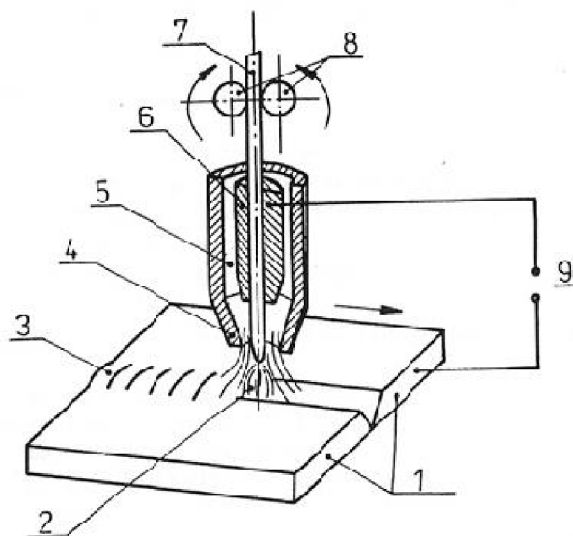
## 1.2 MIG/MAG [1][6][8]

Největšími giganty na světovém trhu je svařování v ochranné atmosféře užitím aktivního plynu MAG a metoda svařování obalenou elektrodou. Tyto metody se nejvíce používají pro svařování nelegovaných a nízkolegovaných ocelí, které tvoří největší procento světové výroby v kovo zpracujícím průmyslu. Technologie svařování v inertním plynu metodou MIG má vysokého využití při svařování větších konstrukcí, trupy lodí a jiné dopravní prostředky, užívající pro své konstrukce hliníkové slitiny. Tyto způsoby se dostali do světového popředí hlavně kvůli možnosti vybírání ze širokého spektra přídatných materiálů a ochranných plynů různého složení.

Hlavním mechanismem svařování metodou MIG/MAG je hořící oblouk mezi základním materiálem a tavící se elektrodou, která je ve formě drátu. Celý proces, který obsahuje drát i oblouk, je v ochranné atmosféře plynu. Tyto plyny jsou inertní nebo aktivní. Drát je napájen elektrickým proudem, který se mu dostává při třecím kontaktu v místě ústí hořáku. Je tomu tak, aby délka drátu, který je elektricky zatížen, měl co nejmenší délku. Podávání drátu má více variant. V každé variantě zde máme podávací kladky (viz obr. 4), které nám sunou drát do hořáku nastavenou rychlostí, liší se pouze v umístění těchto kladek. Kladky mohou být umístěny u vlastního hořáku, v podavači, nebo se mohou kombinovat oba systémy posouvající drát z cívky o hmotnostech 15 kg. Metoda MAG využívá při svařování nejvyšších proudových hustot a to až do hodnot  $600 \text{ A} \cdot \text{mm}^{-2}$  při velikostech svařovacího proudu kolem 30 A. U svařování tenčími dráty o průměrech 0,6-0,8 mm, kdy svařujeme většinou plechové stěny, můžeme dosahovat až hodnot proudu 800 A, tyto metody jsou označovány jako vysokovýkonné a téměř vždy bývají mechanizované. Díky možnosti použití vysokých proudů při svařování se můžeme dostat na rychlost svařování až  $150 \text{ cm} \cdot \text{min}^{-1}$  a rychlost odkapávající elektrody v oblouku může dosahovat až rychlostí  $130 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ .

Princip svařování metodou MAG:

1. Základní materiál,
2. působení elektrického oblouku,
3. svarovou housenku,
4. plynovou trubici,
5. místo proudění ochranného plynu,
6. místo přenosu proudu do drátu
7. přídatný drát,
8. mechanismus podávacího zařízení
9. zdroj proudu.



Obr. 4. Schéma svařování metodou MIG/MAG

Důležitým faktorem pro svařování je přenos kovu z elektrody do svaru, přesněji svarové lázně. Přenos je ovlivněn parametry svařování a na složení ochranného plynu. Pro svařování tenkých plechových konstrukcí používáme běžný oblouk zkratového typu, naopak pro silnější konstrukce používáme oblouk sprchový. Chování oblouku se nám mění, když používáme vyšší hodnoty proudů, kde vlivem elektromagnetických sil docílíme toho, že oblouk začne rotovat. Kapky během procesu svařování mají teplotu, která se pohybuje mezi  $1700$  až  $2500 \text{ }^\circ\text{C}$  a ve svařovací lázni se dostáváme na teploty kolem  $1600$  až  $2100 \text{ }^\circ\text{C}$ , záleží na použité technologii, chemickém složení a vlastnostech materiálu a dále na parametrech svařování.

## 2 TEORIE SVAŘOVÁNÍ METODOU MAG [1][6][7][8]

Základními charakteristickými rysy této metody jsou přídavné materiály, chemické reakce vzniklé působením ochranné atmosféry v průběhu svařování, chování a tvarování elektrického oblouku změnou proudu, tepelně ovlivněná oblast, deformace a pnutí vzniklé po svařování a zkoušky svarů a jejich poruchy. V této kapitole si postupně rozebereme každou zmíněnou problematiku, ale nejdříve je dobré si objasnit rozdíl mezi metodou svařování MAG a MIG.

Obě tyto metody spadají do obloukového svařování tavící se elektrodou v ochranné atmosféře. Jediný rozdíl je patrný už z názvu. Metal active gas (kov aktivní plyn) a metal inert gas (kov inertní plyn), zde vidíme, že rozdíl je tedy v ochranné atmosféře.

- Metoda MAG je typ svařování, kdy se plyn tvořící ochrannou atmosféru aktivně účastní chemických reakcí v tavné lázni a pomáhá dotvářet svar. Tato metoda se sice využívá na méně kvalitní svary, ale vyčnívá svou vysokou produktivitou, levnými náklady na svařování a jednoduchostí řízení svařovacího procesu.
- Metoda MIG používá přídavný plyn pouze jako ochranu proti nečistotám a okolnímu prostředí, plyn tvořící ochrannou atmosféru zde není účastníkem chemických reakcí v tavné lázni. Díky vysoké čistotě ochranné atmosféry nám vznikají svary o vysoké jakosti, ale nevýhodou je vysoká pořizovací cena inertních plynů, kterými jsou většinou vzácné plyny jako helium a argon.



**ARGON**

### 2.1 Přídavný materiál [8][11][18]

Přídavným materiálem pro svařování metodou MAG je svařovací drát, který je do hořáku přiváděn podávacím zařízením, které je umístěné odděleně nebo je umístěno přímo ve zdroji svařovacího proudu. Tyto dráty obvykle dosahují průměrů 0,8-1,6mm. P volbu drátu jsou hlavními ukazateli minimální hodnoty pevnosti základního materiálu a parametry provozní, ve kterých bude pracovat svařovací zařízení. Hlavní podmínkou je, že pevnost svarového kovu má být stejná nebo o něco vyšší než mez kluzu nebo pevnost materiálu základního.

Další přídavný materiál je ochranný plyn, který je často tvořen  $\text{CO}_2$  nebo směsí oxidu uhličitého a kyslíku. Zde musíme mít na paměti, že kyslík i oxid uhličitý jsou chemicky aktivními prvky.

Při vysokých teplotách v elektrickém oblouku dochází k rozkladu oxidu uhličitého na kyslík a oxid uhelnatý. Kyslík nám způsobí vyhoření manganu a křemíku, protože tyto prvky mají lepší schopnost se s kyslíkem sloučit než prvek železo. Aby nedocházelo po jejich vyhoření k oxidaci železa a vzniku pórů důsledkem oxidu uhelnatého, musíme změnit chemické složení přidávaného drátu tak, aby měl větší obsah manganu a křemíku, což jsou prvky dezoxidující.

### 2.1.1 Svařovací drát [8][11]

Svařovací dráty řadíme podle jejich chemického složení, uvedeno v tabulce č.3. Třídění svarových kovů provádíme tak, že jim přiřadíme doplňující symboly podle jejich mechanických vlastností a užití ochranného plynu.

Právě svařovací drát je jednou z velkých výhod metody svařování MIG/MAG, kde drát, který není obalený, lze lehce navinout na cívky a plynule dodávat do svarové lázně bez častých a nepohodlných výměn. Současně nám vede svařovací proud až do těsné blízkosti odtavujícího konce, jenž přijímá prostým třením o kontaktní špičku hořáku

Složení z pěti částí:

1. Označení výrobku/metody sváření
2. Číselné označení pevnosti a tažnosti svarového kovu
3. Číselné označení nárazové práce svarového kovu
4. Označení ochranného plynu (M – směsi plynů, ale bez helia, C – oxid uhličitý)
5. Označení chemického složení svařovacího drátu

Příklad označení:

Svarový kov s nejnižší nárazovou prací 47 J při -30 °C, nejnižší mezí kluzu 460 MPa a je navářen drátem G3Si ve směsném plynu, je označován: ČSN EN ISO 14341 – G 46 3 M G3Si1

Svařovací drát o chemickém složení, který odpovídá G3Si1 se značí:

ČSN EN ISO 14341 – G3Si1, kde ČSN EN ISO 14341 je číslo normy

- G svařování v ochranném plynu
- 46 tažnost a pevnost (tabulka č. 1)
- 3 nárazová práce (tabulka č. 2)
- M ochranný plyn

G3Si1 chemické složení drátu (tabulka č. 3)

Tabulka č.2 – Označení nárazové práce svarového kovu

označení	teplota pro nárazovou práci
Z	Nepožaduje se
A	20
0	0
2	-20
3	-30
4	-40
5	-50
6	-60

### 2.1.2 Ochranný plyn [1][6][8]

Svařování metodou MIG, MAG nachází rozsáhlé uplatnění díky své technicko-ekonomické výhodě, kde můžeme pro materiály nižší jakosti používat levnější plyn nebo směs plynů. Tavná lázeň je před negativními vlivy dusíku a kyslíku (ve vzduchu) chráněna netečným (inertním) ochranným plynem nebo aktivním či směsí aktivních plynů.

Pro svařování metodou MIG jsou využívány drahé inertní plyny helium He a argon Ar, se kterými se svařují nejčastěji vysokolegované oceli, hliníky, speciální slitiny či barevné kovy. Ideální množství ochranného plynu závisí na více faktorech jako druh spoje, parametry svařování ale i na povětrnostních podmínkách při sváření v málo izolovaných místnostech. Dokonalé ochrany svarové lázně docílíme při spotřebě 12 až 17 litrů/min.

Masivní ocelové konstrukce a jiná zařízení nejčastěji vyrábíme z nelegovaných či nízkolegovaných ocelí. Pro svařování těchto typů materiálů nám stačí samotný, levný oxid uhličitý nebo směsné plyny, které mohou obsahovat dvě až čtyři složky. Nejčastějšími složkami těchto směsí jsou aktivní oxid uhličitý a argon.

Dále při volbě ochranného plynu musíme uvažovat chemické složení svarového kovu, přesněji jeho obsah uhlíku C, křemíku Si a manganu Mn.

Tabulka č. 4 – Rozdělení plynů dle chemického charakteru – norma ČSN EN ISO 14 175

Označení		Prvky v objemových procentech			
Skupina	Podskupina	Oxidační		Inertní	Redukční
		CO <sub>2</sub>	O <sub>2</sub>	Ar	H <sub>2</sub>
M 1	1	0,5 - 5%		zbytek	0,5 - 5%
	2	0,5 - 5%		zbytek	
	3		0,5 - 3%	zbytek	
	4	0,5 - 5%	0,5 - 3%	zbytek	
M 2	0	0,5 - 15%		zbytek	
	1	15 - 25%		zbytek	
	2		3 - 10%	zbytek	
	3	0,5 - 5%	3 - 10%	zbytek	
	4	5 - 15%	0,5 - 3%	zbytek	
	5	5 - 15%	3 - 10%	zbytek	
	6	15 - 25%	0,5 - 3%	zbytek	
	7	15 - 25%	3 - 10%	zbytek	
M 3	1	25 - 50%		zbytek	
	2		10 - 15%	zbytek	
	3	25 - 50%	2 - 10%	zbytek	
	4	5 - 25%	10 - 15%	zbytek	
	5	25 - 50%	10 - 15%	zbytek	
C	1	100			
	2	zbytek	0,5 - 30%		

Láhve na stlačené ochranné plyny jako hélium, argon a směsi těchto plynů mají obsah 50 litrů. Lahve sloužící pro běžnou přepravu plynů plněné přetlakem 200 barů začínají být pomalu vyměňovány za moderní lahve s konkávním (dutým) dnem, jejich tloušťka stěn je 7 mm a plní se přetlakem až 300 bar. V České republice, zde máme firmu VÍTKOVICE Lahvárna, a. s., která vyrábí tyto typy lahví i pro zahraniční poptávku.



