

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI

Fakulta strojní

Akademický rok: 2017/2018

## ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Štěpán CEMPÍREK**

Osobní číslo: **S15B0315P**

Studijní program: **B2301 Strojní inženýrství**

Studijní obor: **Materiálové inženýrství a strojírenská metalurgie**

Název tématu: **Svařování metodou TIG**

Zadávací katedra: **Katedra materiálu a strojírenské metalurgie**

### Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :

1. Úvod do problematiky technologie svařování se zaměřením na metody MIG/MAG a TIG.
2. Využití metody TIG v průmyslu.
3. Kvalitativní porovnání dvou svářecích zdrojů pro metodu TIG od různých výrobců.
4. Závěr.

Rozsah grafických prací: **fotodokumentace, obrázky**

Rozsah kvalifikační práce: **30-40 stran**

Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná/elektronická**

Seznam odborné literatury:

**BARTÁK, J., PILOUS V., KOVAŘÍK R.** *Učební texty pro evropské svářečské specialisty, praktiky a inspektory.* Ostrava: ZEROSS, 2002. Svařování. ISBN 80-85771-97-7.

**KOVAŘÍK, R., ČERNÝ F.** *Technologie svařování.* 2. vyd. Plzeň: Západočeská univerzita, 2000. ISBN 80-7082-697-5.

*Teorie a metodika svařování, 2007, Výzkumné centrum pro strojírenskou výrobní techniku a technologii, ČVUT FSI*

ASM Specialty Handbook 'Stainless Steels', ASM International, Materials Park, 1994, pp. 383-388.

**HILKES J., BEKKERS K., WELD. J.** 74 (1995) 51-54.

**MATSUNAGA H., SATO Y.S., KOKAWA H., KUWANA T.** *Sci. Technol. Weld. Joining* 3 (1998) 225-232.

**MATSUNAGA H., SATO Y.S., KOKAWA H., KUWANA T.** *Sci. Technol. Weld. Joining* 4 (1999) 41-49.

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Igor Vilcsek, Ph.D.**

Katedra materiálu a strojírenské metalurgie

Konzultant bakalářské práce: **Ing. Anton Florek, CSc., Ph.D.**

Centrum energetického výzkumu

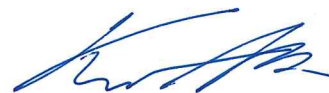
Datum zadání bakalářské práce: **20. září 2017**

Termín odevzdání bakalářské práce: **25. května 2018**



Doc. Ing. Milan Edl, Ph.D.  
děkan

L.S.



Prof. Dr. Ing. Antonín Kříž  
vedoucí katedry

V Plzni dne 20. září 2017

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI  
**FAKULTA STROJNÍ**

Studijní program: B 2301 Strojní inženýrství  
Studijní zaměření: Materiálové inženýrství a strojírenská metalurgie

# **Bakalářská práce**

Svařování metodou TIG

Autor: **Štěpán Cempírek**

Vedoucí práce: **Ing. Igor Vilcsek, Ph.D.**

Akademický rok 2017/2018

## **Prohlášení o autorství**

Předkládám tímto k posouzení a obhajobě bakalářskou práci, zpracovanou na závěr studia na Fakultě strojní Západočeské univerzity v Plzni.

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně, s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených v seznamu, který je součástí této bakalářské práce.

V Plzni dne: .....

.....  
podpis autora

## **Poděkování**

Děkuji svému vedoucímu bakalářské práce Ing. Igoru Vilcskovi, Ph.D. za odborné vedení, ochotu, cenné rady a připomínky, které mi poskytl během psaní této práce a také za jeho optimistický přístup.

Děkuji také rodičům, za podporu, optimismus a za pomoc při gramatické korektuře textu.

# ANOTAČNÍ LIST DIPLOMOVÉ (BAKALÁŘSKÉ) PRÁCE

<b>AUTOR</b>	Příjmení Cempírek	Jméno Štěpán	
<b>STUDIJNÍ OBOR</b>	B2301 „Strojní inženýrství“		
<b>VEDOUCÍ PRÁCE</b>	Příjmení (včetně titulů) Ing. Vilcsek, Ph.D.	Jméno Igor	
<b>PRACOVISŤE</b>	ZČU - FST - KMM		
<b>DRUH PRÁCE</b>	<b>DIPLOMOVÁ</b>	<b>BAKALÁŘSKÁ</b>	Nehodící se škrtněte
<b>NÁZEV PRÁCE</b>	Svařování metodou TIG		

<b>FAKULTA</b>	strojní	<b>KATEDRA</b>	KMM	<b>ROK ODEVZD.</b>	2018
----------------	---------	----------------	-----	--------------------	------

## POČET STRAN (A4 a ekvivalentů A4)

<b>CELKEM</b>	39	<b>TEXTOVÁ ČÁST</b>	39	<b>GRAFICKÁ ČÁST</b>	0
---------------	----	---------------------	----	----------------------	---

<p style="text-align: center;"><b>STRUČNÝ POPIS (MAX 10 ŘÁDEK)</b></p> <p><b>ZAMĚŘENÍ, TÉMA, CÍL POZNATKY A PŘÍNOSY</b></p>	<p>Tato práce se zabývá problematikou svařování metodami MIG/MAG a TIG, přičemž největší důraz je kladen na problematiku metody TIG. Cílem této práce je definování základních faktů hrajících roli při svařování metodou TIG, dále kvalitativní porovnání dvou svářecích zdrojů různých výrobců. Jejich kvalita je posuzována z hlediska kvality poskytnutých svařových spojů a uživatelské náročnosti.</p>
<p style="text-align: center;"><b>KLÍČOVÁ SLOVA</b></p> <p style="text-align: center;"><b>ZPRAVIDLA JEDNOSLOVNÉ POJMY, KTERÉ VYSTIHUJÍ PODSTATU PRÁCE</b></p>	<p style="text-align: center;">TIG, svařování, MIG, MAG, svařovací zdroje, svařovací parametry, WIG</p>

## SUMMARY OF BACHELOR SHEET

<b>AUTHOR</b>	Surname Cempírek	Name Štěpán	
<b>FIELD OF STUDY</b>	B2301 „Mechanical Engineering“		
<b>SUPERVISOR</b>	Surname (Inclusive of Degrees) Ing. Vilcsek, Ph.D.	Name Igor	
<b>INSTITUTION</b>	ZČU – FST – KMM		
<b>TYPE OF WORK</b>	<b>DIPLÓMA</b>	<b>BACHELOR</b>	Delete when not applicable
<b>TITLE OF THE WORK</b>	TIG welding		

<b>FACULTY</b>	Mechanical Engineering	<b>DEPARTMENT</b>	KMM	<b>SUBMITTED IN</b>	2018
----------------	------------------------	-------------------	-----	---------------------	------

### NUMBER OF PAGES (A4 and eq. A4)

<b>TOTALLY</b>	39	<b>TEXT PART</b>	39	<b>GRAPHICAL PART</b>	0
----------------	----	------------------	----	-----------------------	---

<b>BRIEF DESCRIPTION</b>  <b>TOPIC, GOAL, RESULTS AND CONTRIBUTIONS</b>	This thesis deals with MIG / MAG and TIG welding, with the greatest emphasis on TIG. The aim of this work is to define the basic facts that play a role in TIG welding, as well as a qualitative comparison of two welding sources of various manufacturers. Their quality is assessed in terms of the quality of welded joints provided and user demands.
<b>KEY WORDS</b>	TIG, welding, MIG, MAG, welding, welding parameters, WIG

Obsah

1	Úvod .....	4
2	Označování metody TIG, MAG, MIG .....	5
2.1	Metoda TIG .....	5
2.2	Metoda MAG.....	5
2.3	Metoda MIG .....	5
3	Elektrický oblouk .....	5
3.1	Zapálení oblouku .....	6
3.2	Rozlišované části oblouku .....	7
3.2.1	Katodová skvrna.....	7
3.2.2	Sloupec .....	7
3.2.3	Anodová skvrna.....	8
3.3	Foukání oblouku .....	8
3.4	Statická voltampérová charakteristika oblouku.....	8
3.5	Dynamická charakteristika .....	9
4	Proudy a jejich vliv na svařování .....	9
4.1	Stejnoseměrný proud.....	9
4.1.1	Pulzní proud .....	9
4.2	Střídavý proud .....	10
5	Ochranné plyny .....	11
5.1	Argon .....	11
5.1.1	Využití.....	11
5.2	Helium .....	11
5.2.1	Využití.....	11
5.3	Směs argon + helium .....	12
5.4	Směs argon + vodík .....	12
5.5	Směs argon + dusík.....	12
5.6	Oxid uhličitý .....	12
5.7	Kyslík.....	12
6	TIG .....	13
6.1	Výhody .....	13
6.2	Nevýhody.....	14
6.3	Použití.....	15
6.4	Svařovací parametry .....	15
6.4.1	Výsledky výzkumu jednotlivých odborníků .....	16



6.5	Hořáky .....	17
6.5.1	Součásti .....	18
6.5.2	Rozdělení.....	18
6.6	Druhy netavících se elektrod .....	19
6.6.1	Příklady použití .....	19
6.7	Způsoby svařování.....	20
6.7.1	Ruční způsob .....	20
6.7.2	Strojní způsob.....	20
6.7.3	Bodové svařování.....	20
6.8	Orbitální svařování .....	20
6.9	Svařovací zdroje .....	21
6.9.1	Dynama .....	21
6.9.2	Transformátory.....	22
6.9.3	Usměrňovače .....	22
6.9.4	Invertory .....	22
7	MIG/MAG.....	22
7.1	Výhody .....	23
7.2	Nevýhody.....	23
8	Vývoj TIG .....	23
9	Vývoj MIG/MAG.....	24
10	Úvod do experimentální části.....	26
11	Zhotovení svarů.....	26
12	Testování .....	32
12.1	Nedestruktivní.....	32
12.1.1	Vizuální .....	32
12.1.2	Zkouška magnetickou práškovou metodou.....	32
12.1.3	Kapilární zkouška.....	33
12.1.4	Zkouška rentgenem .....	34
12.2	Destruktivní testování .....	36
12.2.1	Metalografie .....	36
13	Diskuze výsledků .....	39
14	Závěr.....	40
	Seznam použité literatury .....	41
	Seznam obrázků .....	44
	Seznam tabulek .....	44

## **Použité zkratky a jednotky**

### **Zkratky**

obr. – obrázek  
tab. – tabulka  
NDT – nedestruktivní metody testování  
Al – hliník  
Cr- chrom  
Co- kobalt  
Mo - molybden  
Fe – železo  
Ti – titan  
Nb- niob  
O- kyslík  
Mg- hořčík  
Cu- měď  
EN – evropská norma  
ČSN – česká technická norma

### **Jednotky**

°C – stupeň Celsia  
A – Ampér  
J – Joule  
mm - milimetr  
V- Volt  
Kg- kilogram  
Hz - Hertz

## 1 Úvod

Metoda TIG je svařovací metodou, jejíž rozsah i význam použití neustále narůstá. Děje se tomu tak s rostoucími požadavky na kvalitu svarových spojů a nárůstem potřeby spojovat kovové materiály, které nelze svařit jinými metodami, nežli metodou TIG.

Problematika svařování je rozsáhlou oblastí, kde hraje roli mnoho proměnných. V první části bylo tedy přistoupeno k definování základních faktů ovlivňujících svařování metodami MIG/MAG a TIG. Snahou je podchytit klíčová fakta, pro přehled a pochopení podstaty těchto uvedených metod. Po vyložení základních technologických specifikací jsou uvedeny oblasti, ve kterých je metoda TIG aplikována.

Cílem práce je kvalitativní porovnání dvou svářecích zdrojů pro metodu TIG od různých výrobců. Hlavním předmětem experimentu je zhotovení svarů a porovnání jejich kvality metodami nejhojněji využívanými v průmyslové i výzkumné praxi. Dále také zkoumání samotných uživatelských výhod svářecích zdrojů jednotlivých výrobců.

## 2 Označování metody TIG, MAG, MIG

[1][2][3]

### 2.1 Metoda TIG

TIG je zkratka z anglického jazyka, ze slov tungsten inert gas. Německé označení této metody je WIG, tedy Wolfram inert Gas. Německé slovo pro wolfram je shodné jako české, na rozdíl anglického výrazu pro wolfram, které zní tungsten. Ve Spojených Státech Amerických se ustálilo označení GTAW. Zkratka GTAW je tvořena slovy gas tungsten arc welding, kde „arc“ znamená elektrický oblouk a „welding“ svařování. Dále nese TIG číselné označení dle normy EN ISO 4063, jako metoda 141.