Tabulka č. 5 - Směsi plynů

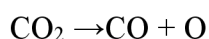
Druh plynu	Složení	Použití
CO <sub>2</sub>	CO <sub>2</sub> 99,9%	Svařování tenkých plechů při zkratovém přenosu kovu v oblouku, hluboký závar, značný rozstřík
Dvojsložkové směsi Ar + CO <sub>2</sub>	Ar + 8 až 20 % CO <sub>2</sub>	Stabilní elektrický oblouk, malý rozstřík, dobrý závar, univerzální použití
Trojsložkové směsi AR + CO <sub>2</sub> + O <sub>2</sub>	Ar + 5 až 13 % CO <sub>2</sub> 1 až 5 % O <sub>2</sub>	Hladké a čisté svary, vhodné pro mechanizované sváření, pozvolný přechod svaru do základního materiálu
Čtyřsložkové směsi Ar + He + CO <sub>2</sub> + O <sub>2</sub>	různé	Stavby lodí, kolejová vozidla, těžké strojírenství, vysoké svařovací rychlosti při malém rozstříku

## 2.2 Chemické reakce ve svarové lázni [6][12]

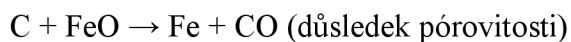
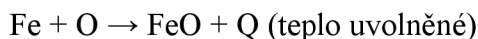
Během svařování dochází k mnoha chemickým reakcím na více místech svařovacího procesu. Základními reakcemi jsou reakce metalurgické, dále pak reakce ochranného plynu s kapkou natavené elektrody a reakce ochranné atmosféry s povrchem svarové lázně.

Základními metalurgickými reakcemi jsou:

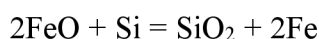
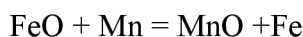
1) reakce plynu s elektrickým obloukem



2) Reakce v tavné lázni



3) Legování manganem Mn a křemíkem Si



Tabulka č. 6 – 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 <sub>2</sub> , MnO - produkty desoxidace vyplavou do strusky

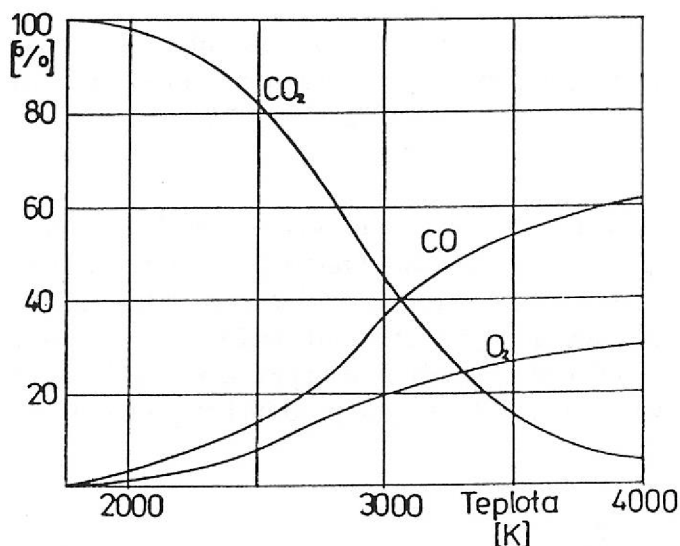
Plyny tvořící aktivní ochrannou atmosféru dělíme podle působení na svarový kov na oxidační, redukční a nauhličující. Oxidační plyny obsahují směsi kyslíku, plyny s redukčním účinkem na tavnou lázeň obsahují vodík nebo se užívá čistého vodíku a plyny obsahující uhlík nám svarový kov nauhličují.

Podstatnými metalurgickými reakcemi jsou desoxidační a oxidační, které probíhají v kapkách tavicí se elektrody a v nataveném svarovém kovu. Jejich působením se nám mění tvar oblouku a povrch svaru. Celkově ovlivňují vnitřní čistotu svaru, tvar svarové housenky a přechod z housenky do základního materiálu. Velikost ovlivnění reakcí je podmíněno hlavně množstvím disociovaného kyslíku, který se následně slučuje v tavenině s dalšími prvky.

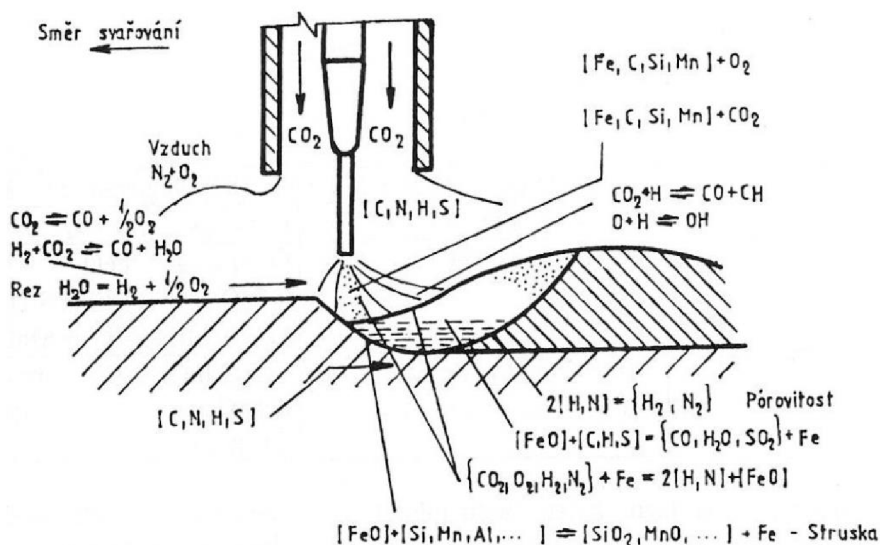
V oblouku se nám kyslík objevuje z ochranného plynu se směsí argonu Ar + (1-3) % O<sub>2</sub>. Dále se může vyskytnout disociací molekul CO<sub>2</sub>, které se dále rozpadají na O<sub>2</sub> a CO. Reakce, které probíhají při vzniku kapky tavicí se elektrody vidíme na obr. 6. Hlavní reakce jsou oxidační, konkrétněji slučování kyslíku s železem (Fe), manganem (Mn) a křemíkem (Si) a dále slučování s uhlíkem při vzniku oxidu uhelnatého (CO).

Svarový kov ve formě kapek je při přechodu do tavné lázně obohacen kyslíkem a má vysokou teplotu, protože probíhající oxidační reakce jsou exotermické. Stejně se tomu děje i na povrchu taveniny. Velikost tepla je závislá na množství přidávaného kyslíku v ochranné atmosféře. Z těchto exotermických reakcí je velké množství tepla odvedeno do okolního materiálu, což nám způsobuje oválnější a hlubší svarovou lázeň při svařování s atmosférou CO<sub>2</sub>, kde schopnost oxidace je větší než u směsi CO<sub>2</sub> a Argonu.

Dále při slučování C a FeO se nám tvoří bubliny CO, které nám způsobují pórovitost a bubliny ve svarech, proto je lepší provádět důkladnou desoxidaci taveniny. Desoxidační prvky jsou Si a Mn, které jsou formou přídavných materiálů dodávány do taveniny v určitém poměru, aby struska měla ideální tekutost a lehce vyplovala na povrch tavné lázně. Nejideálnější poměr mezi manganem a křemíkem je 1,5 – 1,8 : 1. Optimální složení přídavných materiálů bývá: uhlík 0,1%, mangan 1,7%, křemík 1%.



Obr. 5. Disociace CO<sub>2</sub> v závislosti na teplotě

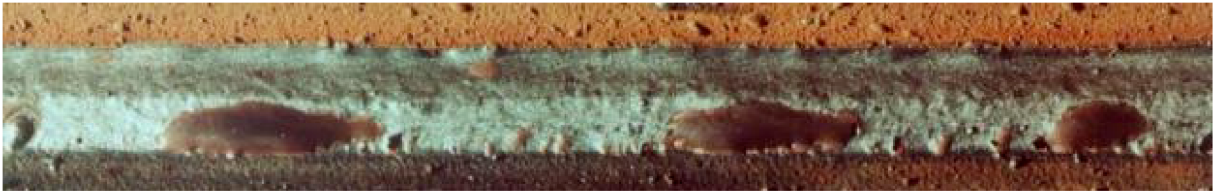


Obr. 6. Chemické reakce při svařování

Z těchto desoxidačních reakcí nám tedy vznikají oxidy, které jsou na povrchu svarové lázně, kde ve strusce vytváří malé tečky (ostrůvky). Množství strusky je úměrné na obsahu CO<sub>2</sub> a O<sub>2</sub> ve ochranné atmosféře, při užití čistého CO<sub>2</sub> je normální množství strusky 1g na 150g návaru.

Při správném zvolení ochranné atmosféry můžeme docílit takřka ideálního svaru (viz. Obrázek č.7 )

Příklad si uvedeme na svařování nelegované oceli dvěma typy ochranné atmosféry.



Obr. 7. Svařování nelegované oceli, drát G3Si1, plyn 100% CO<sub>2</sub>



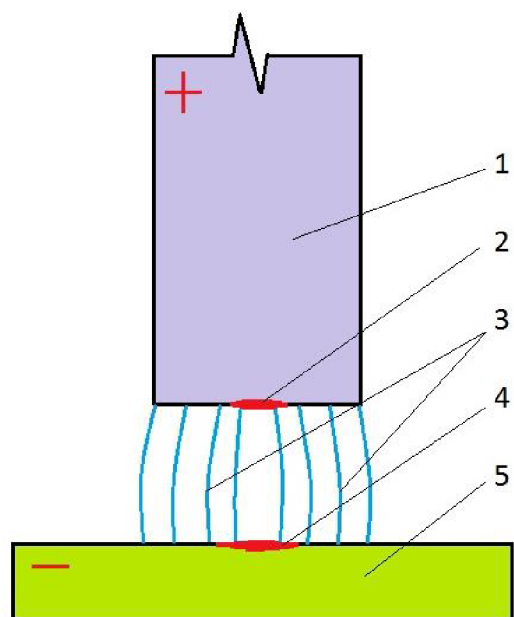
Obr. 8. Svařování nelegované oceli, drát G3Si1, plyn 82% Ar + 18% CO<sub>2</sub>

### 2.3 Elektrický oblouk [1][6][7][8][12]

Obecně můžeme říci, že elektrický oblouk je fyzikální jev, který lze zařadit mezi elektrické výboje. Během tohoto výboje se uvolní velké množství tepla, které vzniká přeměnou kinetické energie z částic ionizovaného plynu. Ve středu sloupce nám teplota oblouku dosahuje nejvyšších hodnot a je závislá na stupni jeho ionizace. Můžeme zde rozlišit několik oblastí z nichž nejdůležitější jsou na obrázku č.9.

1. Katoda
2. katodová skvrna
3. sloupec Oblouku
4. anodová skvrna
5. anoda.

Katodová skvrna je místo, které termickou emisí vypouští prvotní elektrony, které jsou důležité pro zapálení oblouku a ionizaci plynného prostředí. Zde mají elektrony důsledkem úbytku napětí tak obrovskou kinetickou energii, že při srážkách ionizují neutrální atomy na ionty a elektrony. Zářivě svítící oblast mezi anodou a katodou je sloupec oblouku, který je vlastně ionizovaný plyn ve formě plazmy o vysoké teplotě. Tato teplota závisí na mnoha faktorech, především na počtu srážek částic v oblouku, který je závislý na velikosti proudu a napětí, dále na prostředí oblouku, například u 90% disociace se dosáhne u CO<sub>2</sub> při



Obr. 9. Elektrický oblouk



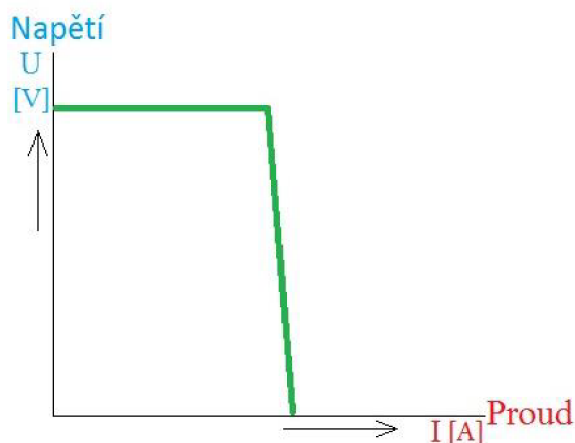
teplotě 3500 °C, vodíku 4300 °C, dusíku 560 °C a kyslíku 4830 °C. V místě anodové skvrny se elektrony neutralizují, zde se kinetická energie mění na tepelnou a částečně i na elektromagnetické záření. Teplota v těchto místech dosahuje teplot kolem 2700 – 3600 °C.

### 2.3.1 Zdroje svařovacího proudu [8]

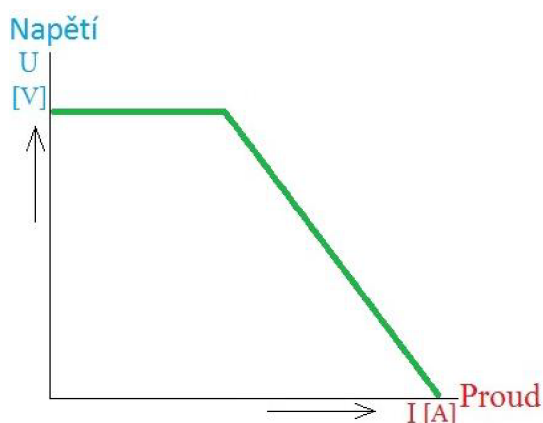
Zdroje svařovacího proudu můžeme rozdělit do tří kategorií:

- Podle druhu proudu – rozdělujeme na **stejnoseměrné**, kam patří svařovací agregáty, usměrňovače a invertorové zdroje, dále na **střídavé**, které zahrnují transformátory
- Podle konstrukce – rozdělujeme na **točivé** (svařovací agregáty) a **netočivé** kam patří usměrňovače, transformátory a invertorové zdroje.
- Podle tvaru statické voltampérové charakteristiky – kde zdroje mohou mít statickou charakteristiku **strmou**, **mírně klesající** a **plochou** (viz obr.10a, 10b, 10c).

Statická neboli voltampérová charakteristika zdroje svařovacího proudu je znázornění závislosti mezi svařovacím proudem a napětím v grafu. Pro ruční mechanizované svařování se používají zdroje s charakteristikou strmou. Nastavením rychlosti podávání drátu se nám automaticky nastavuje i proud, ale rozdíly mezi napětím přitom zůstávají velmi malé. Charakteristika s konstantním napětím se nazývá plochá a je vhodná pro mechanizované způsoby svařování.



Obr. 10a. Graf strmé VA charakteristiky



Obr. 10b. Graf mírně klesající VA charakteristiky



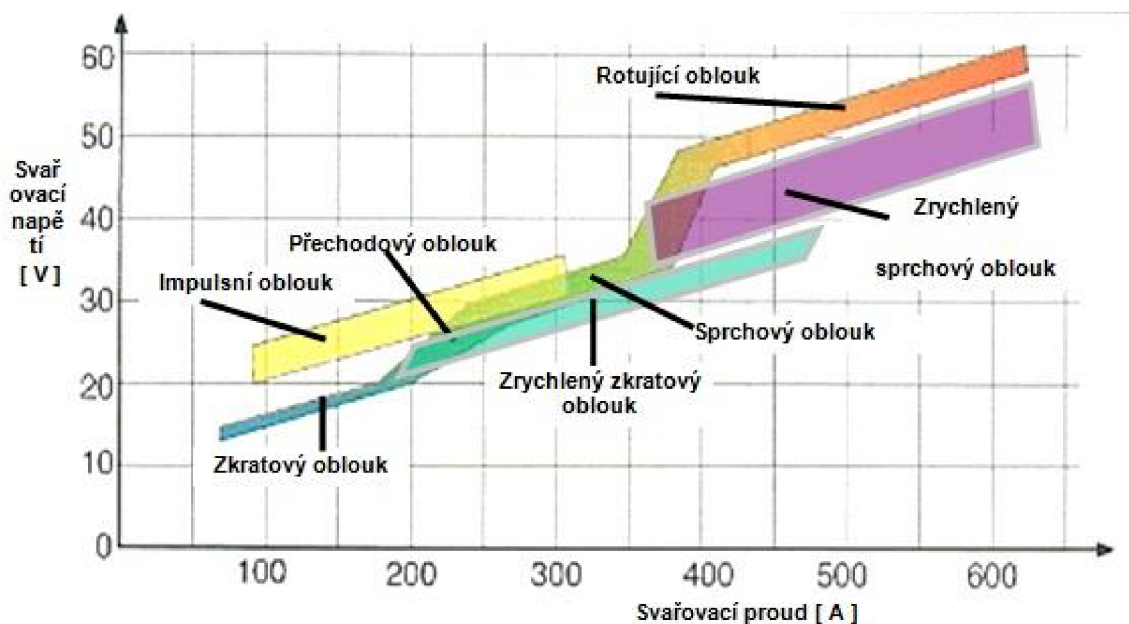
Obr. 10c. Graf ploché VA charakteristiky

### 2.3.2 Přenos materiálu z elektrody do svarové lázně [1][6][7][12]

Přenos kovu v oblouku je jedna z nejzákladnějších charakteristik metody svařování elektrickým obloukem. Ovlivňuje nám tvar svaru a přímo závisí na svařovacích parametrech, hlavně tedy na napětí a proudu, které nám podle jejich velikosti mohou utvářet různé tvary a typy oblouků. Dále nám tvar oblouku také ovlivňuje typ a složení ochranného plynu, technika svařování a chemické složení přidávaného materiálu.

Při svařování se nám můžou vytvořit tyto typy oblouku (viz obr 12.):

- Krátký oblouk se zkratovým přenosem kovu
- krátký oblouk se zrychleným zkratovým přenosem
- přechodový dlouhý oblouk s nepravidelnými zkraty (kapkový)
- sprchový dlouhý oblouk s bezzkratovým přenosem
- oblouk impulzní bezzkratový
- moderovaný bezzkratový přenos – zrychlený zkratový přenos
- oblouk s rotujícím přenosem kovu.



Obr. 11. Oblasti výskytu typů oblouků v závislosti napětí a proudu.

**Krátký oblouk se zkratovým přenosem kovu** jednoduše přenos zkratový je uplatňován v rozmezí napětí 14 - 22V a proudu 60 – 180A. Při této metodě dochází k přerušení oblouku zkratem, kdy se nám oddělí část kovu z elektrody (viz obr. 12). Při vysokém napětí a nižším proudu svařování elektrodou o průměru 1,2mm frekvence oddělování kapek je přibližně 5 kapek za sekundu a je docíleno většího rozstříku. Při opačném nastavení parametrů, kdy máme vyšší proud a napětí na hodnotách kolem 14V, se počet zkratů dostane až na 200 za sekundu. Proces odkapávání souvisí se zkracující se délkou oblouku, kdy přibližující drát se nám do zkratu s tavnou lázní přiblíží dříve, zde je zamezen růst kapky kovu. Kvůli



Obr. 12. Krátký oblouk

povrchovému napětí taveniny je kapka rovnoměrně rozptýlena ve svarové lázni. Pro uskutečnění zkratového procesu je nutné, aby zdroj uměl dynamické změny proudu. Tento druh se vyznačuje jemným praskavým tónem při vysokém proudu, naopak při vyšším napětí se nám vytváří hluboký měkký tón. Výhoda zkratového přenosu je možnost svářet ve všech druzích ochranné atmosféry. Tuto metodu užíváme při svařování tenkých plechů, kořenových vrstev tupých svarů, širších mezer a vysokolegovaných ocelí. Pro elektrodu o průměru 0,8mm můžeme volit proud v rozsahu 50 – 130A, pro 1mm používáme proud 70 – 160A a pro elektrodu 1,2mm mohou být proudy 90 – 200A.

**Krátký oblouk se zrychleným zkratovým přenosem** je rychlý přenos kovu a je specifický svými parametry, kdy napětí zůstává jako u běžného krátkého oblouku mezi 14 – 25V, ale proud se pohybuje nad 200A, tedy v oblasti sprchového přenosu. Z toho vyplývá i vyšší výkon navaření 3 – 10 kg.hod<sup>-1</sup> oproti 1 – 3 kg.hod<sup>-1</sup> u běžného zkratu. Jelikož je vzdálenost plynové hubice od materiálu poměrně vzdálenější, je nutné zvýšit průtok plynu na 20 – 30 l.min<sup>-1</sup>. Užíváme jej pro svařování vysokými rychlostmi, tenké plechy od 1mm, kořeny svarů a polohové svary. Svarová housenka má dobrý profil, ale nevýhoda je svařování pouze v plynu Ar + 8% CO<sub>2</sub>.

**Přechodový dlouhý oblouk s nepravidelnými zkraty (kapkový)** není moc doporučován, protože vzniklá svarová housenka je velmi hrubá a při svařování se dosahuje velkého rozstříku. Svařovací parametry se pohybují mezi 22 – 28V a proud 190 – 300A. Při takto vysokém proudu se nám elektroda nataví do velké kapky, ta je reakčním tlakem vysunuta mimo osu drátu. Dále oblouk putuje až na konec elektrody, kde elektromagnetické síly kapku odtrhnou a ta vysokou rychlostí naráží do svarové lázně, tím vzniká silný rozstřík. Frekvence kapek je pouhých 5 – 40 kapek za sekundu. Uskutečnění přechodového oblouku se lépe provádí v atmosféře CO<sub>2</sub>.

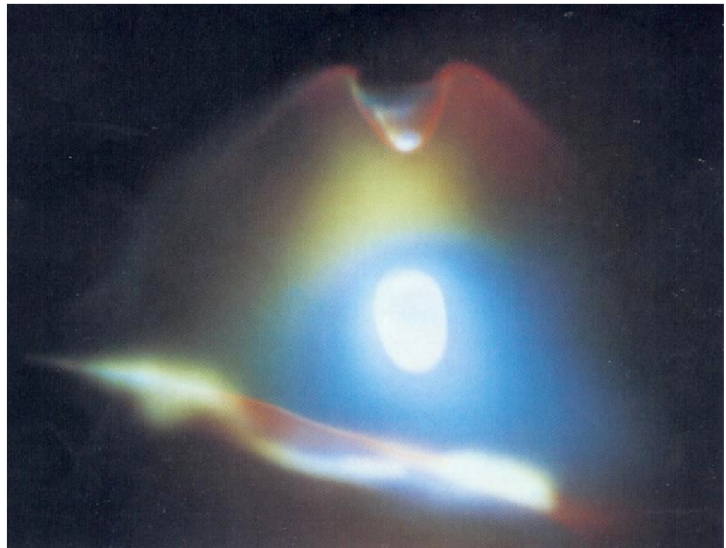
**Dlouhý oblouk se sprchovým bezzkratovým přenosem** je ideálním řešením pro svařování středních a velkých tlouštěk a pro výplňové housenky svarů. Oblouk je vytvářen v rozmezí napětí 28 – 40V a proudu 200 – 500A. Ochranný plyn se používá Ar s CO<sub>2</sub> nebo O<sub>2</sub>, lze použít i čistý Ar. V čistém CO<sub>2</sub> nelze tento přenos uskutečnit, protože vysoké povrchové napětí nám neumožní dostat drobné kapky. Argon by měl být zastoupen minimálně z 80%, protože snadná ionizace plynu nám plazma obklopuje i konec elektrody a tím urychluje ohřívání drátu. Ten tvoří drobný hrot, ze kterého elektromagnetickými silami jsou drobné kapičky ustříženy (viz obr. 13) a vnášeny do tavné lázně frekvencí 150 – 350 kapek za sekundu. Proud během svařování je stálý, jen je znatelný malý nárůst při přerušení můstku. Oblouk je celou dobu rozsvícen a nezhasíná, tudíž přenáší dost tepla do základního materiálu a zaručuje hluboký závar. Dále se dostáváme do vysokých hodnot navaření (3 – 12 kg.hod<sup>-1</sup>), které jsou až 4x větší než u zkratového oblouku. Při svařování můžeme slyšet syčení s občasným zapraskáním. Výsledkem je hladký a čistý povrch housenky s plynulým přechodem do základního materiálu.



Obr. 13. Sprchový oblouk



**Oblouk impulzní bezzkratový** je zvláštní forma bezzkratového přenosu kovu, kde průběh přenosu kovu obloukem je řízen elektronickou cestou v podobě pravidelného cyklu amplitudy impulsního proudu. Parametry pro svařování impulsním proudem nabývají hodnot zkratového i sprchového přenosu, ale základní proud je velmi nízký, mezi 20 – 50 ampér. Funkcí základního proudu je udržení ionizace v oblouku a tím vlastně vedení proudu. Proud, který se nastavuje, je řízený časově i tvarově, kde na konci amplitudy je zajištěno odtavení kapky svařovacího drátu (viz obr. 14). Moderní digitální zdroje mají různé amplitudy proudu, jejich tvar je odvíjen podle druhu přídavného materiálu. Během celé amplitudy nám oblouk hoří a zahřívá svarovou lázeň i svařovací drát. Závislostí frekvence pulsů na proudu se udržuje velikost kapky na stejné úrovni, pokud máme svařovací proud malý, tak frekvence odkapávání (impulsů) bude také malá, stejně to platí i naopak. Nejčastěji se nám frekvence impulsů pohybuje v hodnotách 20 – 500 Hz, výjimečně se můžeme setkat i s hodnotou 1000 Hz. Dnešní moderní zdroje dokážou střídat klasickou frekvenci 25 – 500 Hz s dlouhými pulsy od 0,5 – 10 Hz, toho se využívá například při svařování hliníku, kde nám tímto střídáním dochází k dobré svarové housence jako u metody TIG. Svařování impulsem má výhodu menšího vneseného tepla, takže můžeme svařovat i tenké materiály jako například plechy o tloušťce 0,8mm. Další výhody svařování touto



*Obr. 14. Impulzní oblouk*

metodou jsou možnost svářet v různých polohách, možnost tavit dráty větších průměrů, pravidelná kresba povrchu i kořene svaru, výkon je mezi 2 – 5kg.hod<sup>-1</sup> a největší výhodou je možnost svářet široké spektrum materiálů, závisí pouze na ochranné atmosféře. Při svařování hliníku užíváme čistý argon, u uhlíkových ocelí Ar + 8% CO<sub>2</sub> a pro korozivzdorné oceli Ar+ 2% O<sub>2</sub>.