Celé české označení této metody je Obloukové svařování netavící se elektrodou v inertním plynu. Běžně se pro něj užívá zkrácený tvar TIG, případně WIG. Často bývá také označováno jako svařování „pod argonem“, vzhledem k nejpoužívanějšímu plynu při svařování touto metodou.

### 2.2 Metoda MAG

MAG je německá zkratka pro Metal aktiv Gas. Americký ekvivalent je GMAW (gas metal arc welding). Dle normy číselně označována jako svařovací metoda 135.

V češtině je používáno celkové označení: Svařování tavící se kovovou elektrodou v aktivním plynu. V České Republice se užívá mezinárodně uznávaná zkratka MAG. V praxi se lze dále setkat s nazýváním této metody, jako svařování CO<sub>2</sub> (čtené jako svařování „céóčkem“). Toto plyne z nejhodněji používaného plynu, při svařování tímto způsobem, kterým je právě oxid uhličitý CO<sub>2</sub>.

### 2.3 Metoda MIG

MIG je označení opět z němčiny, tvořené slovy Metal inert Gas. Jde tedy o svařování v inertním, česky netečném plynu. V USA se používá zkrácení GMAW. Číslo této metody je 131.

Úplný český název je: Svařování tavící se kovovou elektrodou v inertním plynu.

## 3 Elektrický oblouk

[1][4][5]

Společný základ pro metody MIG/MAG i TIG je elektrický oblouk.

Při svařování slouží jako zdroj vysokých teplot, schopných natavit materiál. Natavení materiálu je základním požadavkem pro jeho metalurgické spojení. Oblouku se hojně využívá, neboť koncentruje vysokou teplotu na malou plochu. Výhodnost tohoto spočívá v minimalizaci tepelně ovlivněné oblasti.

Elektrický oblouk je vysokotlaký nízkonapěťový konstantní výboj v plynu, na rozdíl od zkratu, který je výbojem krátkodobým. Zkrat i elektrický oblouk jsou stavy, při kterých proud neprochází přes spotřebič, ale přímo od jednoho pólu k druhému. K vedení oblouku je třeba plazma, tedy ionizovaný plyn. Ionizace se uskutečňuje nejprve zkratem a následně už se o ionizaci stará samotný oblouk. Aby byl svar kvalitní, rovnoměrný a sváření mohlo probíhat správně, musí být oblouk stabilní. Důležité pro stabilitu oblouku je dostatečné napětí způsobující ionizaci a dostatečný proud pro její udržení.

### 3.1 Zapálení oblouku

Uskutečňuje se při napětí zdroje bez zatížení – napětí naprázdno. Toto napětí bývá obvykle vyšší, než následné napětí v průběhu svařování. Oblouk je při něm zapálen, nazývá se tedy napětím zápalným.

#### 3.1.1.1 Způsoby zapálení využívané pro MIG/MAG a TIG

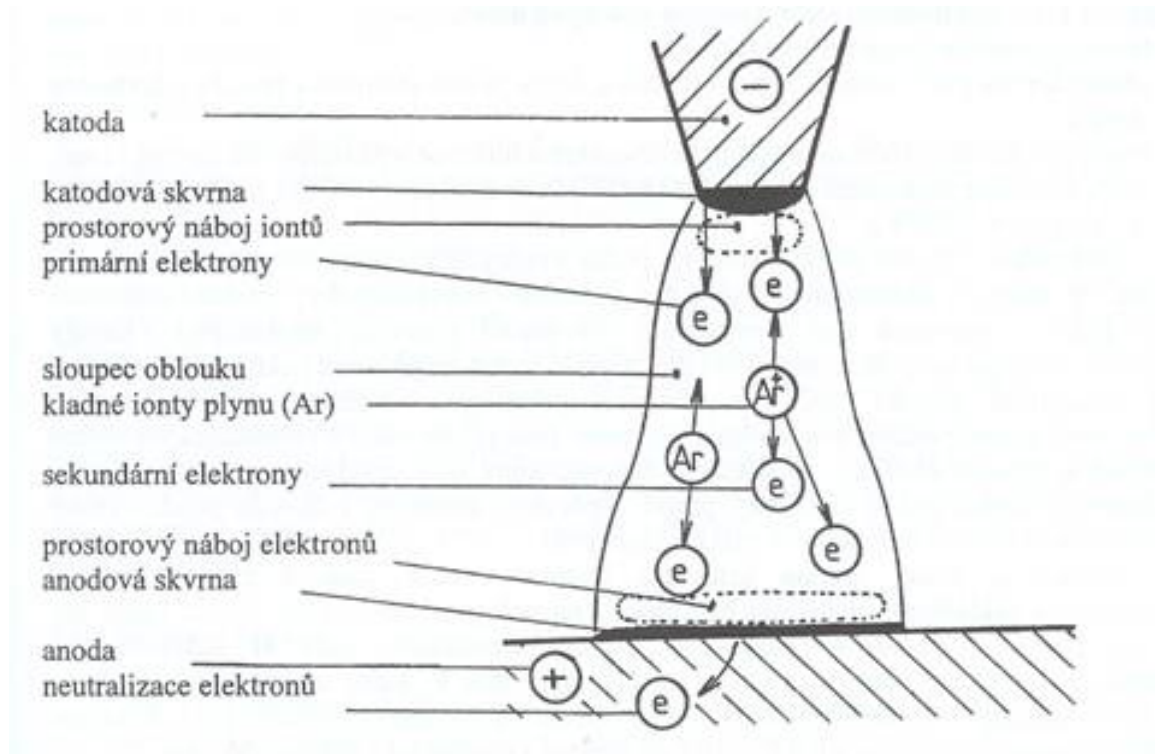
Při zapalování oblouku je rozlišováno více způsobů ionizace plynu, z nichž základní je pomocí teploty, nebo pomocí vysokého napětí.

1. Jako první bude popsán způsob zapálení oblouku při MIG/MAG svařování, který se dále využívá například při ručním obloukovém svařování obalenou elektrodou (ROE).

Provádí se dotykem elektrody a základního materiálu s následným oddálením o vzdálenost, při které je oblouk schopný hořet. Při tomto způsobu je nastavený svařovací proud. Proud procházející elektrodou a základním materiálem ohřeje kontaktní místo na vysokou teplotu. Ohřátí je způsobeno odporem materiálu v místě doteku. Proud, který prochází obvodem v tuto chvíli, se nazývá proudem zkratovým. Ohřátím dojde k termoemisi primárních elektronů, které jsou klíčové pro ionizaci prostředí a zapálení oblouku. Oblouk se následně rozvine oddálením elektrody. V důsledku oddálení vzroste proud a dochází k většímu odtavování a odpařování kovu, nutného pro stabilní hoření elektrického oblouku. V případě, že použité svařovací zařízení využívá střídavý proud (AC), je třeba zohlednit ionizační napětí par kovů, nacházející se mezi elektrodami. Ionizační napětí je napětí, při kterém dochází k ionizaci plynu. Každý materiál má svoji hodnotu ionizačního napětí, přičemž plyny mají tuto hodnotu násobně vyšší, než kovy.

2. Další způsob se využívá pro metodu TIG. Při tomto způsobu se zapálí jiskra při vzdálenosti elektrody několik milimetrů od základního materiálu. Ke vzniku oblouku tedy dochází bez styku elektrody a svařovaného kusu. Děje se tak krátkodobým impulzem o napětí kolem 1000V. Využívá se k tomu vysokonapěťový vysokofrekvenční ionizátor. Jiskra ionizuje plynné prostředí, tvořené ochranným plynem a způsobí v něm disociaci a ionizaci, která následně vede ke vzniku samotného oblouku.
3. Posledním způsobem je dotykové zapálení oblouku využívané stejně, jako předchozí způsob, pro TIG. Jde o zapalování pomocí startovacího proudu. Při tomto druhu zapalování se ve stejný čas řídí a kontrolují svařovací parametry a je ohřívána jen špička elektrody nízkým proudem (do 10A). Následně je elektroda oddálena a oblouk je zapálen. Jelikož první část, ve které elektrodou prochází nízký proud, může být delší, lze přesně umístit začátek svaru.

## 3.2 Rozlišované části oblouku



Obrázek 1 Elektrický oblouk [1]

Zřetelně lze popsat elektrický oblouk a děje, které v něm při svařování probíhají, na oblouku stejnosměrného proudu při metodě TIG. Na oblouku rozlišujeme několik oblastí, z nichž každá disponuje významem pro fungování obloukového svařování.

### 3.2.1 Katodová skvrna

Na konci katody (záporné elektrody) se nalézá katodová skvrna. Je to oblast nejvyšší teploty. Rostoucím proudem se skvrna zmenšuje a teplota roste, čímž se také zvyšuje proudová hustota. Katodová skvrna je zodpovědná za termoemisi elektronů, tedy emisi elektronů způsobenou teplem. Je klíčová pro ionizaci a disociaci atomů a molekul ochranného plynu. K ionizaci dochází srážkami emitovaných elektronů s atomy plynu, které jsou při tom štěpeny. Ionizované atomy rozložené na elektrony a kladné ionty dobře vedou elektrický proud. Vnější napětí dále rozpojuje tyto částice a dochází k dalším srážkám a dělení. Ionizace tímto umožní následné samotné zapálení oblouku. V blízkosti katody je úbytek napětí, v jehož oblasti získávají elektrony vyšší kinetickou energii. Tento úbytek je například u metody TIG 8V při proudu 100A. Teplota katody je snižována spotřebou práce, při emisi elektronů a opět zvyšována dopadajícími kladnými ionty. Teplota katody se pohybuje mezi 2400-3000°C.

### 3.2.2 Sloupec

Ostře zářící část, nalézající se mezi elektrodami. Je tvořen plazmou. Velikost teploty a tlaku ve sloupci kopíruje Gaussovu křivku. Uprostřed se nalézají nejvyšší hodnoty a směrem od středu klesají.

### 3.2.3 Anodová skvrna

Je skvrnou, do které se soustřeďuje oblouk na anodě. Uskutečňuje se zde neutralizace a odvádění dopadajících elektronů. Při tom se jejich kinetická energie mění na teplo a elektromagnetické záření. Teplota anodové skvrny je vyšší, než je teplota skvrny katodové. Její hodnota je zhruba 2700-3600°C. Důvodem této teploty je právě vyšší dopadová energie urychlených záporných částic. Vzniklým teplem dochází k odpařování částic ze svarové lázně. Tyto částice vstupují do plazmatu, kde jsou disociovány a ionizovány. Podobně jako na katodě, i zde je jistý úbytek napětí. A stejně jako na katodě vede tento úbytek ke zrychlení elektronů.

### 3.3 Foukání oblouku

[1]

Elektrický proud kolem sebe vytváří magnetické pole. To lze zaznamenat v případě, že místo, kde jsou upevněny uzemňovací kleště svařovacího zdroje, nebylo zvoleno vhodně. V takovém případě může dojít k ohýbání oblouku magnetickým polem, vytvářeným nevhodně směřovaným proudem, například u vstupu do materiálu. Toto je výrazně nežádoucí a může vést ke studenému spoji. Studený spoj je vada svaru, při které nedošlo k metalurgickému spojení svarového kovu a základního materiálu. Vznikne dopadáním roztaveného materiálu jinam, než na místo ohřáté elektrickým obloukem.

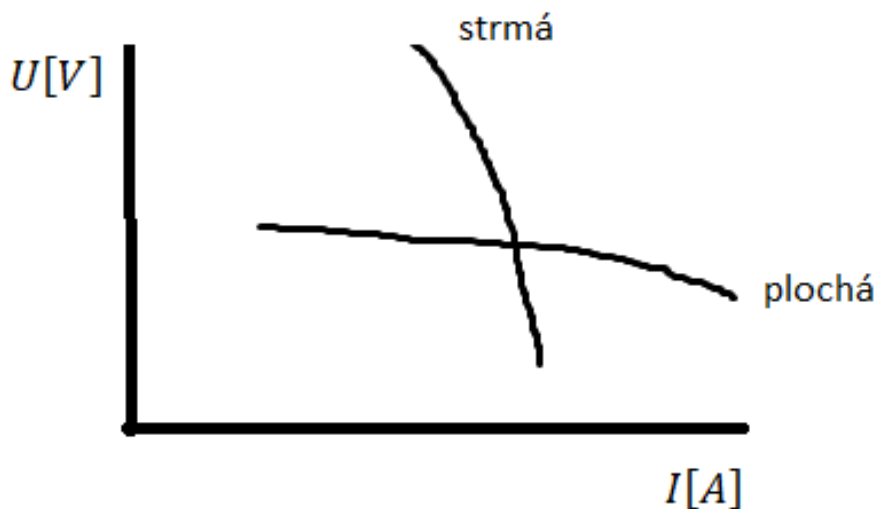
### 3.4 Statická voltampérová charakteristika oblouku

[1]

Jde o závislost proudu na napětí, která dokáže hodně vypovědět o průběhu konkrétního svařování a má na něj určující vliv. Statickou se nazývá, neboť zachycuje průběh těchto veličin při ustáleném ději.

Vliv na tvar a polohu charakteristiky má více faktorů. Ovlivňuje jí zdroj svařovacího proudu, případně jeho nastavení. Dále chemické složení elektrody, tvar jejího hrotu a průměr. Charakteristiku ovlivňuje také použitý ochranný plyn.

Efekt tvaru charakteristiky je takový, že například v případě, kdy je zdrojem dodáváno konstantní napětí, lze zvýšit proud při zachování napětí.



Obrázek 2 V-A charakteristika

**Strmou** charakteristiku je výhodné použít při ručním obloukovém svařování. Důvodem je malá změna proudu při velké změně napětí. Změna napětí nastává, když se mění délka oblouku a ta se právě při ručním svařování mění často, vzhledem k tomu že svařovací hořák je držen svářečem.

Naopak **plochá** voltampérová charakteristika najde uplatnění při poloautomatickém a automatickém svařování. V tomto případě když napětí poměrně málo klesne, proud vzroste hodně. Tím se zvýší rychlost odtavování elektrody a vzroste vzdálenost mezi koncem elektrody a svařovaným materiálem. Větší vzdálenost znamená vyšší napětí.

Tento proces je označován jako samoregulační funkce ploché charakteristiky a je využíván při svařování MIG/MAG.

### 3.5 Dynamická charakteristika

Určuje proměnlivé, dočasné hodnoty napětí a proudu. K těm dochází ve chvílích, kdy se při svařování něco mění. Do toho spadá například zapálení oblouku, přerušení oblouku a zkrat. Pro svařování je tato charakteristika rovněž velice důležitá a má vypovídající charakter hlavně pro zapalování oblouku.

## 4 Proudů a jejich vliv na svařování

[1][4][6]

Jsou rozlišovány 2 základní typy proudů.

- I. Stejnoseměrný proud (DC)
- II. Střídaný proud (AC)

Oba mají své výhody, díky kterým je vhodné, použít je pro svařování určitého materiálu.

### 4.1 Stejnoseměrný proud

U metody TIG se využívá při svařování oceli, niklu, mědi, bronzu, titanu, zirkonu a jejich směsí. Elektroda se nejčastěji připojuje na – pól, tedy jako katoda. Tomuto způsobu zapojení se říká přímá polarita. V malém množství odůvodněných případů může být elektroda připojena také na + pól, jako anoda. Elektroda jako anoda a základní materiál jako katoda je nazýváno nepřímou polaritou.

Výhody stejnosměrného proudu:

- I. Hoří klidněji, stabilněji
- II. Probíhá při něm hladší přechod kovu do svaru
- III. Lépe se s ním svařuje v polohách, vzhledem k možnosti použití kratšího oblouku

#### 4.1.1 Pulzní proud

Pokud je k dispozici pulzní zdroj stejnosměrného proudu, lze pracovat s pulzním režimem svařování. Při tomto režimu prochází materiálem stálá hodnota proudu, která je pravidelně pulzem vyražena na několikanásobně vyšší hodnotu. Periodicky se tedy mění proudové hodnoty. Výhodou použití je snadné tavení materiálu, ve formě pravidelně odtavovaných kapek a dobré hloubkové provaření materiálu. Další zásadní výhodou je poměrně malá tepelně ovlivněná oblast. Ta je dána malým objemem roztaveného svarového kovu, neboť pulzování rozděluje svařovací proces na mnoho malých segmentů, kdy při zvýšeném „pulzním“ proudu se přidávaný materiál odtavuje a při nízkém základním proudu má prostor tuhnout a chladnout.



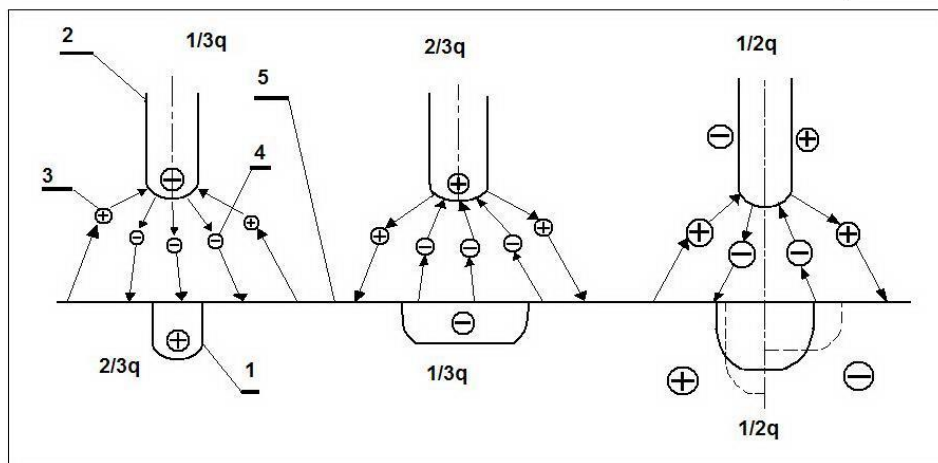
## 4.2 Střídavý proud

Použití střídavého proudu dá vzniknout střídavému oblouku. Vývoj proudu i napětí na oblouku je podobný funkci sinus. Z toho lze vyčíst, že oblouk mění periodicky polaritu a v místě, kde křivka průběhu prochází nulou, zhasíná a dále je opět zapalován. Sinusový průběh však není stabilní, proto se používají zdroje, v nichž je průběh napětí hranatý. To znamená, že křivka sice prochází nulou, ale předtím, i ihned poté má napětí maximální hodnotu.

U metody TIG se s ním, ve spojení s ochranným plynem argonem, svařuje hliník a hořčík. Důvodem k užití střídavého proudu pro tyto kovy je jejich tenká oxidická vrstva. Tu si vytváří na svém povrchu a zabraňuje metalurgickému spojení materiálu. U hliníku tvoří oxidickou vrstvu například  $\text{Al}_2\text{O}_3$ . Teplota tavení oxidů je několikanásobně vyšší, než teplota tavení svařovaného materiálu. Dále tyto oxidy nejsou rozpustné ani v tavenině, ani v tuhém roztoku a výrazně zhorší jakost svaru v případě, že se do něj dostanou. Kvůli tomuto se přistupuje k používání argonu, který má v kombinaci s proudem čistící účinek a vrstvu oxidů odstraňuje [4; 6]

Princip čistícího účinku argonu :

- 1 - hloubka závaru
- 2 - wolframová elektroda
- 3 - Ionty argonu
- 4 - elektrony
- 5 - základní materiál



Obrázek 32 - Strana 83

Obrázek 3 Jednotlivé druhy zapojení elektrody a čistící účinek argonu [6]

**Vlevo** je zobrazena přímá polarita. Svar je při ní úzký a hluboký. Na elektrodě se vyvíjí přibližně  $1/3$  celkového tepla ( $q$ ), na základním materiálu (anodě) pak  $2/3q$ . Toto má za následek větší množství tepla použitelné na tavení materiálu a zároveň menší namáhání wolframové elektrody. Z tohoto důvodu je pro svařování netavící se elektrodou v naprosté většině případů volena právě přímá polarita. Další výhodou přímé polarity je snazší zapálení oblouku.

**Uprostřed** obrázku se nachází zobrazení nepřímé polarity. Toto zapojení má u metody 141 význam, když je vyžadován nepřiliš hluboký závar (závar = průnik směsi přídavného a roztaveného základního materiálu do základního materiálu), například při svařování tenkých plechů. Dále ho lze použít, když není k dispozici svařovací zdroj střídavého proudu a je třeba čistit povrch od oxidů. Čistění probíhá tak, že ionty uvolněné z anody narážejí do povrchu

svarové lázně a rozbíjejí nežádoucí vrstvu oxidů. Při tomto má svou roli i katodová skvrna. Soustřeďuje se na místa s oxidy a ty jsou při tom uvolňovány ze svarové lázně a odpařují se. Nepřímá polarita se aplikuje při svařování hořčíku a jeho slitin.

**Vpravo** lze vidět nákres svařování střídavým proudem. Tepla vyvinutá na katodě a anodě jsou si rovna. Jeho výhodami jsou dostatečně hluboko provařený svar a účinek odstraňující oxidový povlak.

## 5 Ochranné plyny

[1][4][5]

Další věcí, která se používá jak při svařování metodou TIG, tak i metodami MIG a MAG je ochranný plyn.

Primárním důvodem použití ochranných plynů je zabránění chemické korozi svarového kovu. Ta nastává, pokud se do svarové lázně dostane vzdušný kyslík, případně dusík. Dále ochranný plyn zabraňuje poškozování elektrody způsobenému oxidací, které je běžně označováno jako modráni elektrody. Ochranný plyn také zabraňuje naplynění svarové lázně, které zhoršuje jakost svaru a může vést ke zkřehnutí materiálu svaru, případně k trhlinám.

Zvolený ochranný plyn má také vliv na chování odtavujících se kapek přídavného materiálu.

Ochranný plyn se v praxi používá samotný, nebo jako komponenta směsi plynů, tvořené až čtyřmi plyny. Směsi plynů obecně spojují výhody plynů, jimiž jsou tvořeny.

### 5.1 Argon

Je inertním plynem, chemicky nereagujícím s ostatními látkami. Nevytváří žádný zápach a je bezbarvý, bez chuti. Lze ho použít samotný nebo ve směsi s dalšími plyny. Je zhruba o polovinu těžší než vzduch a je i těžší, než například helium. Toto vede k tomu, že vytváří lepší ochranu i při nižším průtoku tohoto plynu svařovací hubicí. Jeho hustota má také pozitivní vliv na případné proudění okolního vzduchu, ke kterému je téměř netečný. Pro svařování se používá argon o vysoké čistotě. Minimální použitelná čistota argonu je 99,95%.

#### 5.1.1 Využití

Využívá se při svařování ocelí, hliníku a jeho slitin, hořčíku, niklu, mědi, zirkonu a tantalu. Při svařování ocelí se kombinuje s dalším plynem, jako například kyslíkem, oxidem uhličitým, dusíkem, vodíkem, případně heliem.

Oblouk v argonu se lehce zapaluje, za což může nízký ionizační potenciál tohoto plynu. Oblouk hoří klidně, je tenký a disponuje vysokou proudovou hustotou, což vytváří úzký hluboký svar.

### 5.2 Helium

Jde o netečný plyn, který je rovněž jako argon bezbarvý a bez zápachu. Je zhruba 10x lehčí než argon, proto je pro dostatečný ochranný účinek vyžadován větší objemový průtok. Ionizační potenciál helia je vysoký, což má za následek obtížné zapalování oblouku. Jeho dalšími důležitými vlastnostmi jsou vysoká tepelná vodivost a vysoké napětí na oblouku. Tyto vlastnosti vedou k tomu, že helium poskytuje vysoký tepelný výkon a vysoký tepelný výkon urychluje svařování. Rovněž jako argon i helium je nutné pro svařování dodávat ve velké čistotě. Helium pro svařování by mělo být v rozmezí čistoty od 99,996% do 99,999%.

Přesto, že je helium v mnoha ohledech podobné argonu, neposkytuje tak vysoký čistící účinek při svařování hliníku.

#### 5.2.1 Využití

Čisté helium se využívá pro svařování hliníku, mědi a jejich slitin.

### 5.3 Směs argon + helium

Tato směs poskytuje větší hloubku závaru a vyšší tepelný příkon, což má za následek možnost rychlejšího svařování. Jde o často využívanou kombinaci, ve které argon uklidňuje oblouk, případně může přispět čistícím účinkem. Vedle toho helium se svým vyšším tepelným příkonem zvyšuje tekutost svarové lázně. Vyšší tekutost znamená lepší smáčení a to je vyžadováno při svařování slitin kovů Al, Cu, nebo Mg.

Čistý argon, čisté helium a jejich kombinace se používají při svařování MIG a TIG.

### 5.4 Směs argon + vodík

Tato kombinace ochranných plynů zvyšuje napětí oblouku a disponuje redukčními schopnostmi. Redukční schopnosti vedou k vyšší čistotě povrchu svaru, bez oxidů a nečistot. Využívají se pro svařování vysokolegovaných ocelí a hodí se pro mechanizované svařování TIG.