**Moderovaný bezzkratový přenos – zrychlený zkratový přenos** je typem oblouku, kdy se svařovací parametry proudu dostávají do hodnot 450 – 700A a napětí 40 – 50V. Tímto se nám velmi zvedá výkon svařování a zároveň výkon odtavení se pohybuje kolem 25 kg.hod<sup>-1</sup>. S tím souvisí i vysoká svařovací rychlost. Ochranný plyn se používá Ar + 8% CO<sub>2</sub> při průtoku 18 – 25l.min<sup>-1</sup>. Odtavované kapky jsou větších rozměrů, často o velikosti průměru drátu. Ty dopadají vysokou rychlostí do tavné lázně která tvoří hluboký a úzký závar.

**Oblouk s rotujícím přenosem kovu** bývá svými svařovacími parametry stejný jako předchozí modernizovaný zrychlený bezzkratový přenos s výjimkou napětí, které bývá až 65V a větší délce volného konce přídavného drátu (nad 20mm). Za těchto podmínek je drát téměř po celé délce zahříván odporovým teplem skoro až na teplotu tavení. Silné magnetické pole nám nutí plastický konec drátu roztáčet a odtavující kapky poté vytváří kuželovou plochu. Tento způsob umožňuje dobrý závar do boku svarové plochy a vytváří hluboký a široký svar.

## 2.4 Vady svarových spojů [8][12]

Vadu lze definovat obecně jako jakoukoli odchylku od dokonalého svaru. Klasifikovat je můžeme podle normy ČSN EN ISO 6520-1, v této mezinárodní normě jsou vady rozděleny do šesti skupin.

- Trhliny
- dutiny
- pevné vměstky
- studené spoje a neprůvary
- vady tvaru a rozměru
- jiné vady.

Trhliny vznikají při svařování například tlustších stěn, kdy nám vznikají značná napětí. Dále nám vznikají při prudkém ochlazení, špatné teplotě předehřevu, při nedodržení správných povětrnostních podmínek nebo při přítomnosti vodíku ze špatně osušených svarových ploch nebo přídavného materiálu. Dalším typem může být kráterová trhlina, co vzniká při přerušení svařování bez vyplnění koncového kráteru.

Dutiny jsou vady, jenž vznikají převážně z nečistot které jsou na svarových plochách, nebo přídavném drátu, tyto nečistoty se mohou vyskytovat v podobě barev, nátěrů, voda a vlhkost. Dále mohou vznikat při přílišném přehřátí nebo naopak při malé tekutosti tavné lázně. Vlhký či poškozený obal elektrody, nadměrná délka oblouku, chybná polarita nebo špatná ochrana tavné lázně mohou také vést ke vzniku nežádoucích dutin.

Pevné vměstky nám mohou vznikat při svařování obalenou elektrodou (struskové vměstky), zde nám nadměrné foukání nebo excentrický obal způsobuje špatné odtavování obalu, který se pak odlomený zachytává v tavné lázni. Nevhodný sklon elektrody, pomalá postupová rychlost a nadměrná délka oblouku jsou faktory, které nám způsobují, že struska přeběhne lázeň a je zalita svarovým kovem. Další možnost je špatně očištěný povrch od strusky z předchozí vrstvy.

Studené spoje a neprůvary jsou dalším faktorem, negativně ovlivňujícím svarový spoj. Za jejich vznikem může stát hrubá nečistota na svarových plochách nebo pomalá rychlost svařování (postupová), kdy housenky či nenatavené svarové plochy jsou zality tavnou lázní. Naopak při příliš vysoké svařovací rychlosti nám může dojít rovněž k nedokonalému natavení. Špatné natavení nám dále může způsobit špatné foukání oblouku, excentrický obal, vedení elektrody a nesprávný sklon. Neprovaření kořenu je způsobeno nedůkladně připravenou svarovou plochou (malá mezera, velké otupení, přesazený materiál nebo úhel malý úhel rozevření) a nepříznivě zvolenými parametry svařování (malý proud, velká postupová rychlost nebo příliš velký průměr elektrody).

Vady tvaru a rozměru, do této kategorie lze zařadit více termínů. Prvním jsou zápaly, které často vznikají při příliš vysokém svařovacím proudu. Přebytek svarového kovu na povrchu svaru nezíváme převýšený svar. Za jeho vznikem stojí často velký průměr elektrody, malá postupová rychlost nebo fakt, kdy předcházející vrstva má v úkosu příliš velikou vrstvu. Opakem je prohloubený povrch svaru, kdy příčinou krápníků nejčastěji bývá velká svarová mezera, velký svařovací proud, malé otupení či malá postupová rychlost. Špatně sestehované díly a nesprávné slícování mohou vést k přesazení. Při přehřátí tavné lázně nebo při dosažení moc velkého objemu nám mohou vznikat proláklé svary, dokonce může svarový kov vytéci a vznikají nám ve svarech díry. Při špatném sklonu elektrody nám vzniká příliš velká asymetrie koutového svaru. Nepravidelná šířka je způsobena nepravidelným kýváním elektrod a nepravidelná postupová rychlost nám způsobuje různotvarý povrch svaru. Při nedodržení

technologičnosti, kdy se svářeč při napojení vrátí na povrch předcházejícího svaru, nebo provede pouze napojení v okraji koncového kráteru předcházejícího svaru nám vzniká vadné napojení.

Jiné vady lze definovat jako ostatní nedokonalosti vzniklé špatnou technologickou kázní a chováním pracovníků při nedodržení správných podmínek. Lze sem zařadit dotek elektrodou, rozstřík, dotyk bruskou, vytrhnutý povrch dotyk sekáčem a podbroušení.

Na obrázku č. 15 vidíme příklad studeného spoje, kde při řezání vzorku došlo k ulomení jednoho plechu. Příčinou byl příliš malý svařovací proud a nedostatečné provaření do základního materiálu.



*Obr. 15. Studený spoj koutového svaru*

### 3 EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST – NÁVRH PARAMETRŮ [2][3][4][5]

K praktické části jsem zvolil následující parametry. Vybavení je použito podle dispozice svařovny.

Základní materiál je plech z oceli, která se značí ČSN 11 375, DIN 1,0038, EN S235JRG2 o tloušťce 4mm.

Ocel ČSN 11 375 je neušlechtilá konstrukční ocel běžné jakosti, která se hodí na svařování. Součásti konstrukcí a strojů mající střední tloušťku svařovaných tavně, namáhané dynamicky i staticky. Součásti vyrobené z plechů, dutých profilů podélně svařovaných a kovových součástí pro tepelná energetická zařízení a tlakové turbíny, které pracují s omezeným přetlakem a teplotou maximálně do 300°C. Spojky a podvozky vagónů. Vtokové objekty turbín na vodu, spirální skříně vodních turbín, klapky uzávěrů, svařované kulové uzávěry, vrata plavidlových komor apod.

Chemické složení této oceli je přibližně 0,18%C, 1,4%Mn, 0,04P, 0,04S a 0,012N. Minimální mez kluzu je 210MPa, pevnost v tahu je 350-500MPa a tažnost kolem 22%.

Délka svarové housenky bude dlouhá 150mm a svařovat budeme ve dvou polohách. První poloha bude svařování koutového svaru a druhá svařování tupého svaru s mezerou 2 až 3mm.

Elektrický oblouk budeme pro porovnání používat taktéž dvojí. První vzorky budou svařovány krátkým obloukem se zkratovým přenosem a další vzorky budou svařovány obloukem impulsním. Pro každou polohu a každý oblouk použijeme dvojí hodnoty proudu, aby bylo vidět, co s profilem svaru dělá vyšší hodnota proudu.

Jako ochrannou atmosféru použijeme běžný plyn pro svařování nelegovaných a nízkolegovaných ocelí s obsahem Ar + 8% CO<sub>2</sub>, který se podle normy ČSN EN ISO 14175 značí M21, což jsou směsi argonu s oxidem uhličitým, který je zastoupen pouze do 25%. Průtok by měl být přibližně 15l.min<sup>-1</sup>.

Svařovací drát bude o průměru 1mm. Podle katalogového značení firmy ESAB se jedná o OK AristoRod 12.50, který obsahuje uhlík (0,10%), křemík (0,9%) a mangan (1,5%). Jeho pevnost v tahu je 530Mpa a mez kluzu 420Mpa. Vhodné svařování je v atmosféře M21 a C1 a tento drát se značí G3Si1.

Jako svařovací zařízení jsme vzali zdroj Aristo Mig U5000i (viz obr. 17) a podavač drátu Aristo Feed 3004/4804 U6 (viz obr. 16), které byly jako běžné vybavení ve svařovně firmy ESAB. Podrobnější specifikaci o zařízení je v příloze.

Praktická část tedy zahrnuje celkem 8 vzorků svařenců. Jejich varianty si uvedeme v tabulce č. 7.

Tabulka č.7 - Varianty vzorků pro praktickou část

Vzorek	1	2	3	4	5	6	7	8
Svar	koutový	koutový	koutový	koutový	tupý	tupý	tupý	tupý
Proud	nižší	nižší	vyšší	vyšší	nižší	vyšší	nižší	vyšší
Oblouk	zkratový	impulsní	zkratový	impulsní	zkratový	zkratový	impulsní	impulsní





Obr. 16. Aristo Feed 3004/4804 U6



Obr. 17. Aristo Mig U5000i

### 3.1 Výpočet tepelného příkonu

Teplo přijaté materiálem při svařování je další činitel mající vliv na výsledný profil svaru. Nejen že nám působí na rozsah tepelně ovlivněné oblasti, ale působení tepla nám zanechává deformace vlivem různých zbytkových pnutí po ztuhnutí.

Pro výpočet specifického tepelného příkonu použijeme vzorec:

$$Q_s = \frac{U \cdot I \cdot \eta}{v_s \cdot 1000} \quad (\text{kJ} \cdot \text{mm}^{-1}) \quad (4.1)$$

kde je:

- $Q_s$  – specifický tepelný příkon
- $U$  – svařovací napětí
- $I$  – svařovací proud
- $\eta$  – účinnost (80%)
- $v_s$  - svařovací rychlost (odečtená ze svařovacího zařízení)



### 3.1.1 Výpočty tepelného příkonu pro každý vzorek

Vzorek č. 1 byl svařený zkratovým obloukem při napětí 16,5V, proud byl 107A a svařovací rychlost byla 1,4 mm.sec<sup>-1</sup>.

$$Q_s = \frac{16,5 \cdot 107 \cdot 0,8}{1,4 \cdot 1000} = 1,01 \text{ kJ.mm}^{-1}$$

Vzorek č. 2 byl svařený impulsním obloukem při napětí 19,5V, proud byl 93A a svařovací rychlost byla 1,45 mm.sec<sup>-1</sup>.

$$Q_s = \frac{19,5 \cdot 93 \cdot 0,8}{1,45 \cdot 1000} = 1 \text{ kJ.mm}^{-1}$$

Vzorek č. 3 byl svařený zkratovým obloukem při napětí 24,7V, proud byl 219A a svařovací rychlost byla 3,1 mm.sec<sup>-1</sup>.

$$Q_s = \frac{24,7 \cdot 219 \cdot 0,8}{3,1 \cdot 1000} = 1,4 \text{ kJ.mm}^{-1}$$

Vzorek č. 4 byl svařený impulsním obloukem při napětí 24,2V, proud byl 169A a svařovací rychlost byla 2,3 mm.sec<sup>-1</sup>.

$$Q_s = \frac{24,2 \cdot 169 \cdot 0,8}{2,3 \cdot 1000} = 1,42 \text{ kJ.mm}^{-1}$$

Vzorek č. 5 byl svařený zkratovým obloukem při napětí 16,2V, proud byl 99A a svařovací rychlost byla 1,38 mm.sec<sup>-1</sup>.

$$Q_s = \frac{16,2 \cdot 99 \cdot 0,8}{1,38 \cdot 1000} = 0,93 \text{ kJ.mm}^{-1}$$

Vzorek č. 6 byl svařený zkratovým obloukem při napětí 18,5V, proud byl 163A a svařovací rychlost byla 2,22 mm.sec<sup>-1</sup>.

$$Q_s = \frac{18,5 \cdot 163 \cdot 0,8}{2,22 \cdot 1000} = 1,09 \text{ kJ.mm}^{-1}$$