### 5.5 Směs argon + dusík

N<sub>2</sub> dobře vede teplo a využívá se především pro svařování mědi, rovněž při svařování netavící se elektrodou v inertním plynu.

### 5.6 Oxid uhličitý

CO<sub>2</sub> je nejedovatý, bezbarvý plyn těžší, než vzduch. Jde o aktivní plyn, který se podílí na chemických reakcích ve svařované oblasti. Využívá se při svařování metodou MAG. Pro svařování v tomto plynu je typický ostrý praskavý zvuk, který je vydáván při oddělování kapek přídavného materiálu. Oxid uhličitý se při vysoké teplotě poskytnuté elektrickým obloukem rozkládá na CO a O<sub>2</sub>. Oxidované prvky se vylučují do strusky na povrchu svaru. Ale aby se mohly vyloučit, musí být dodány prvky jako křemík, které svarovou lázeň oxidů zbaví. Tyto prvky jsou jako legury součástí svařovacího drátu.

Oxid uhličitý dobře vede teplo a spolu s teplem uvolněným při oxidačních reakcích dobře taví materiál. Svary po správně provedeném svařování touto metodou jsou celistvé, to znamená, že v nich nedošlo ke vzniku trhlin a pórů. Svařování je rychlé a svar proniká hluboko. Běžně zaznamatelná nevýhoda tohoto plynu, v případě že je použit bez přísad, je velký rozstřík. Způsobuje to schopnost tohoto plynu vytvářet vysoké napětí na oblouku. Při stále rostoucích požadavcích na vizuální kvalitu svařovaných konstrukcí je tedy další práce s odstraněním kuliček (rozstříknutého svarového kovu). Proto se ve větších výrobcích používají jeho směsi, které jeho vlastnosti zlepšují. [3][7]

Mechanické vlastnosti při svařování metodou MAG v CO<sub>2</sub> jsou dobré. Přesto se dají přizpůsobit přidáním dalšího plynu. Například směs CO<sub>2</sub> a Ar poskytne vyšší houževnatost svaru.

V současnosti je více než jako čistý plyn využíván ve směsích Ar + CO<sub>2</sub>,

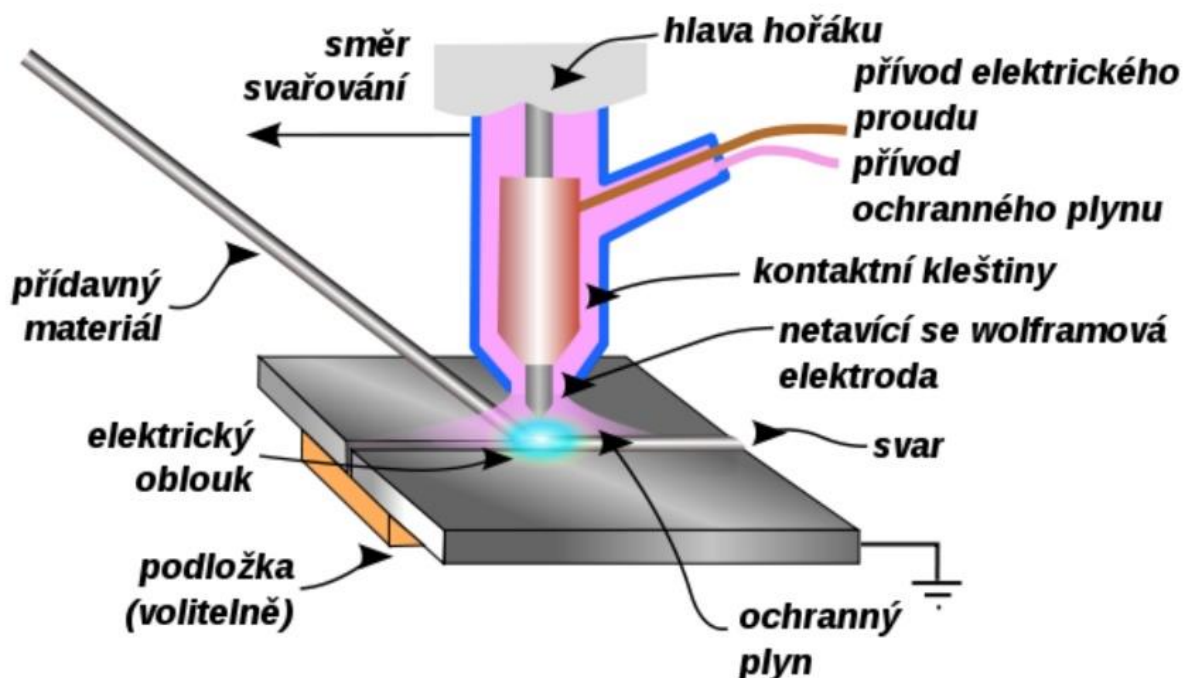
Ar + CO<sub>2</sub> + O<sub>2</sub>, Ar + He + CO<sub>2</sub> + O<sub>2</sub>. Přesto je oblíbenost čistého oxidu uhličitého stále vysoká a je využíván hlavně v drobnějších provozech a kutily. [7]

### 5.7 Kyslík

O<sub>2</sub> se tedy využívá ve směsích s Ar, případně CO<sub>2</sub>. Důvod jeho použití ve směsi je podobný jako důvod použití helia ve směsi s argonem. Kyslík značně zvyšuje povrchové napětí, tekutost a smáčivost svarové lázně. Toto zlepšuje tvar svaru, odplynění lázně a propojení základního a přídavného materiálu.

## 6 TIG

Při tomto způsobu svařování hoří elektrický oblouk mezi netavící se elektrodou a základním materiálem. Netavící se elektroda je upnutá v kleštinách. Svařovaná oblast a další aktivní svařovací komponenty jsou chráněny netečným plynem, který je chrlen z keramické hubice. Jsou 2 možnosti z hlediska přídavného materiálu. V jednom případě svar vzniká bez přidání dalšího materiálu slitím nataveného základního materiálu. Toto je z metalurgického hlediska nejlepší možnost, neboť svarový kov má naprosto identické složení jako základní materiál. Druhou možností je přidávání přídavného materiálu ve formě drátu. Tento drát je přiváděn do sloupce oblouku ze strany. Tavená část drátu by neměla vycházet z plynem chráněné oblasti, neboť by vznikala nežádoucí oxidace. [5][7][8]



Obrázek 4 Schéma svařování TIG [7]

### 6.1 Výhody

- Díky jasné viditelnosti oblouku může svářeč dobře kontrolovat svařované místo a umístění elektrického oblouku.
- Tímto způsobem svařování se vytváří velice kvalitní svary s čistým povrchem, bez nutnosti očištění od strusky. TIG za toto vděčí použití inertních plynů, které zabraňují propalu prvků a tím i tvorbě strusky. Rovněž nedochází k rozstříku, není proto nutnost odstraňovat kuličky.
- Minimalizuje se riziko vniknutí vměstků do svaru.
- Svářeč určuje, kdy přisune přídavný materiál, kontrola nad svarem je díky tomu značně vyšší, než u jiných metod.
- Lze svařovat ve všech polohách s minimálním rozstříkem, za vzniku jakostního hladkého svaru.
- Vysoká teplota oblouku umožňuje svařovat obtížně tavitelné kovové materiály.

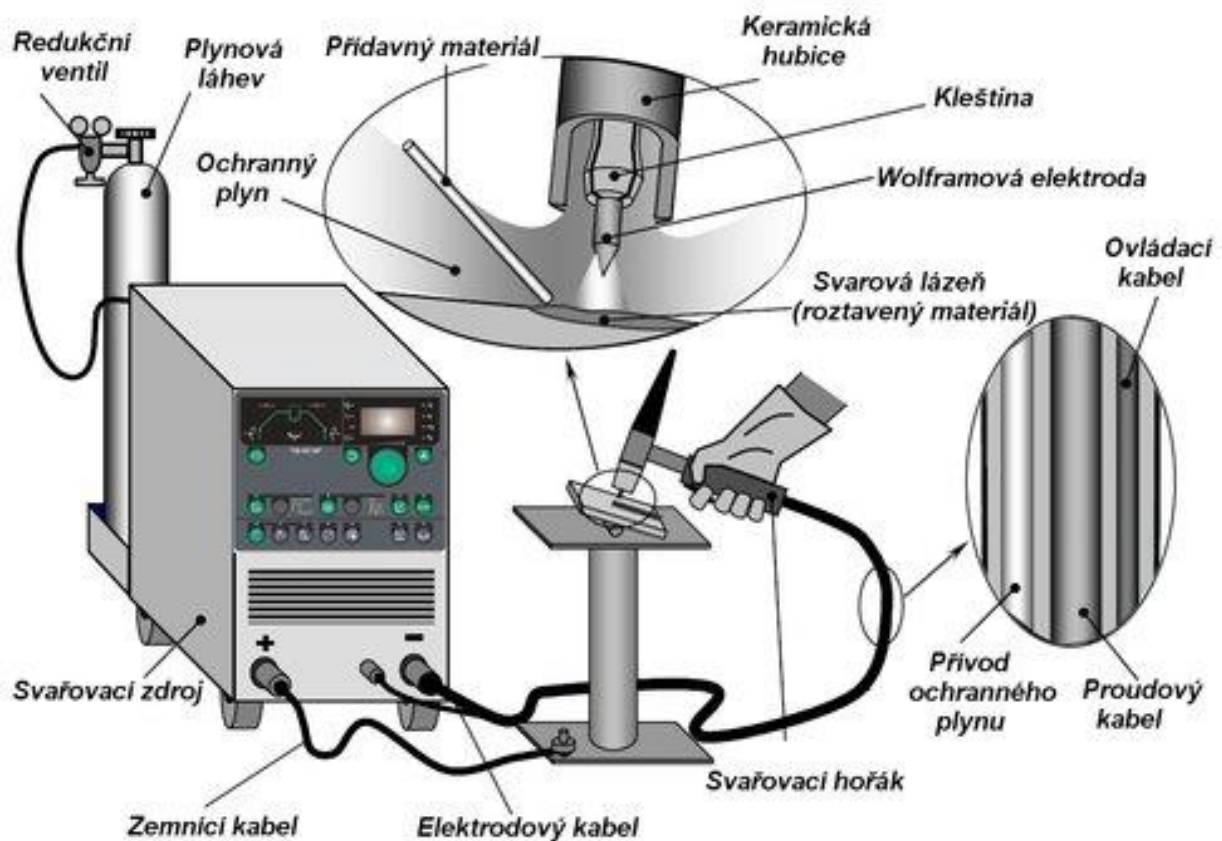
- Inertní plyn poskytuje kvalitní ochranu.
- Možnost tvarování oblouku magnetickým polem.
- Malá tepelně ovlivněná oblast a z toho plynoucí malé deformace.
- Je velice vhodný, pokud je potřeba kvalitního svaření tenkých materiálů. To plyne z možnosti užití velice nízkých proudů. Obecně TIG umožňuje použití široké škály velikostí proudů.

[1][7][9][10][11]

## 6.2 Nevýhody

- Wolfram může kontaminovat svarovou lázeň a tím negativně ovlivňovat mechanické vlastnosti svaru. Wolframové vměstky jsou totiž velice tvrdé a zároveň křehké.
- Pokud se přídavný materiál ve formě drátu dostane z místa chráněného ochranným plynem, může kontaminovat svarovou lázeň. Kontaminovat tím způsobem, že se do ní rozpustí i se svým zoxidovaným povrchem.
- Pořizovací náklady jsou vyšší, než při použití svařovacích zařízení při jiných běžných způsobech svařování. Cena vychází z větší složitosti TIG svářeček.
- Ruční svařování TIG je pomalé.

[1][7][9]



Obrázek 5 Svařovací zdroj TIG[10]

### 6.3 Použití

Jeho výhody dávají vzniknout velice kvalitním svarům. Metodou TIG lze svařovat i jinými běžnými metodami nesvařitelné materiály jako hliník a hořčík. Toto předurčuje TIG k široké oblasti využití. Metodou TIG lze svařovat téměř všechny kovové materiály. Například i obtížněji svařitelné duplexní oceli, tedy oceli se zhruba stejným obsahem austenitu a feritu. Kvalita a schopnost svařit vysokolegované materiály vede k použití této metody v nejnáročnějších oblastech, jakými je například jaderná energetika. Dále v rovněž náročných strojírenských oblastech jako energetika a farmaceutický průmysl, kde jako příklad lze uvést tlakové nádoby. TIG se využívá pro svařování kořenových svarů pro produktovody v chemickém a ropném průmyslu. Svařují se s ním žárupevné a žáruvzdorné oceli kotlů a tepelných výměníků. Primárně byl TIG vyvinut pro oblast letecké techniky, kde je stále hlavním druhem svařování, vzhledem k materiálům jako titan, které se zde používají. Svě pole působnosti nachází také v kosmické technice. Využití nalézá rovněž v dopravní technice. Zde se s ním svařují rámy kol, rámy motorek, výfuky, ale i lodě a lodní komponenty a samozřejmě uplatnění má i při výrobě automobilů. V domácnosti je možné setkat se například s nerezovými zábradlími svařenými právě touto metodou. V neposlední řadě jsou jím svařovány žebříky a dekorativní nábytek.

[1][6][7][9][10][12][13][14][15]



Obrázek 6 Svar TIG s hrotem elektrody [16]

### 6.4 Svařovací parametry

Pro správný vyžadovaný průběh svařování je nutno kontrolovat svařovací parametry. Těmi jsou svařovací napětí a proud, rychlost svařování, použitý ochranný plyn a roli hraje i případná rychlost podávání svařovacího drátu. Hodnota proudu udává hloubku svaru a ovlivňuje i velikost napětí. Při konstantní délce oblouku vyšší proud znamená vyšší napětí. Elektrické napětí na oblouku je však ovlivňováno i tvarem hrotu elektrody a vzdáleností mezi hrotem

elektrody a svarovou lázní. S vyšší vzdáleností napětí roste. Rychlostí svařování je ovlivňována zase šířka svaru a hloubka závaru. Při nižší rychlosti je závar hlubší. Další parametrem, který je třeba hlídat, pokud pracujeme s přídavným materiálem, je rychlost jeho podávání. Při snižující se rychlosti rovněž roste závar, ale také může docházet k vadě svaru v podobě zápalů. Ty vznikají v momentě, kdy není do svaru dodáváno dostatečné množství přídavného materiálu. [5]

Svařovací parametry značně ovlivňují vlastnosti svaru, jako jsou pevnost v tahu, rázová houževnatost, tvrdost a dále ovlivňují i geometrii svařového spoje. Z tohoto důvodu se výzkumníci, vývojáři a svařovací inženýři snaží najít optimální hodnoty těchto parametrů. Jde o obtížný proces, neboť jakost svařového spoje může být ovlivněna více proměnnými. Těmi jsou chemické složení základního a přídavného materiálu, tepelné zpracování a použitý ochranný plyn. [17] [18]

Často se lze setkat s volbou svařovacích parametrů metodou „pokus omyl“. Tento způsob je však časově náročný a nákladný. Přistupuje se proto spíše k různým statistickým metodám, podle kterých lze stanovit vhodné parametry. [18]

#### 6.4.1 Výsledky výzkumu jednotlivých odborníků

Následující výzkumníci se zabývali vlivem různých svařovacích parametrů na základní mechanické vlastnosti materiálů a na jejich mikrostrukturu. Jsou to z většiny indičtí vědci z předních technických univerzit a technologických institutů jejich země. Specializují se hlavně na materiálové inženýrství, doplněné o svařování. Pro své měření a výsledky používali sofistikovaných japonských statistických metod a moderních výzkumných přístrojů současnosti. Snažili se o optimalizaci parametrů, za účelem dosažení rozdílných cílů. Zde jsou příklady některých z nich.

##### 6.4.1.1 A.S. Shahi

Zabýval se vlivem tepla na mechanické vlastnosti a vlastnosti mikrostruktury svařového materiálu při svařování metodou TIG. Při jeho experimentech byly použity 3 různé svařovací parametry a to tepelné příkony 2563 J/mm (nízký), 2784 J/mm (střední) a 3017 J/mm (vysoký). V tepelně ovlivněných oblastech bylo zaznamenáno hrubnutí zrna při vyšších teplotách. Materiál při nízkém tepelném příkonu projevoval vyšší tahovou pevnost, než při středním a vysokém příkonu. Důvodem této rozdílné pevnosti byly dendrity, které při vyšších tepelných příkonech více rostly a dosahovaly v průměru větší velikosti. Stejně tak mezidendritické prostory byly v tomto případě větší. Je známo, že hrubnoucí struktura je svázána se snižující se pevností, kterou materiál může disponovat. [19]

##### 6.4.1.2 R. Arabi Jeshvaghani

Zjistil vliv svařování metodou TIG na mikrostrukturu a opotřebení oceli pokryté slitinou Ni-Cr-Co-Mo (Inconel 617). Při jeho experimentu byla na svařovaný kus navařena vrstva 1-2 mm. Pro zkoumání mikrostruktury byla použita elektronová a světelná mikroskopie. Dále byla využita rentgenová difrakční analýza. [20][21]

Vzhledem k tomu, že vlnová délka rentgenového záření a rozměry krystalické mřížky dosahují obdobných hodnot, lze tuto metodu využít pro zkoumání krystalické struktury. Ve výsledku je tak možné kopírovat strukturu materiálu právě pomocí vzniklých ohybů (difrakce) rentgenových vln procházejících materiálem. [22]

Výsledky ukazují, že karbidy  $M_{23}C_6$  (komplexní kubické karbidy,  $M=Fe, Cr$ ) se usazovaly v dendritech niklového tuhého roztoku. Částečně natavená zóna měla eutektickou

ledeburitickou a martenzitickou mikrostrukturu, ale v tepelně ovlivněné oblasti svaru se nacházela pouze struktura martenzitická. Opotřebením oceli s návarý Inconelu bylo výrazně nižší, což je připisováno právě tvrdým karbidům  $M_{23}C_6$  a kombinaci prvků tvořících tuto slitinu. Nejvýraznější zaznamenané opotřebenění bylo vyvoláno oxidací. [20]

#### 6.4.1.3 Shanping Lu

Experimentoval s různými procentními kombinacemi argonu a helia, ve směsi ochranného plynu.

Zjistil, že přidáním argonu do helia může být znatelně zvýšena zapalitelnost oblouku a následně jeho stabilita.

Vzdálenost, na kterou lze zapálit oblouk se zvýšila z 1mm pro čisté helium na 5mm při 50% argonu.

Pokud je argonu ve směsi méně než 30%, je ochrana proti atmosférické oxidaci slabá a svarová housenka je špinavá a zoxidovaná.

Přidáním malého množství kyslíku do směsi 30% Ar a 50% He se tvar svaru výrazně změnil z původně mělkého a širokého, na úzký a hluboký. Vliv na poměr hloubka/šířka měla také vzdálenost hrotu elektrody. Při vzdálenosti 1 mm byl tento poměr 0,8 a při vzdálenosti 3 mm byl 0,5. To znamená, že při delší vzdálenosti elektrody je průvar menší. Příčinou bylo širší rozložení tepla oblouku a tím širší svarová lázeň. Nehledě na to i ochrana svarové lázně byla při větší vzdálenosti elektrody a tím i hořáku chrlícího ochranný plyn horší. [23]

#### 6.4.1.4 Raghuvir Singh

Ve svých experimentech zkoumal vliv svařovací rychlosti, tavidel a proudové intenzity na hloubku a šířku svaru. Pro výzkum použil ocel 304 Stainless steel, dle EN nerezová ocel 1.4301. Jde o ocel X5CrNi 18-10, staré označení dle ČSN je ocel 17240, tedy ocel chromniklová s možnou stabilizací prvky Ti a Nb. Bylo zjištěno, že nejvýraznější vliv na hloubku svaru mají přidaná tavidla. Jako další hrál největší roli svařovací proud. Také  $SiO_2$  dokázal znatelně ovlivnit hloubku svaru. Účelem jeho optimalizace byla maximalizace hloubky svaru a minimalizace šířky svarové housenky. [24][25][26]

#### 6.4.1.5 Mr. Pikid Danugmala

Zabýval se volbou parametrů pro svařování metodou MIG/MAG. Byly měněny 4 faktory a to velikost proudu, svařovací rychlost, ochranný plyn a hodnota napětí. K dosažením výsledků použil statistickou metodu, založenou na maticových výpočtech, nazývanou „central composite design“. V jeho případě byly optimální svařovací podmínky 125A, 36cm/min, 27V a při tom dosažená pevnost v tahu  $599,379N/mm^2$ . Tato pevnost by odpovídala pevnosti oceli 11500 dle ČSN. [17]

Nezmiňovaní výzkumníci

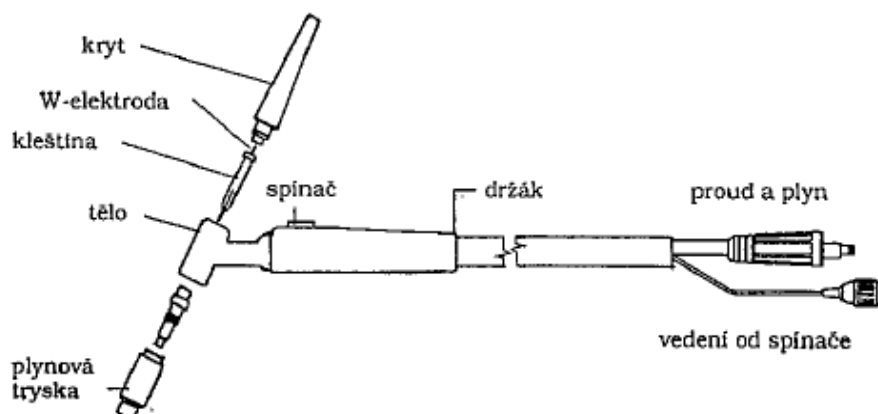
Další z odborníků zmíněných ve zdroji [17] se zabývali vlivem parametrů jako sklon svařovacího hořáku a úhel broušení netavící se elektrody.

## 6.5 Hořáky

[1][5]

Svařovací hořák je nejvíce namáhanou komponentou celé svářečky. Probíhá v něm přívod proudu k elektrodě, přivádí se skrze něj ochranný plyn, který se zde i usměrňuje. Je v něm upevněna svařovací elektroda a hořákem také prochází chladicí tekutina.

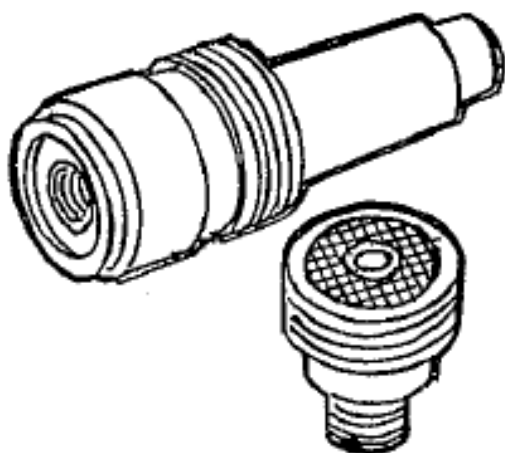




Obrázek 7 Svařovací hořák [1]

### 6.5.1 Součásti

Hlavní součásti hořáku jsou kleštiny. Ty pevně drží netavící se elektrodu a zajišťují tak průchod proudu z proudového kabelu do elektrody. Pevnost upnutí je důležitá, neboť snižuje odpor kladený proudu při přechodu z kabelu do elektrody. Vyšší odpor by znamenal zbytečné ohřívání hořáku a tepelné ztráty, tedy ztráty z příkonu poskytnutým zdrojem. Další součástí hořáku je plynová tryska, nazývaná také svařovací hubicí. Ochranný plyn proudí postupně z plynové lahve, přes redukční ventil, svařovací zdroj až sem, do svařovacího hořáku a plynové trysky. Zde je tryskou respektive hořákem směřován jeho tok ke svaru. Šířka trysky je volena vzhledem k tomu jak velkou plochu je nutné chránit. V průběhu vyvíjení metody TIG byly mimo jiné vynalezeny plynové čočky vypadající jako sítko, které dokáží prodloužit pro svařování žádané laminární proudění. S větším dosahem proudění jde možnost delšího vysunutí elektrody a vyšší efektivita využití ochranného plynu.



Obrázek 8 Plynová sítko [1]

### 6.5.2 Rozdělení

Hořáky lze rozdělit podle způsobu chlazení, na chlazené vzduchem a chlazené vodou. Chlazení plynem se využívá při ručním svařování. Ke chlazení vodou se přistupuje hlavně při strojním

svařování. Vodní chlazení umožňuje použít vyšší proudy, což má vliv na svařovací výkon. Dalším rozdílem je, že trysky hořáků chlazených plynem bývají keramické, na rozdíl od trysek vodou chlazených hořáků, které jsou zpravidla vyráběny z mědi.