Vzorek č. 7 byl svařený impulsním obloukem při napětí 20V, proud byl 108A a svařovací rychlost byla 1,4 mm.sec<sup>-1</sup>.

$$Q_s = \frac{20 \cdot 108 \cdot 0,8}{1,4 \cdot 1000} = 1,23 \text{ kJ.mm}^{-1}$$

Vzorek č. 8 byl svařený impulsním obloukem při napětí 21,7V, proud byl 131A a svařovací rychlost byla 1,68 mm.sec<sup>-1</sup>.

$$Q_s = \frac{21,7 \cdot 131 \cdot 0,8}{1,68 \cdot 1000} = 1,35 \text{ kJ.mm}^{-1}$$

#### 4 VYHODNOCENÍ SVAŘOVANÝCH VZORKŮ [9]

Než jsme byli schopni se dopracovat k vyhodnocování našich svařených vzorků, museli tyto vzorky projít několika úpravami. Před samotným svařením jsme se snažili plechy základního materiálu co nejvíce očistit od nečistot. Dále následovalo sváření v dílně ESAB Vamberk. Úprava svařenců už nadále probíhala ve školních prostorech. Nejprve jsme museli u svařenců pomocí plazmového řezáku odstranit přebytečně dlouhé části plechu, aby se nám vešly do přípravku k řezání. Samotné řezání na vzorky o délce svaru přibližně 10-15mm probíhalo na metalografické pile, kterou lze vidět na obrázku 18. Tyto vzorky jsme dále vzali na metalografickou leštičku (viz obr. 19), kde jsme vzorky leštili třemi úrovněmi drsností papíru. První papír byl o drsnosti 120, druhý 240 a nejjemnější finální byl o drsnosti 1000. Toto číselné označení papíru odpovídá měrné velikosti jeho zrna. Následně jsme po vyleštění vzorky položili do nitalu, kde jsme je nechali 30 minut leptat. Na závěr jsme vzorky vysušili a šli je nafotit. Pro makro snímky byl použit fotoaparát s krátkým objektivem a blízkým ohniskem a pro mikro snímky jsme použili mikroskop s kamerou pro funkci vyfocení zkoumaného objektu, která byla přímo napojená na počítač, kde probíhala editace.

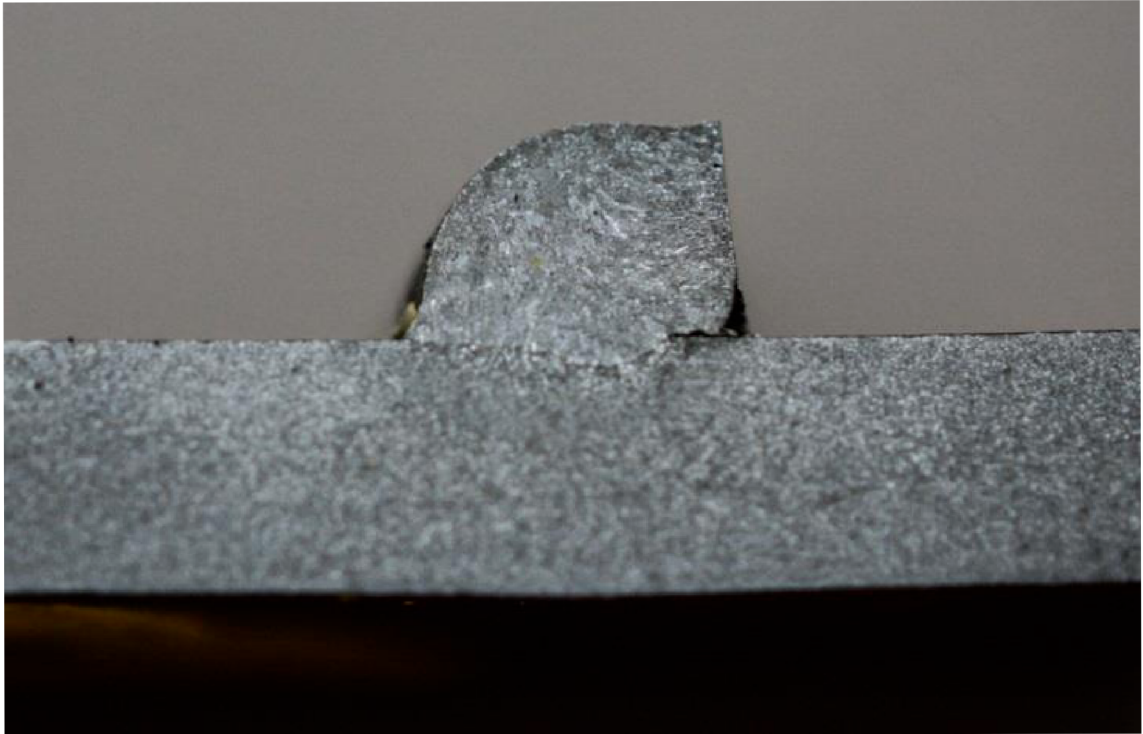


*Obr. 18. Metalografická pila*

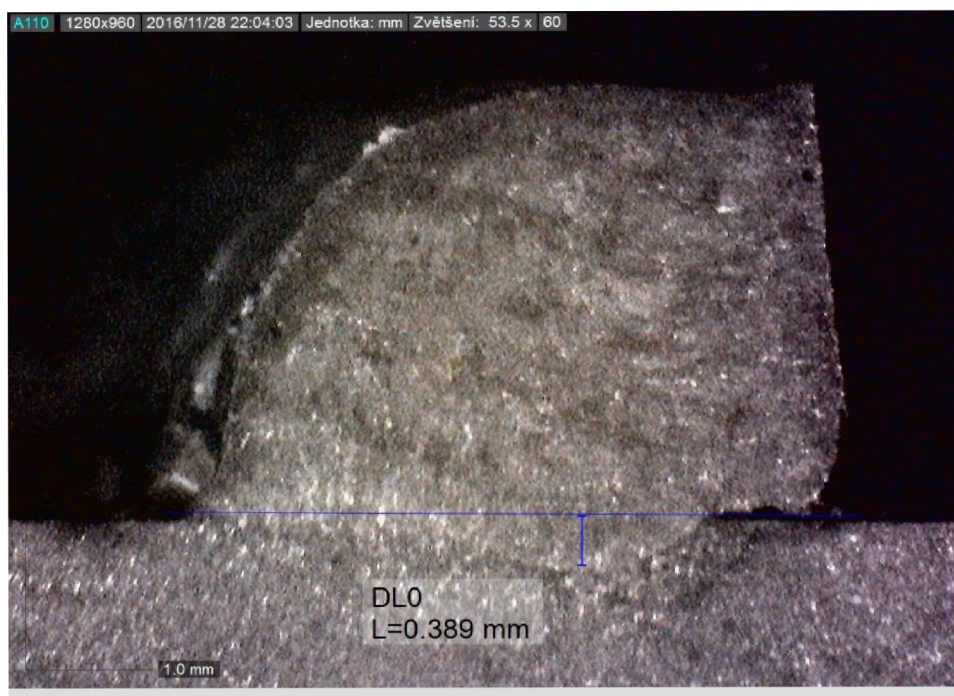


*Obr. 19. Metalografická bruska*

U vzorku č. 1, který byl svařovaný zkratovým obloukem s proudem 107A a 16,5V, bylo docíleno nejhoršího výsledku. Při řezání na metalografické pile došlo k utržení jednoho plátu plechu ze svaru. Důvodem byl příliš nízký proud na takto silný plech



*Obr. 20. Makrosnímek vzorku č.1*



*Obr. 21. Makrosnímek vzorku č.1*

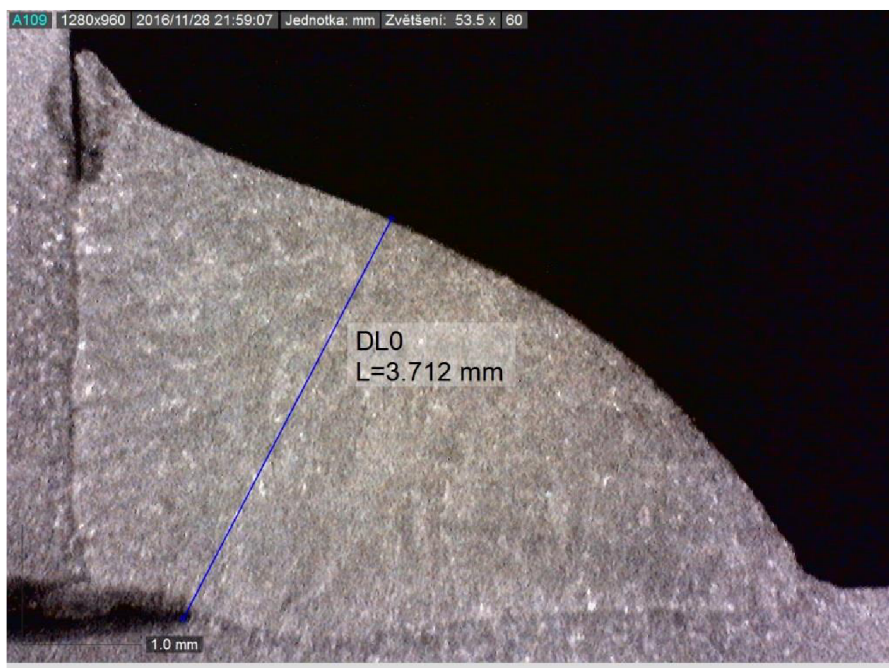
Na mikro snímku můžeme pozorovat provaření do základního materiálu, které v nejhlubším průvaru dosahovalo pouhých 0,389 mm. Správné provaření by mělo dosahovat hloubky aspoň kolem 1 mm.



Vzorek č. 2 měl být stejný jako vzorek č.1, ale se změnou oblouku na impulsní. Svařovací proud byl 93A a napětí 19,5V. Mechanické vlastnosti svaru budou asi lepší, protože při řezání nám nedošlo k ulomení plechu, ale na obrázku č. 22 lze sledovat téměř žádné provaření v kořeni svaru a výskyt studených spojů



*Obr. 22. Makrosnímek vzorku č.2*



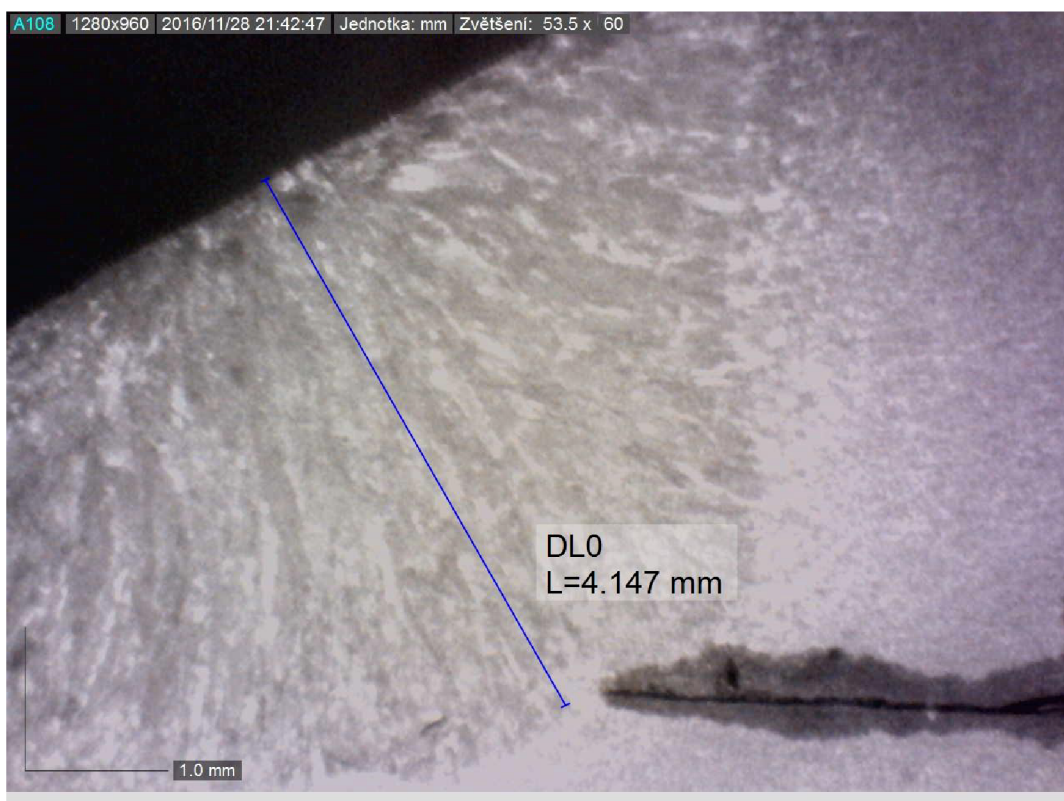
*Obr. 23. Makrosnímek vzorku č.2*

Na obrázku č. 23 lze v makrosnímku vidět sice provaření po téměř celé délce styku svarové housenky se základním materiálem, než tomu bylo u vzorku č.1, ale hloubka závaru bude stejná nebo menší.