## 6.6 Druhy netavících se elektrod

[1][5]

Netavící se elektrody jsou rozlišovány podle přísadových prvků, kterými jsou tvořeny. Přísadové prvky zlepšují některé jejich vlastnosti a tím jejich vhodnost pro použití při svařování konkrétních materiálů. Základním materiálem těchto netavících se elektrod je vždy wolfram, z tohoto důvodu se většinou používá označení wolframová elektroda, i přesto, že obsahuje další přísadu. Přísadovými prvky jsou thorium, lanthan, cer a zirkon. Podle toho jakou přísadu elektrody mají a kolik % této přísady obsahují, jsou konvenčně barevně rozlišovány. Příkladem může být elektroda označovaná jako WT 40. Disponuje wolframovým základem a obsahuje 4% oxidu thoričitého  $\text{ThO}_2$ . Její charakteristickou barvou je oranžová. Šířka a přísady určují doporučené hodnoty proudu pro jednotlivé elektrody. Pokud jsou hodnoty překročeny, dojde k poškození elektrody. Obecně přísady také příznivě ovlivňují životnost elektrody.

### 6.6.1 Příklady použití

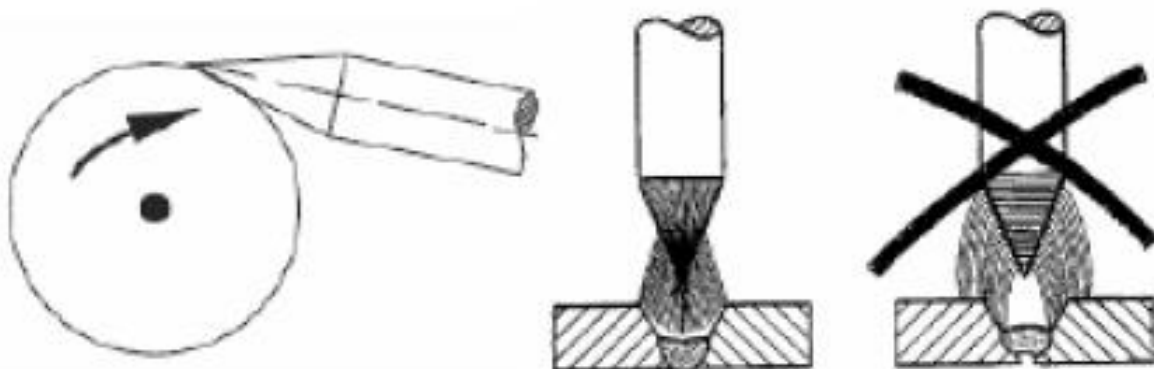
Čistě wolframová elektroda je vhodná pro svařování hliníku, ale pouze za předpokladu použití střídavého proudu. Charakteristické pro tuto elektrodu je také tvar jejího hrotu. Není jí ostrá špička, ale zaoblený hrot. U netavících se elektrod se tedy lze setkat s ostrým kuželovým a poněkud méně ostrým zaobleným hrotem.

Přínosnou vlastností přísady thoria je zvýšená emise elektronů. To souvisí s tím, že jde o radioaktivní prvek. Z tohoto důvodu je nutná zvýšená hygiena pracovního prostředí, s důsledným odsáváním vzniklých nebezpečných zplodin.

Elektrody obsahující cer a lanthan mají obdobné přednosti jako thorium. Jejich značnou výhodou ale je, že nejsou radioaktivní a neemitují nebezpečné záření  $\alpha$ . Lanthan také v některých případech usnadňuje zažehnutí oblouku.

Zirkon zase zabraňuje uvolňování wolframových vměstků do svaru.

Užitečnou a zároveň zajímavou věcí je způsob broušení elektrody. Jak je elektroda broušena totiž zcela zásadně ovlivňuje, jak bude vypadat oblouk. „Oblúk býva zrkadlovým obrazom uhla nabrúsenia.“ [5]



Obrázek 9 Doporučený způsob broušení a vliv sklonu rýh na tvar oblouku [6]

## 6.7 Způsoby svařování

V současnosti se lze setkat běžně jak s ručním svařováním metodou 141, tak se svařováním poloautomatizovaným, automatizovaným i plně robotizovaným. Stupeň automatizace klade rozdílné požadavky na nastavení svařovacích parametrů. Stejně tak jsou odlišné svařovací výkony a výsledná kvalita svaru. V ideálním případě by měl případné posouzení vhodnosti zavedení robotizace provádět vyšší svářečský personál, který nejlépe dokáže odhadnout poměr možného přínosu vůči pořizovacím nákladům. [1][3]

### 6.7.1 Ruční způsob

Technika ručního svařování TIG je obdobná jako při svařování plamenem. Svařuje se dopředu, to znamená, že pravák pohybuje hořákem doleva. Přídavný materiál je přiváděn zepředu. Pomocí WIG lze svařovat ve všech polohách. [1]

### 6.7.2 Strojní způsob

Při tomto způsobu jsou přídavný materiál i svařovací hořák vedeny automaticky. Strojní svařování WIG nabízí řadu výhod. Jsou jimi neměnní se délka oblouku, přesné vedení hořáku, konstantní svařovací rychlost a pravidelný ustálený přísun svařovacího drátu. Nelze opomíjet další značnou výhodu. Tou je, že automatické, například robotizované, svařování může nahradit kvalifikovaného svářeče. Po svářečích je v současnosti vysoká poptávka a nalezení vhodného specialisty nemusí být snadné. O to více, že TIG je bezpochyby obtížnější, než další běžné způsoby svařování, jakými jsou například ruční obloukové svařování obalenou elektrodou nebo MIG/MAG. Další výhodou je možnost ovládat svařovací parametry přímo v průběhu svařování pomocí softwaru. [1][3]

### 6.7.3 Bodové svařování

Metoda TIG také umožňuje takzvané bodování. Korektnější název tohoto způsobu je průvarkové svařování. Je to styl spojování plechu k dalšímu materiálu, případně dvou plechů. Tato technologie vytváří pomocí speciální pistole drobná svařená místa, body. Není tedy vytvářena svarová housenka, ale body, které v podstatě nahrazují nýty. [1][9]

## 6.8 Orbitální svařování

[1][5]

Mezi produktivní metody strojního svařování patří orbitální svařování. Jde o obvodové svařování trubek. Používají se při něm speciální svařovací hlavy. Svařují se jím trubky, potrubí, případně trubkovnice, tedy součásti tvořené spojením více trubek, využívané například pro tepelné výměníky. Uplatnění najde obecně v prostředí, kde je požadována vysoká kvalita svařených trubek. Tomu je tak zejména v energetice, ať už konvenční nebo jaderné, dále v průmyslu zpracovávajícím chemické látky a ve výrobě potravinářských zařízení a systémů.



Obrázek 10 Orbitální svařování [27]

Svářecí hlava se při tomto způsobu posouvá po vedení. Objede tak trubku kolem dokola s mírným přesahem, pro zajištění překrytí začátku svaru. Hlava je tvořena hořákem, podavačem drátu a vedením, které zprostředkovává jednak vedení kolem trubky a dále také kývavý pohyb hořáku. Kývavým pohybem vzniká charakteristická struktura svaru metody TIG, již lze zaznamenat i při ručním svařování netavicí se elektrodou v inertním plynu. Pro orbitální svařování se v současnosti aplikuje pulzní svařovací režim. Ten umožňuje usměrněné dávkování svarového kovu, za malého ovlivnění základního materiálu. Charakteristickým je také použití wolframové elektrody obsahující další legující prvky. Bývá legována zejména thoriem, nebo cerem. Jde o plně automatický způsob svařování.

## 6.9 Svařovací zdroje

[1][5]

### 6.9.1 Dynama

Prvním typem zdrojů pro svařování TIG je zdroj, jehož základem je svařovací dynamo. K dynamu je třeba přidat motor, většinou elektromotor. Tyto 2 části dají vzniknout celku svařovacího zdroje. Dynama generují stejnosměrný proud a nacházejí uplatnění u ručního svařování metodou 141. Avšak tento typ zdrojů nevyhovuje hygienickým a energetickým normám současnosti, neboť tyto zdroje jsou příliš hlučné a mají vysoké energetické ztráty. Užitečné pro představu práce s těmito zdroji je také zmínit, že jejich statická charakteristika je strmá.

### 6.9.2 Transformátory

Transformátory jsou rovněž zdroji použitelnými pro ruční svařování a to nejen metodu TIG. Pro metodu TIG se však spojují s vysokofrekvenčním ionizátorem, který má příznivý vliv na oblouk. Poskytují střídavý proud, lze je tedy využít i pro jiné typy materiálů. Jejich statická charakteristika je popisována jako polostrmá. Transformátor je tvořen jádrem a dvěma cívkami. Ty umožní transformovat vstupní napětí na nižší, použitelné pro svařování.

### 6.9.3 Usměrňovače

Svařovací usměrňovač je tvořen transformátorem a usměrňovacími členy. Konstrukce usměrňovače nabízí použití stejnosměrného, i střídavého proudu. Příkladem může být usměrňovací zdroj s tlumivkou. Ta umožňuje regulaci proudu a statické charakteristiky zdroje. Pro ruční svařování TIG tedy lze výhodně nastavit strmou charakteristiku, která je pro toto svařování nutná.

### 6.9.4 Invertory

Invertory neboli měniče, případně střídače, jsou moderními svařovacími zdroji získávajícími v průmyslu stále větší podíl zastoupení. Jejich přednostmi jsou nízká hmotnost, malé rozměry a vysoký svařovací výkon. Fungování lze zjednodušeně popsat pomocí méně výkonných inverterových zdrojů. Nejdříve je usměrněno střídavé vstupní napětí na stejnosměrné a poté je změněno na napětí vysokofrekvenční. Invertory poskytují možnost řídit svařovací charakteristiky. A to statickou i dynamickou, což je přínosné například při zapalování oblouku. Tato volba různých programů je prováděna přes řídicí jednotku a čerpá ze seznamu přednastavených charakteristik a parametrů. K řídicí jednotce přísluší také display, který umožňuje svářeči nastavení všeho potřebného. Jsou vyráběny typy inverterových zdrojů stejnosměrného i střídavého proudu. Na trhu jsou běžně svářečky stejnosměrného proudu (AC), které ale nabízejí i možnost střídavého proudu. Dosahují toho tím, že umějí měnit polaritu. Střídání polarity s dostatečnou frekvencí kopíruje střídavý proud. [7][11]

Moderní inverterové svářečky nabízejí řadu dalších užitečných vlastností. Jsou jimí foukání ochranného plynu před svařováním a dofuk ochranného plynu ještě danou chvíli po dokončení svaru. To zajistí, aby svar získal opravdu vysokou jakost a aby nedocházelo k oxidaci svarové lázně ani po vypnutí oblouku. Další užitečnou funkcí je dokonalé vyplnění koncového kráteru, což je častá vada svaru. Některé inverterové svařovací zdroje také nabízejí funkci řízení náběhu proudu. Ta je prospěšná při začátku svařování, při zapalování a ustálení oblouku. Často je také nabízeno bezkontaktní zapálení oblouku pomocí vysoké frekvence (běžně používanou zkratkou je HF).

## 7 MIG/MAG

[5][7]

MIG/MAG je poloautomatický způsob obloukového svařování v atmosféře ochranného plynu. Poloautomatický, neboť přídavný materiál je přiváděn podavačem. Přídavný materiál je většinou ve formě plného drátu. Tyto svařovací dráty jsou tenké, o průměru 0,8 – 2,6 mm. Svařovací drát je při této metodě součástí svařovacího obvodu a tvoří jednu ze dvou elektrod oblouku. Druhou elektrodou je svařovaný materiál. Svářečky pro metody MIG a MAG jsou totožné. Rozdíl je pouze v použitém ochranném plynu. Poskytují stejnosměrný proud.

MAG využívá aktivní ochranný plyn většinou směsí na bázi CO<sub>2</sub>. Je vhodný pro svařování nelegovaných uhlíkových a nízkolegovaných ocelí. Ochranný plyn metody MIG je většinou argon, nebo směs Ar + He. Metodou MIG se svařuje hliník a jeho slitiny, měď a její slitiny, z nichž má velký podíl zastoupení bronz. Dále se metodou MIG svařuje také titan.