Svařování zkratovým obloukem při nastavených parametrech proudu 219A a napětí 24,7V nám u vzorku č. 3 vedlo k dobrému provaření do základního materiálu bez vzniku studených spojů. Tepelně ovlivněná oblast není tolik veliká, i když oproti vzorku č. 1 bylo vnesené teplo téměř 1,5 násobné. Důvodem je dvojnásobná svařovací rychlost.



*Obr. 24. Makrosnímek vzorku č.3*



*Obr. 25. Makrosnímek vzorku č.3*

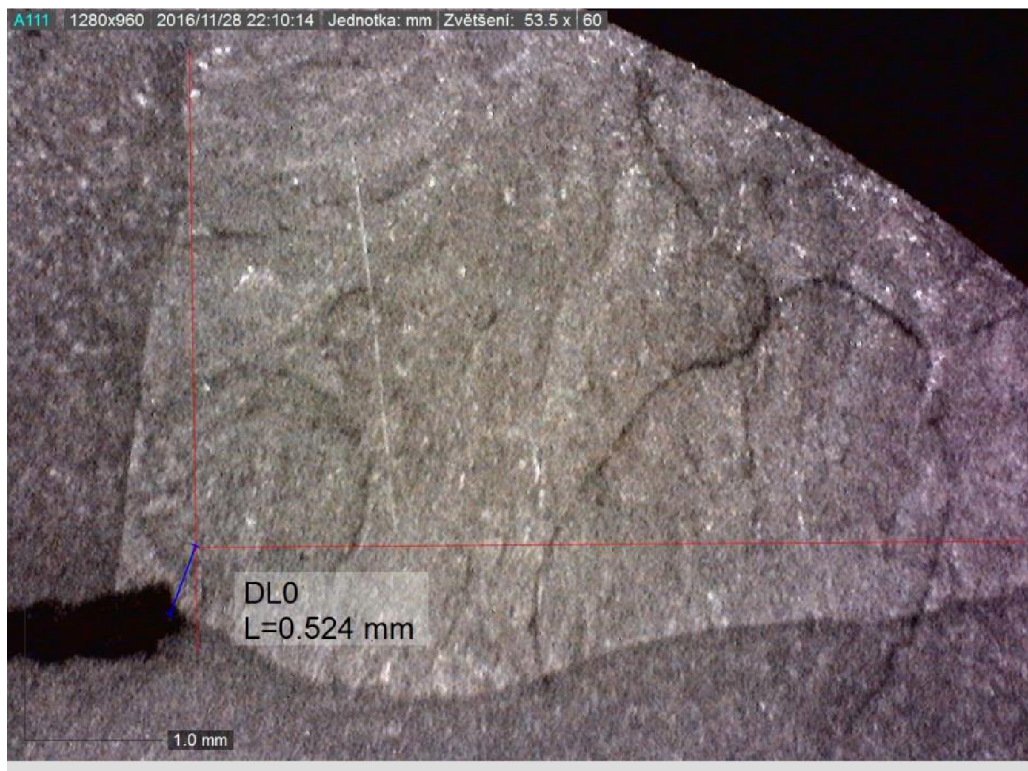
V makrosnímku lze vidět výšku svarové housenky 4mm a provaření do základního materiálu po celé délce styku housenky s plechem, ale v kořeni svaru taktéž nebylo docíleno dostatečného provaření.



Poslední vzorek koutového svaru byl vzorek č. 4, kde bylo použito impulsního oblouku při parametrech napětí 24,2V a proudu 169A. V makrosnímku lze pozorovat příznivé provaření do základního materiálu i v místě kořene svaru, ale při podrobnějším zkoumání je zde větší rozsah tepelně ovlivněné oblasti než při svařování zkratem u vzorku č.3 za použití vyššího proudu. Důvodem tohoto faktu je nižší svařovací rychlost, ale převýšení housenky je srovnatelné.



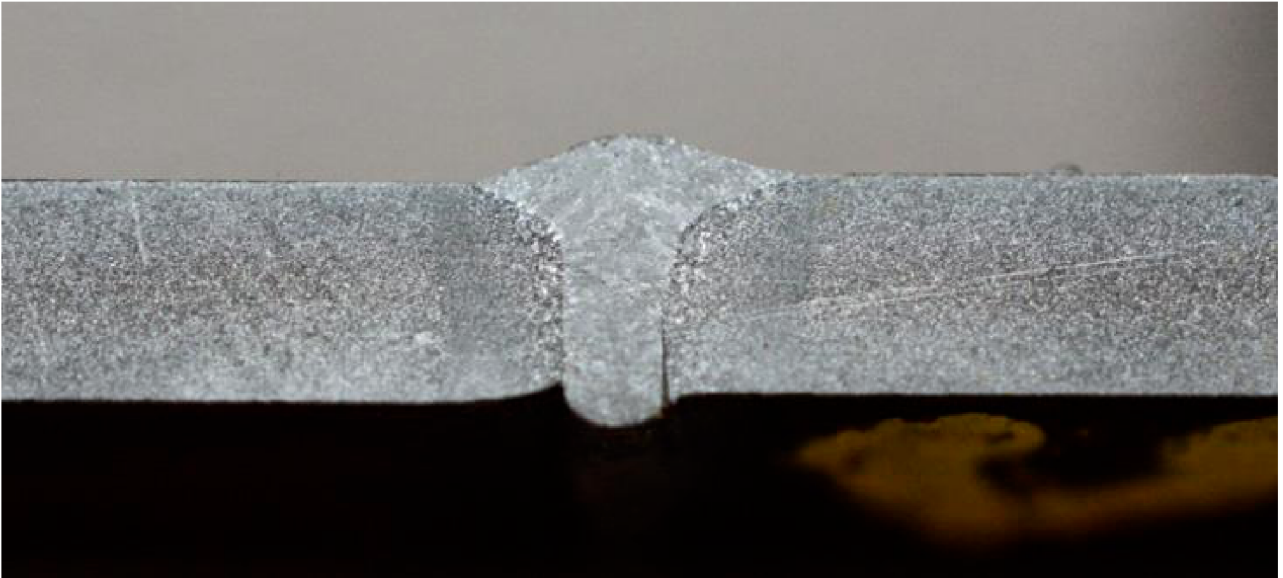
*Obr. 26. Makrosnímek vzorku č.4*



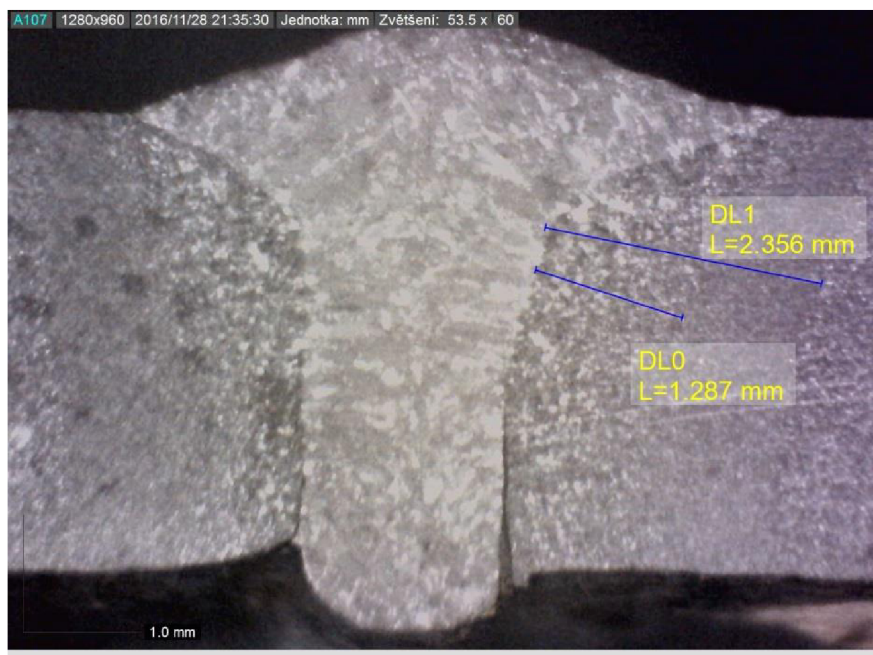
*Obr. 27. Makrosnímek vzorku č.4*

Při pohledu na kořen svaru jsme naměřili hloubku 0,524mm. Tato hodnota sice není stále ideální hloubka provaření, ale ze všech vzorků zkoumaných na koutový svar nám vyšla v řezu jako nejlepší.

Vzorek č. 5 byl první svařenec typu tupého svaru. Svařen byl zkratovým obloukem při napětí 16,2V a proud byl 99A. Při pohledu na makrosnímek lze vidět pouze lehké provaření ve vrchní části základního materiálu, ale u kořene došlo pouze k zatečení do mezery mezi plechy. Jelikož na tloušťku plechu 4mm bylo pro zkratový přenos 99A málo, došlo nám i k viditelnému studenému spoji.



*Obr. 28. Makrosnímek vzorku č.5*

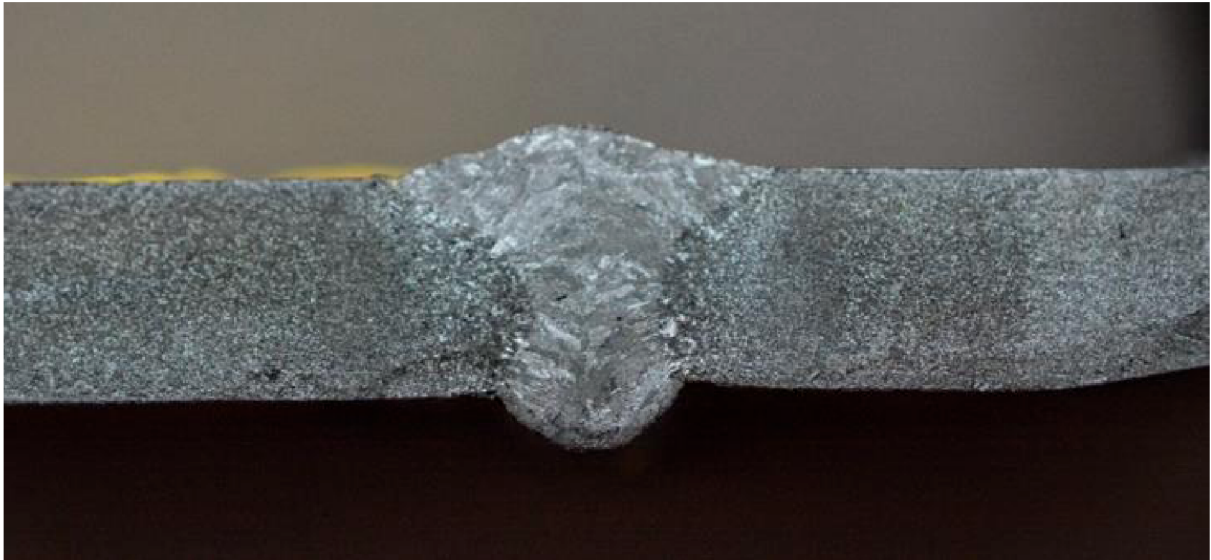


*Obr. 29. Makrosnímek vzorku č.5*

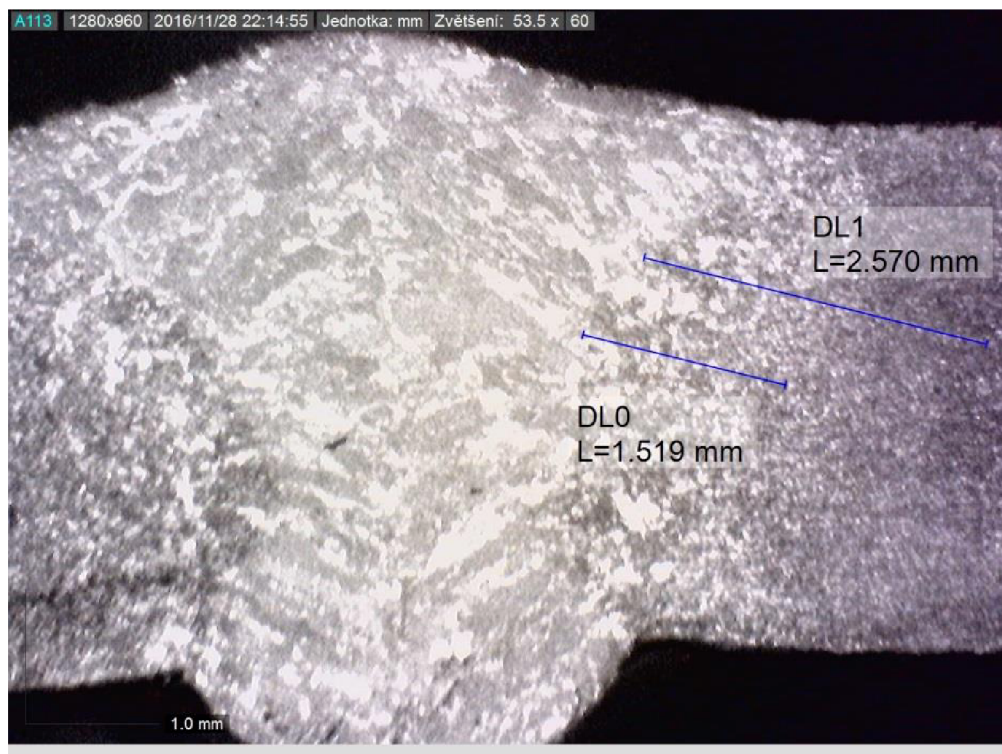
Na makrosnímku vidíme podrobněji vznik studeného spoje na obou stranách a tudíž ve spodní části plechu nulové provaření. Tepelně ovlivněná oblast v místě hrubého zrna sahá do hloubky  $DL0 = 1,287\text{mm}$ . Celkové ovlivnění struktury základního materiálu je ale až do hloubky  $DL1 = 2,356\text{mm}$ .



U vzorku č. 6 jsme použili rovněž zkratového oblouku ale s vyššími svařovacími parametry. Proud 163A a napětí 18,5V nám zaručili lepší výsledky, které lze vidět na makrosnímku. S rostoucím napětím nám narostla šířka svaru a s vyšším proudem i hloubka.



*Obr. 30. Makrosnímek vzorku č.6*

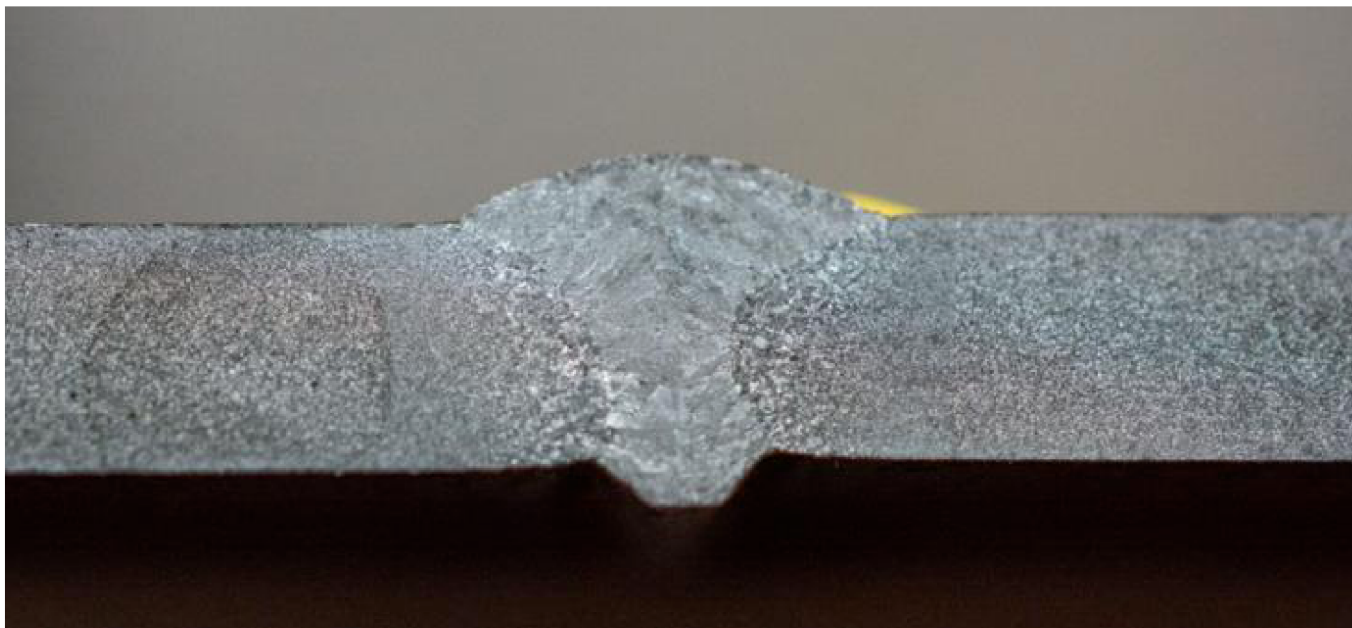


*Obr. 31. Makrosnímek vzorku č.6*

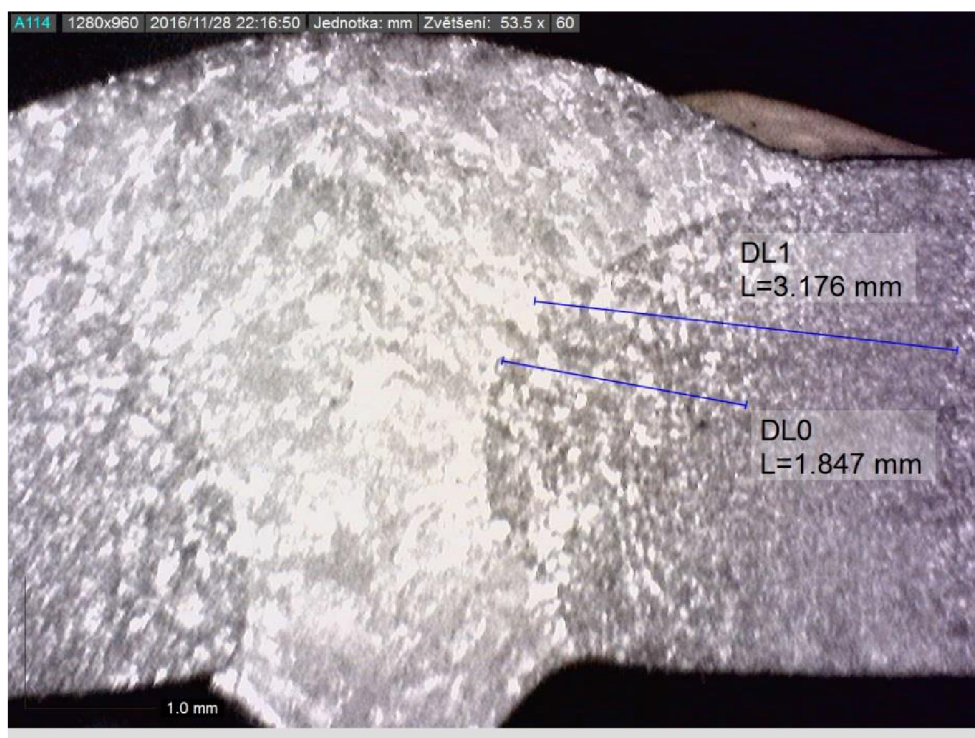
Při pohledu na makrosnímek si lze všimnout hodnoty celkového tepelného ovlivnění materiálu pouze o 0,2mm hlouběji oproti vzorku č. 5. I když svařovací parametry byly o dost vyšší, tak rozdíl vneseného tepla nebyl tak razantní, protože svařovací rychlost byla natolik velká, že nedošlo k hlubokému tepelnému ovlivnění a výsledkem je kvalitní provaření do všech stran svaru s poměrně malou hodnotou tepelného ovlivnění.



Vzorek č. 7 byl svařen podobně jako vzorek č. 5 s rozdílem oblouku. Zde je použito impulsního a rozdíl je poznat hned na více místech. Při proudu 108A a napětí 20V nám oproti zkratu došlo k provaření v celém profilu svarové housenky a nedošlo ke vzniku studených spojů a dále je díky vyššímu napětí je housenka širší.



Obr. 32. Makrosnímek vzorku č.7



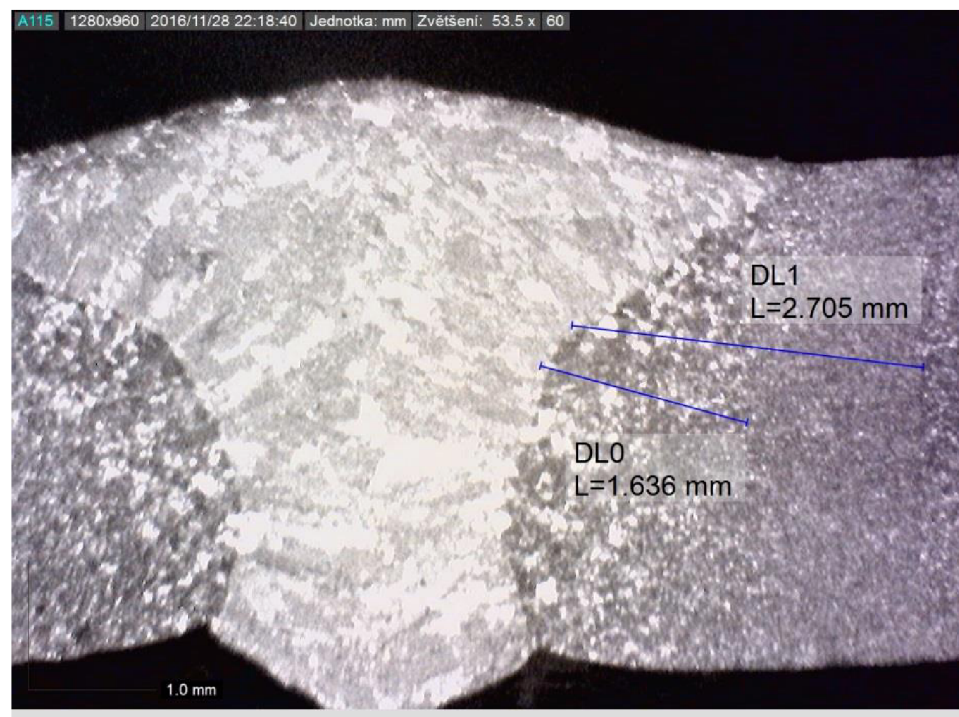
Obr. 33. Makrosnímek vzorku č.7

Ale oproti vzorku č. 5 dosahujeme vysokých hodnot v hloubce tepleného ovlivnění. Celkové ovlivnění základního materiálu je až o 1mm hlouběji než u použití zkratového oblouku. Na makrosnímku lze vidět ovlivnění až do hloubky DL1 = 3,176mm.

Poslední vzorek byl taktěž svařován impulsním obloukem, ale za vyšších hodnot. Proud byl 131A a napětí 21,7V. Na makrosnímku lze vidět jak nárůstající napětí nám znovu rozšířilo profil svaru do základního materiálu. Provaření proběhlo důkladně v celém styku se základním materiálem i v místě kořene.



*Obr. 34. Makrosnímek vzorku č.8*



*Obr. 35. Makrosnímek vzorku č.8*

Působením vyšší rychlosti svařování nám došlo k menší hodnotě tepleného ovlivnění a to i přes fakt, že vnesené teplo bylo vyšší než u předchozího vzorku. Tento vzorek č. 8 má podobný profil a provaření jako vzorek č. 6, kde v místě kořene svaru ale došlo přeci jen o trochu lepší provaření.

## 5 SHRNU TÍ VÝSLEDKŮ

Když se podíváme na vzorky, tak jediné, které vykazují přijatelnou kvalitu svaru, jsou vzorky číslo 4, kde bylo svařováno impulsním proudem s vyšší hodnotou u koutového svaru a došlo k lepšímu provaření než u vzorku č. 3 se zkratovým přenosem, dále u vzorků 6 a 8, kde se jednalo o svar tupý. Zde bylo svařováno impulsem i zkratem za vyšších proudů a bylo docíleno dobrého provaření do základního materiálu i vytvoření kořene svaru. Ostatní vzorky byly svařovány příliš nízkým proudem a tak docházelo často k vytvoření studených spojů, nebo příliš malému provaření do základního materiálu.

U vzorku č1 nám vznikl příliš malý průvar a výsledkem byl studený spoj, který vedl k ulomení jedné části plechu při řezání na pile, tudíž svařování zkratem při proudu 107A nám vykazovalo nejhorší výsledek u koutového svaru. U vzorku číslo 2 bylo svařováno impulsním přenosem s průměrnou hodnotou proudu 93A. Výsledkem byl studený spoj, rovněž s malým průvarem do základního materiálu, ale svar měl lepší mechanické vlastnosti, jelikož při řezání svar vydržel. Výška návaru byla přibližně 3,7mm a průvar 0,25mm.

Zkratový přenos s proudem 219A a 24,7V nám u vzorku 3 nám udělal pěkný koutový svar s malou hodnotou převýšení a výškou návaru 4,15mm. Průvar je přibližně do hloubky 0,45mm. Vzorek č. 4 svařovaný impulzem při proudu 169A vykázal nejlepší vlastnosti, jelikož průvar byl do hloubky 0,52mm.