## 7.1 Výhody

[1][10]

- Vysoká produktivita odvíjející se z velké rychlosti svařování, kterou umožňuje vysoký odtavovací výkon. Vysoká rychlost svařování také znamená malou tepelně ovlivněnou zónu
- Vysoká efektivita, neboť nezůstávají zbytky tavící se elektrody
- Snadné zapálení oblouku, které z MIG/MAG dělá jeden z uživatelsky nejpříznivějších způsobů svařování
- Možnost svařovat ve všech polohách
- Není zde zdržování se výměnou elektrod jako u ručního svařování obalenou elektrodou (ROE)
- Ne tak vysoké požadavky na očištění materiálu od strusky, jako u ROE
- Menší množství výparů, než u ROE
- Jasná viditelnost oblouku a lázně, která umožňuje jejich přímou kontrolu
- Široký výběr přídavných materiálů a ochranných plynů
- Poměrně jednoduché zavádění automatizace a robotizace
- Velký výběr vyráběných svářeček a tím široké možnosti uplatnění
- Velmi příznivý profil svaru a dobrá hloubka závaru
- Málo četné tvoření pórů

## 7.2 Nevýhody

[10]

- Cena svářečky je poměrně vysoká a je složitá na údržbu
- Velká část tepla jde mimo svar, do okolí

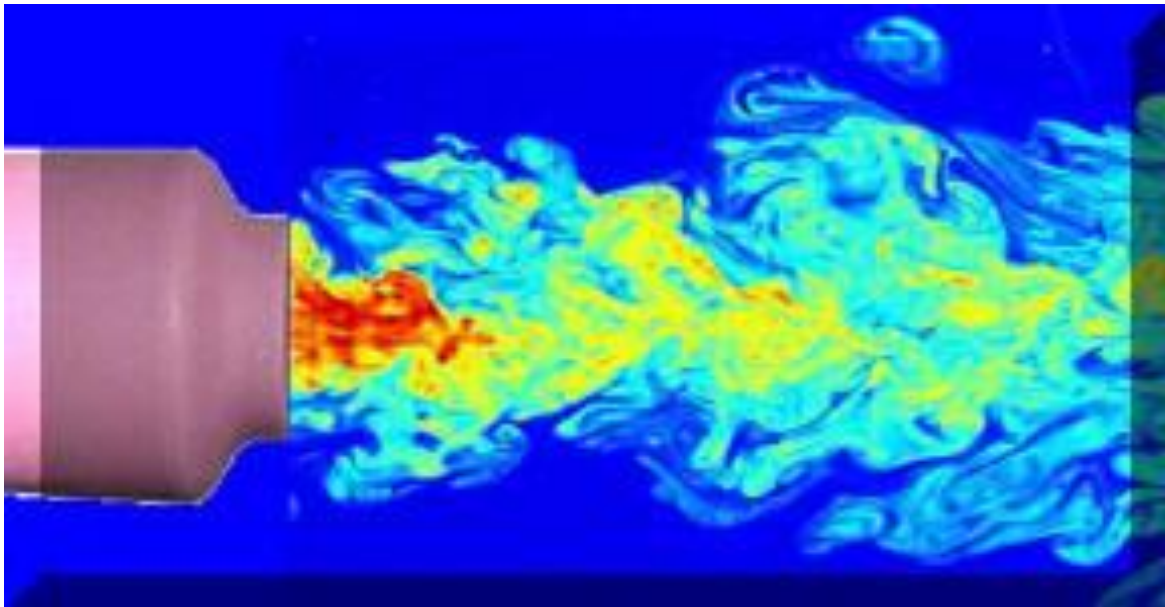
## 8 Vývoj TIG

[28]

Obloukové svařování netavící se wolframovou elektrodou bylo vyvinuto za druhé světové války, kdy byla potřeba spojit lehké kovy jako hliník a hořčík. Doposud se tyto kovy spojovaly pouze nýtováním. [5]

Jako konkrétní vynálezce tohoto způsobu svařování bývá označován Russell Meredith. Pracoval pro společnost Northrop Aircraft, zabývající se výrobou letadel. Zde nabyt přesvědčení, že je třeba hledat efektivnější způsob spojování lehkých leteckým materiálů, než jakým bylo nýtování. V roce 1941 nechal patentovat spojování hořčíku a obecně kovových materiálů s nízkým bodem tání elektrickým obloukem. Navrhl svařovací hořák a použití helia jako ochranného plynu. Meredith a společnost Northrop Aircraft nazvaly tento způsob svařování jako Heliarc – kombinace slov helium a arc (elektrický oblouk anglicky). Společnost Linde zabývající se výrobou technických plynů od nich patent koupila. Její specialista Frank Pilia objevil možnost chlazení svařovacího hořáku vodou. Další její zaměstnanec Pete Scheller vymyslel ukotvení svařovacího hořáku pro svařování trubek. Tím položil základy svařovacích hlav pro orbitální svařování.

Nejprve byl průtok plynu z hubice turbulentní, což nebylo vhodné, vzhledem k tomu, že docházelo k mísení ochranného plynu a okolního vzduchu. Pak byla objevena možnost přeměnit proud na laminární pomocí porézní bariéry umístěné do trysky. Z tohoto poznatku je těženo dodnes a vede k aplikaci sítěk usměrňujících tento plynový proud (obr. 8). Základ těchto sítěk byl patentován dalším odborníkem společnosti Linde. V popisu patentu stálo, že se jedná o přepážku s různým počtem otvorů.



Obrázek 11 Turbulentní proudění z trysky hořáku [13]

Zmiňovaná společnost Linde se o vývoj metody TIG obecně hodně zasloužila. Její inženýři navrhovali a zlepšovali všechny hlavní proměnné mající vliv na kvalitu svaru. Byla to efektivita plynové ochrany, dále dokázali zvýšit délku, jakou elektroda vyčnívala z trysky (vyložení elektrody). Větší vyložení elektrody umožňuje lépe kontrolovat elektrický oblouk a tím lépe ovládat svarovou lázeň. Další specialisté této společnosti se zasadili o patenty vylepšující svařovací hořáky. Linde také objevila možnost použít takzvaný „horký“ drát. Při této modifikaci metody TIG je do oblouku přiváděn přehřátý drát. Drát je přehřát průchodem elektrického proudu. Odpor materiálu drátu kladený proudem drát zahřívá. Výhodou horkého drátu je vyšší odtavovací rychlost a tím vyšší výkon svařování. Dodnes je tento způsob využíván při automatickém TIG svařování.

V současnosti jsou moderní svařovací zdroje založeny na mikroprocesorech. Umožňují pohodlně kontrolovat svařovací parametry i při průběhu svařování v reálném čase. Běžná je už také plná robotizace svařovacího procesu.

Vývojovým trendem současnosti je také zlepšování pracovních podmínek svářečů. Odvádění výparů, chlazení vzduchu, který svářeč vdechuje a obecně hygiena pracovního prostředí, hrají stále významnější roli.

## 9 Vývoj MIG/MAG

[29]

Metoda MIG byla vyvinuta v roce 1948. Kladla si za cíl zvýšit produktivitu svařování některých typů materiálů, zejména větších tlouštěk, které se metodou TIG svařovaly obtížně. Produktivitu zvyšovalo mimo jiné automatické podávání drátu, které je pro tuto metodu typické. Avšak inertní plyny byly a stále jsou nákladnou komoditou, a proto se hledal způsob jak je nahradit. Tak byla vyvinuta metoda MAG, používající levnější oxid uhličitý. Vývoj metody MAG vedl ke zkvalitnění komponent svařovacího zařízení a i ke zvýšení kvality svaru. Byla vytvořena možnost regulace svařovacích parametrů, která měla kladný účinek na výsledky svařování i na věci jako zapalování oblouku. Bylo taky experimentováno s plněnými elektrodami, jejichž vnitřek tvořila tavidla a legující prvky. Dále došlo k mechanizaci, automatizaci a postupně i robotizaci metody MIG i metody MAG. Jako další byly také rozlišeny a vyvinuty různé typy

přenosu kapek svarového kovu. Inženýři také zkoušeli smísit ochranné plyny. To vedlo k větší stabilitě oblouku v těchto směsných plynech. Tato vylepšení vedla k tomu, že se MIG/MAG již v 80. letech minulého století stal nejrozšířenějším způsobem obloukového svařování. Dalším vylepšením, ke kterému vedlo použití směsných plynů, bylo zavedení rotujícího oblouku. Rotující oblouk má vyšší stabilitu, než klasický. Moderní způsob využívaný v současnosti je například tandemové svařování. Při něm jsou použity dvě, vzájemně izolované elektrody. Na každé je nastavený jiný druh přenosu. Na jedné může být nastaven sprchový přenos, zatímco na druhé přenos impulsní. Ke sprchovému přenosu dochází při vyšších použitých proudech, kdy není prostor na vytváření větších kapek svarového kovu, ale pouze drobných kapek s vysokou frekvencí. To připomíná sprchu, proto sprchový přenos.



## 10 Úvod do experimentální části

Cílem práce je kvalitativní porovnání dvou svářecích zdrojů, pro metodu TIG, od různých výrobců. Hodnocena bude uživatelská náročnost jednotlivých zdrojů, neboť v současnosti je na trhu svářečů málo a svařují tedy i méně kvalifikovaní jedinci. Dále budou hodnoceny jejich funkce, režimy a možnosti, z hlediska jak mohou usnadnit činnost ve výrobě, případně zvýšit produktivitu. Nakonec budou provedeny nedestruktivní a destruktivní svarové zkoušky a budou posouzeny případné rozdíly v jejich jakosti.

## 11 Zhotovení svarů

Bylo zhotoveno celkem 8 svarů.

■ Čtyři na slitině hliníku AlMg5. Dosahující meze pevnosti  $R_m$  okolo 300 MPa. Jde o tvářenou slitinu Al. Vyšší, než pro hliník obvyklé pevnosti je dosaženo právě deformačním zpevněním. Přídavný drát byl také z AlMg5. Šlo tedy o ideální případ homogenního svaru. Slitiny hliníku jsou při svařování pod ochrannou atmosférou dobře a jednoduše svařitelné. Jejich vysoká tepelná vodivost se při experimentu vícekrát projevila. [30]

■ Čtyři na oceli X2CrNi18-9. Jde o austenitickou korozivzdornou ocel s mezí pevnosti okolo 600 MPa. Dle materiálových listů je svařitelná všemi obvyklými způsoby. Byla provedena analýza chemického složení. Ocel byla legována ještě dalšími prvky, například kobaltem. Podobnostně nejbližší ocelí dle klasického českého značení je ocel 17 249. [30]

C	Mn	Si	P	S	Cr	Ni	Mo	Cu	Co	N	V
%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%
0,03	1,81	0,42	0,027	0,004	18,1	8,09	0,28	0,24	0,11	0,087	0,09

Tabulka 1 Chemické složení korozivzdorné oceli

Analýza chemického složení byla provedena nanesením chemických činidel na vzorek materiálu. Reakce byla poté kvalitativně a kvantitativně vyhodnocena specialistou.

■ V kombinaci s X2CrNi18-9 byla použita ještě nelegovaná jakostní ocel L245MB. Byly tedy zhotoveny také heterogenní svary. Jde o ocel, využívanou na zhotovení trubek pro hořlavá média.

■ Na oceli X2CrNi18-9 byl také proveden experimentálně jeden svar, bez použití přídavného drátu. Svarový kov byl tedy čerpán pouze ze vzájemně svařovaných plechů.

Dva vzorky svarových spojů na slitině Al a dva na oceli zhotovil svářeč a stejný počet začátečník.

Byly testovány dva svařovací zdroje rozdílných výrobců.

Oba tyto zdroje jsou stejného výkonu. V téměř všech základních parametrech jsou identické a na trhu jsou si navzájem nejvýznamnějšími konkurenty. Oba z těchto zdrojů jsou primárně určeny pro svařování materiálů na bázi hliníku. Nabízejí ale také režim DC, a to jak DC+, tak také DC-. Lze jimi tedy svařovat i ocel. Tohoto bylo využito v praktické části. Byly zhotoveny svary střídavým i stejnosměrným proudem, v závislosti na požadavcích svařovaných materiálů. Svařování probíhalo v 7/8 případů v poloze PA – vodorovná shora, dle ČSN EN ISO 6947. Svařovalo se zprava doleva. V jednom případě byl svar zhotoven ve svislé poloze zdola nahoru – PF. Poloha PF bývá označována jako poloha „na stoupačku“. Podobně naopak poloha shora dolů jako poloha „na padáka“. Poloha svařování má vliv na více věcí. Na náročnost provedení, ale také na zvolené svařovací parametry. Při svařování v poloze PF se pracuje s nižšími proudy. Před svařováním bylo využito funkce gas test / zkouška plynu, kterou disponovaly oba dva zdroje. Funguje tak, že se skleněnou měrkou zjistí průtok plynu. Ten je pak pomocí ventilu (hodin) regulován na požadovanou úroveň. Dále bylo zapnuto odsávání zplodin digestoří.