Tupý svar u vzorku 5 byl svařován zkratem při proudu 99A. Výsledkem bylo pouze navaření svarové housenky ve vrchní části spoje a v místech kořene svaru nám u základního materiálu vznikl studený spoj bez provaření. Tepelně ovlivněná oblast byla do vzdálenosti 2,35mm. Při použití vyššího proudu 163A a zkratového přenosu bylo docíleno perfektního provaření v celém profilu svaru a poměrně k nízkému teplotnímu ovlivnění, které bylo do hloubky 2,57mm.

Impulsní přenos u vzorku 7 s hodnotou proudu 108A vykázal lepší výsledek než zkratový přenos. Docílili jsme provaření materiálu v celé výšce svaru a nikde není náznak vzniku studeného spoje jako u vzorku 5. Ale svařovací rychlost byla poměrně malá, takže nám vyšla nejhorší hodnota teplotního ovlivnění, a to do hloubky 3,18mm. Vzorek 8 byl svařován stejným způsobem ale s vyšším proudem, tudíž jsme mohli elektrodu vést rychleji a nedošlo k takovému teplotnímu ovlivnění, pouze do hloubky 2,7mm. Svařování s proudem 131A nám vykazovalo pěkný tupý svar s nízkým převýšením návaru a dobrým provařením do základního materiálu.

Faktor, který souvisí s teplotním ovlivněním, je svařovací rychlost a teplotní příkon. Ten je uveden v tabulce níže.

Tabulka č. 8 Shrnutí teplotního příkonu

Vzorek číslo	1	2	3	4	5	6	7	8
Tepelný příkon [kJ.mm <sup>-1</sup> ]	1,01	1	1,4	1,42	0,93	1,09	1,23	1,35

Po vyhodnocení můžeme říct, že s rostoucím svařovacím napětím se nám rozšiřuje profil svaru a s rostoucím proudem nám svar jde více do hloubky. Impulsní proud nám lépe provařil základní materiál, ale nevýhodou je teplotně ovlivněná oblast, která je naopak při zkratovém přenosu menší. Rovněž můžeme říct, že k docílení určité kvality svaru nám u impulsního přenosu stačí nižší hodnota proudu než u přenosu zkratového.

## ZÁVĚR

Cílem této práce bylo zhodnocení současného stavu svařování metodou MIG/MAG a dále svaření několika vzorků a porovnání vlivu parametrů na jejich profil svaru.

V první části jsem se zabýval problematikou současného svařování v ochranných atmosférách a odvětvích, ve kterých je různých metod využíváno. Vznik této metody se datuje od roku 1948. Od této doby prošla mnoha inovacemi a optimalizacemi. Díky těmto vylepšením lze nyní metodu MIG/MAG používat prakticky na všechny druhy svarů, ať už se jedná o plechy různých tloušťek nebo různé barevné kovy. Metoda je dobře programovatelná i pro robotizované a automatové svařování a to i v různých polohách.

Dále byla vypracována studie na teorii svařování metodou MIG/MAG, kde jsem se přesněji zabýval hlavními faktory, které ovlivňují profil a vlastnosti svaru. Následovalo navržení parametrů pro svařování 8 vzorků, kde 4 byly koutové a 4 tupé svary. Každý z těchto typů svarů byl svařen impulsním nebo zkratovým obloukem a dále ještě při použití vyšších a nižších hodnot svařovacích parametrů.

V druhé části následovala praktická část, nejprve svaření vzorků ve firmě ESAB Vamberk, dále rozměrová úprava vzorků ve školní dílně a chemická úprava leptáním ve školní laboratoři. Po úpravě jsem se mohl pustit do vyhodnocování, které proběhlo nafocněním vzorků fotoaparátem s krátkým objektivem pro pořízení makrosnímků a dále focení mikroskopickou kamerou pro pořízení podrobnějších makrosnímků. Po shrnutí výsledků můžeme říci, že při naší tloušťce plechu 4mm nám pozitivní průvar udělaly pouze vzorky svařované vyššími hodnotami proudu, ať už zkratem nebo impulzem. K dosažení příznivých výsledků při užití nižších parametrů by bylo třeba použít menší tloušťku základního materiálu.



## Seznam použitých zdrojů

1. DVOŘÁK, Milan a kol. *Technologie II*. 2 vyd. Brno: CERM, 2004. ISBN 80-214-2683-7.
2. ESAB VAMBERK, S.R.O., ČLEN KONCERNU. *ESAB* [online]. [cit. 1.5.2017]. Dostupný na WWW: <http://www.esab.cz/cz/cz/products/index.cfm?fuseaction=home.product&productCode=430491>
3. ESAB VAMBERK, S.R.O., ČLEN KONCERNU. *ESAB* [online]. [cit. 1.5.2017]. Dostupný na WWW: <http://www.esab.cz/cz/cz/products/index.cfm?fuseaction=home.product&productCode=430427>
4. *Feromat: Hutní a spojovací materiál* [online]. Slaměnikova 23, Brno, 2014 [cit. 2017-05-01]. Dostupné z: [http://www.feromat.cz/jakosti\\_oceli](http://www.feromat.cz/jakosti_oceli)
5. *Katalog přídatných svařovacích materiálů* [online]. Smetanovo nábřeží 334, 2012 [cit. 2017-05-01]. Dostupné z: [http://bcz.vamberk.eu/cd-dst-2013/PDF/1\\_pridavne\\_svarovaci/Katalog\\_CZ\\_2012.pdf](http://bcz.vamberk.eu/cd-dst-2013/PDF/1_pridavne_svarovaci/Katalog_CZ_2012.pdf)
6. KUBÍČEK, Jaroslav. *Technologie II: Část svařování* [online]. Technická 2896/2, 616 69 BRNO, 2006 [cit. 2017-02-14]. Vysoké učení technické v Brně. Vedoucí práce Jaroslav Kubíček.
7. KUBÍČEK, Jaroslav. *Technologie svařování* [online]. Technická 2896/2, 616 69 BRNO, 2006 [cit. 2017-05-01]. Dostupné z: [http://ust.fme.vutbr.cz/svarovani/opory\\_soubory/technologie\\_vyroby\\_I\\_svarovani\\_kubicek.pdf](http://ust.fme.vutbr.cz/svarovani/opory_soubory/technologie_vyroby_I_svarovani_kubicek.pdf)
8. MALINA, Zdeněk. *Základní kurz svařování MIG/MAG*. 6. Ostrava: ZEROSS, 2005. ISBN ISBN 80-85771-19-5.
9. *Metalco: Dvoukotoučová bruska Saphir 330* [online]. 252 63 Roztoky u Prahy, 2002 [cit. 2017-05-01]. Dostupné z: <http://www.metalco.cz/rucni-brusky-a-lesticky/saphir-330-2/>
10. *NORTH: N15 Air Cooled MIG/MAG Welding Gun* [online]. NO. 15, North Qiyi Road, Beiyuan Street, Jinan City, Shandong Province, P.R.China, 1992 [cit. 2017-05-01]. Dostupné z: <http://www.weldingtoolsmaker.com/1-1-1-mig-mag-welding-gun.html>

11. ONDREJČEK, Peter. *Zváranie ocelí v ochrane plynov taviacou se elektródou*. 1. Bratislava: ETERNA PRESS, 2003. ISBN 80-968359-5-5.
12. Prezentace Ing. Ladislava Kolaříka, Ph.D., IWE
13. *Quick-servis: Svářečky-elektrody* [online]. Příbram, 2009 [cit. 2017-05-01]. Dostupné z: <http://www.svarecky-elektrody.cz/esab-rebel-emp-215ic>
14. *Svarinfo: Magazín praktického svařování* [online]. Praha, 2006 [cit. 2017-05-01]. Dostupné z: <https://www.svarbazar.cz/phprs/view.php?cisloclanku=2008011702>
15. Svařování netavící se elektrodou v ochranné atmosféře inertního plynu. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2017-05-01]. Dostupné z: [https://cs.wikipedia.org/wiki/Sva%C5%99o\\_v%C3%A1n%C3%AD\\_ne\\_tav%C3%ADc%C3%AD\\_se\\_elektrodou\\_v\\_ochrann%C3%A9\\_atmosf%C3%A9r%C5%99e\\_inertn%C3%ADho\\_plynu](https://cs.wikipedia.org/wiki/Sva%C5%99o_v%C3%A1n%C3%AD_ne_tav%C3%ADc%C3%AD_se_elektrodou_v_ochrann%C3%A9_atmosf%C3%A9r%C5%99e_inertn%C3%ADho_plynu)
16. *Svářečky: Svářečky-obchod* [online]. Rožnov pod Radhoštěm 75661, 2008 [cit. 2017-05-01]. Dostupné z: <https://www.svarecky-obchod.cz/prislusenstvi/svareci-draty/17178-drat-svareci-0-6mm-civka-5kg.htm>
17. *Základní doporučení pro svařování v ochranných atmosférách* [online]. Smetanovo nábřeží 334, 2012 [cit. 2017-05-01]. Dostupné z: [http://bcz.vamberk.eu/cd-dst-2013/PDF/1\\_pridavne\\_svarovaci/D/D1\\_zaklad\\_doporuceni.pdf](http://bcz.vamberk.eu/cd-dst-2013/PDF/1_pridavne_svarovaci/D/D1_zaklad_doporuceni.pdf)

## Seznam použitých symbolů a zkratk

účinnost .....	[ $\eta$ ]
specifický tepelný příkon .....	[ $Q_s$ ]
svařovací napětí .....	[ $U$ ]
svařovací proud .....	[ $I$ ]
svařovací rychlost .....	[ $v_s$ ]

## Seznam obrázků

- Obrázek č. 1 - *Příslušenství pro svařování metodou MAG*
- Obrázek č. 2 - *Varianty svařování v ochranné atmosféře*
- Obrázek č. 3 - *Schéma svařování metodou TIG (WIG)*
- Obrázek č. 4 - *Schéma svařování metodou MIG/MAG*
- Obrázek č. 5 - *Disociace  $CO_2$  v závislosti na teplotě*
- Obrázek č. 6 - *Chemické reakce při svařování*
- Obrázek č. 7 - *Svařování nelegované oceli, drát G3Si1, plyn 100%  $CO_2$*
- Obrázek č. 8 - *Svařování nelegované oceli, drát G3Si1, plyn 82% Ar + 18%  $CO_2$*
- Obrázek č. 9 - *Elektrický oblouk*
- Obrázek č. 10a - *Graf strmé VA charakteristiky*
- Obrázek č. 10b - *Graf mírně klesající VA charakteristiky*
- Obrázek č. 10c - *Graf ploché VA charakteristiky*
- Obrázek č. 11 - *Oblasti výskytu typů oblouků v závislosti napětí a proudu.*
- Obrázek č. 12 - *Krátký oblouk*
- Obrázek č. 13 - *Sprchový oblouk*
- Obrázek č. 14 - *Impulsní oblouk*
- Obrázek č. 15 - *Studený spoj koutového svaru*
- Obrázek č. 16 - *Aristo Feed 3004/4804 U6*
- Obrázek č. 17 - *Aristo Mig U5000i*
- Obrázek č. 18 - *Metalografická pila*
- Obrázek č. 19 - *Metalografická bruska*
- Obrázek č. 20 - *Makrosnímek vzorku č.1*
- Obrázek č. 21 - *Makrosnímek vzorku č.1*
- Obrázek č. 22 - *Makrosnímek vzorku č.2*
- Obrázek č. 23 - *Makrosnímek vzorku č.2*
- Obrázek č. 24 - *Makrosnímek vzorku č.3*
- Obrázek č. 25 - *Makrosnímek vzorku č.3*
- Obrázek č. 26 - *Makrosnímek vzorku č.4*
- Obrázek č. 27 - *Makrosnímek vzorku č.4*
- Obrázek č. 28 - *Makrosnímek vzorku č.5*
- Obrázek č. 29 - *Makrosnímek vzorku č.5*
- Obrázek č. 30 - *Makrosnímek vzorku č.6*
- Obrázek č. 31 - *Makrosnímek vzorku č.6*
- Obrázek č. 32 - *Makrosnímek vzorku č.7*
- Obrázek č. 33 - *Makrosnímek vzorku č.7*
- Obrázek č. 34 - *Makrosnímek vzorku č.8*
- Obrázek č. 35 - *Makrosnímek vzorku č.8*



## Seznam tabulek

- Tabulka č. 1 - Označení vlastností svarového kovu
- Tabulka č. 2 - Označení nárazové práce svarového kovu
- Tabulka č. 3 - Označení chemického složení drátu
- Tabulka č. 4 - Rozdělení plynů dle chemického charakteru
- Tabulka č. 5 - Směsi plynů
- Tabulka č. 6 - Chemické reakce v tavné lázni
- Tabulka č. 7 - Varianty vzorků pro praktickou část
- Tabulka č. 8 – Shrnutí tepelného příkonu



## **Seznam příloh**

Příloha č. 1 – Inspekční certifikát 3.1

Příloha č. 2 – Rozdělení plynů dle chemického složení – ČSN EN ISO 14 175

Příloha č. 3 – Katalogové vlastnosti drátu 12.50