Zdroj proudu	A	B
Napájecí napětí	3x 400 V ± 10%	3x 400V ± 15%
Frekvence	50/60 Hz	
Rozsah svařovacího proudu	3-300A	
<b>Jmenovitý výkon (zatěžovatel)</b>		
	40% 300A	35% 300 A
	60% 230A	60% 250A
	100% 190A	100% 200A
Zapalovací napětí oblouku	10 kV	
<b>Vnější rozměry</b>		
Délka	500 mm	560 mm
Šířka	180 mm	250 mm
Výška	390 mm	435 mm
Hmotnost	23 Kg	28,1 Kg
Napětí naprázdno	63 V	89V
Síťové jištění (pojistka)	16A	16A

Tabulka 2 Technická specifikace jednotlivých svařovacích zdrojů [31]

V tabulce 2. se nachází parametr jmenovitý výkon neboli zatěžovatel. Tento parametr je velice důležitý, neboť udává, jakou dobu lze svařovat jakým proudem. Znázorňuje, jak dlouhou dobu z 10 minutových intervalů lze svařovat jakým proudem. Například pro zdroj A, při 300 A lze svařovat 4 minuty z deseti. Zbýlý čas vyžadují svařovací zdroje na chlazení. Tento parametr zdrojů je známý už z předchůdců svařovacích inverterů a například u metody MMA to znamenalo, že po například 2-3 elektrodách se musel zdroj nechat i 20 minut chladit. U moderních inverterových zdrojů je doba chlazení výrazně kratší a zdroje se zároveň při vyšších proudech méně zahřívají.

I přestože pro svařování slitiny AlMg5 i oceli byl využit stejný přístroj vždy od jednoho výrobce, průběh svařování se lišil.

Plechý slitiny hliníku se rychle ohřály. Toto sice souviselo na jedné straně s jejich tloušťkou a velikostí, ale hlavně s nižší teplotou tání hliníku. Tato vlastnost se projevila při přerušovaném svaru provedeném začátečníkem. Ke konci svařování vykazoval kov již poněkud nežádoucí chování. Materiál ztelně tekla a svarová lázeň byla větší velikosti, než by bylo žádoucí. Toto nepramenilo z nevhodně zvolených parametrů, ale právě z menší velikosti vzorku. Tomuto samozřejmě lze předcházet více způsoby. Jedním z nich je například využit technologie microtack, kterou na své svářečce nabízel jeden z výrobců. Tato technologie slouží právě pro stehování tenkých plechů.

Z čistě praktického hlediska bylo přínosem rozhovoru se specialistou také seznámení s jedním základním pravidlem pro svařování korozivzdorných ocelí. Je jím nepsané pravidlo, že na 1 mm tloušťky materiálu by měl být nastaven proud 35 A, tedy 35A/mm. Toto pravidlo je nepsané, neboť záleží na dalších faktorech, jako například na tom, zda materiál na něčem leží, zda je ukotven přímo, nebo je položen na uzemněném podloží (svařovacím stole). Přesto, že jde o orientační pravidlo, svoji funkci plní. Pro začínajícího svářeče bude přínosem a zkušení odborníci nepochybně využívají sofistikovanějších metod, vzhledem ke konkrétnímu typu svařovaného materiálu, pramenících z jejich praxe.

Dalším pozorovaným poznatkem, kterým se lišilo svařování slitiny Al od oceli, bylo takzvané „zrcátko“. Zrcátko je pozorovatelná oblast při vytváření svaru na hliníkovém materiálu. Svařovaný materiál je zapotřebí nejdříve obloukem ohřát po dostatečně dlouhou dobu. Právě vzniklá svarová lázeň u hliníku pak odráží světlo, proto zrcátko. Pouze až ve chvíli, kdy je materiál takto natavený má smysl pokračovat.

Svařovací specialista také konstatoval další zajímavý fakt. A to, že v případě svařování jakéhokoli materiálu je nejlepší variantou upnout kostru na svařovaný materiál. A to co nejbližší svařované oblasti. Pro slitiny hliníku toto platí zejména. Neboť pokud by nebyl ukotven přímo svařovaný kus, ale jako kostra by byl připojen svařovací stůl, mohla by případná nečistota v místě kontaktu svářečky a stolu způsobit jiskření a propalování materiálu.

Jelikož obě výrobní společnosti, jejichž svařovací zdroje byly testovány, jsou vrcholem v této oblasti, disponovali řadou sofistikovaných a hlavně praktických funkcí. Nedocenitelnou, i když jednoduchou funkcí byl například automatický dofuk ochranného plynu. Tímto se zabraňuje oxidaci svarové lázně ve chvíli ukončení svařování. Oxidace povrchu svaru vypadá, jako kdyby byl svar černý, okouřený. Dofuk = proud stínícího plynu. Prakticky dofuk znamená, že ochranný plyn ještě chvíli vychází ze svařovacího hořáku. Důležité je také, že zabraňuje oxidaci

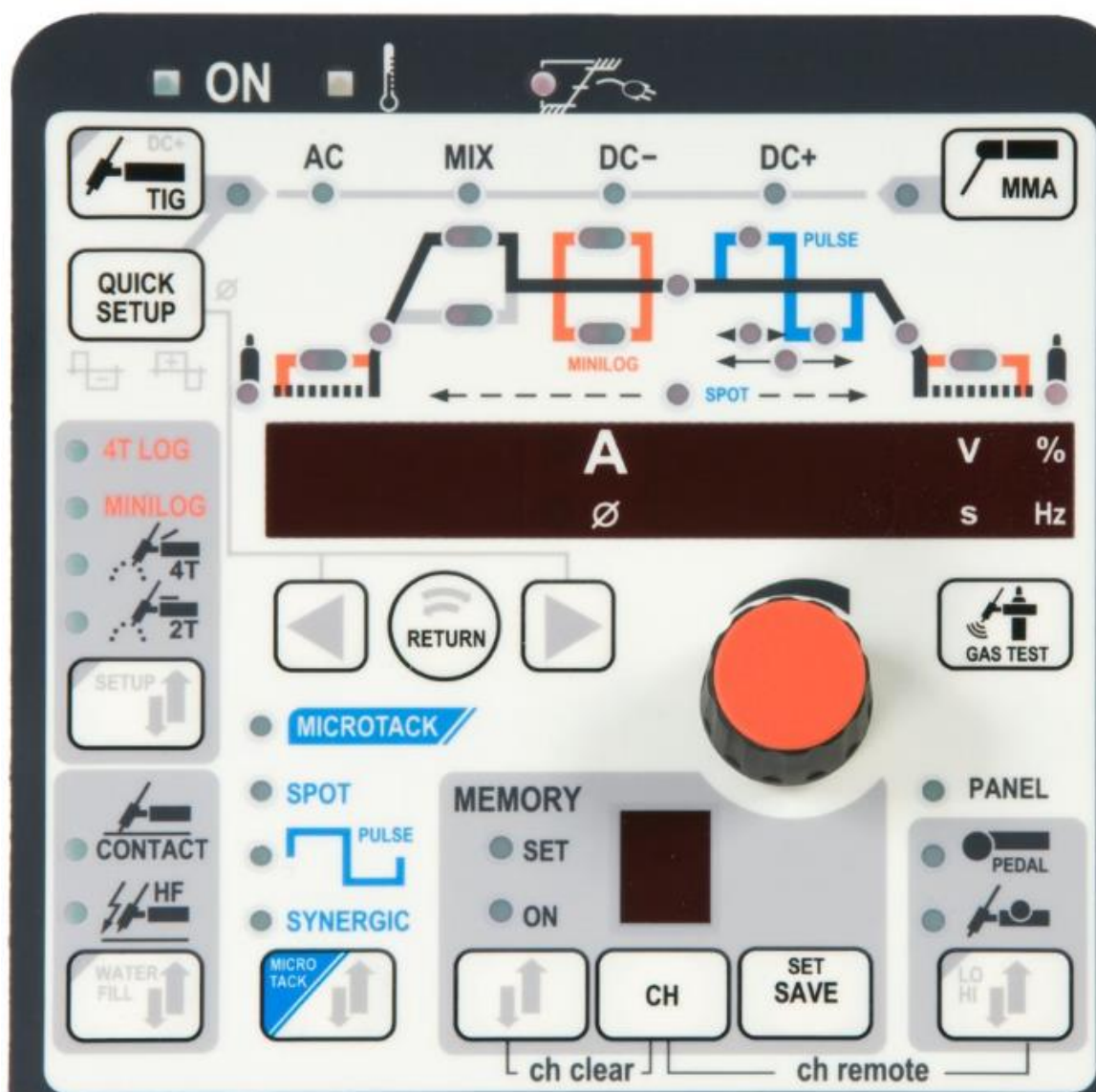
wolframové elektrody. Během dofuku elektroda chladne. Wolframové elektrody bývají legovány oxidy thoria a bez ochlazení se z nich uvolňují zdraví škodlivé sloučeniny.

Další funkcí, která byla na obou svařovacích zdrojích, byla funkce zabránění vzniku koncového kráteru. Koncový kráter je závažnější vada, která je na první pohled vidět. Již předem bylo tedy rozhodnuto, že při vizuální kontrole žádný koncový kráter nalezen nebude. Princip této funkce spočívá v tom, že když svářeč dojde do konce svaru a na hořáku vypne oblouk, oblouk se ihned zcela neukončí. Naopak ještě po dobu několika sekund oblouk dobíhá lineárně klesajícím tempem, až zcela zanikne. Tímto se svarová lázeň ustálí, uklidní a koncový kráter se přirozeně zacelí. Přirozeně, tedy na první pokus, bez následného opravování, případně maskování a podobně. Doba klesání proudu závislí na jeho velikosti. Při menším proudu se kráter zacelil již při době klesání 0,5 sekundy. Při použití většího proudu zase až při 1,2 sekundy.

Oba zdroje samozřejmě nabízely možnost využít teplý a studený start. Teplý start spočívá v tom, že je materiál nejdříve nahřátý více ampéry a poté se přepne zpět na zvolený proud. Teplého startu bylo využito u svařování Al – slitiny. Obecně se tato funkce využívá hlavně u silnějších hliníkových plechů. Hliník rychle odvádí teplo z místa svařování. Teplý start tento problém dokázal řešit a za krátký čas natavit materiál, pod na použitelnou úroveň. Ve výrobě tato funkce slouží jednoduše ke zvýšení produktivity při svařování hliníku. Opakem je studený start. Ten se využívá při svařování slabších plechů. Studený start také lze výhodně použít v případě, že se střídá tloušťka plechu ze slabé na silnější. Prakticky to znamená, že pokud by se materiál začal propadat, přepne se na nižší proudovou hodnotu.

Zdroj A umožňoval také takzvaný minilog. Minilog umožňuje přepínání mezi dvěma proudy. Se studeným/teplým startem bylo tedy možné během svařování z hořáku přepínat mezi až třemi proudy. Přepínání se provádělo potenciometrem u výrobce A, „kolébkou“ u výrobce B. Toto se jeví jako praktické, zejména pokud svařování probíhá v prostorově nepříznivých podmínkách. Přepínání mezi proudy na dálku lze tedy hodnotit jako velké usnadnění činnosti.

Další testovanou funkcí byl puls. Při pulsu svařovací zdroj sám, s určitou frekvencí, přepíná mezi 2 hodnotami proudu. Při svařování pulsem se ozýval charakteristický zvuk. Tento zvuk byl velice podobný bzučení. Vznikal právě tím, jak se měnily velikosti proudu (proudové intenzity). Frekvence pulsování jde nastavit. Pomalejší puls je vhodný zejména pro méně zkušeného svářeče ve chvíli, kdy svařuje obtížnější úsek. Například rádius, zatačku a podobně. S výhodou jednoduššího zhotovení svaru jde ruku v ruce zdravotní riziko. Když puls bliká pomalu, lidské oko se stihne přizpůsobovat jeho změnám. Je tak vždy znova „prokliknuto“. Naopak při vyšší frekvenci oko zůstává nastaveno v jednom režimu a zbytečně tak není cyklicky namáháno (proklikáváno). Svařovací zdroj A disponoval možností takzvaného synergického pulsu. Znamenalo to, že se nastavila střední hodnota pulsu a zdroj sám vyhodnotil a nastavil hodnotu horní a dolní. Dále sám nastavil frekvenci a % pulsu. Tato funkce byla zejména pro začátečníka velice „user friendly“, tedy uživatelsky přátelská.



Obrázek 12 Ovládací panel svařovacího zdroje A [31]

Velice praktickou funkcí byla u výrobce A funkce 4Tlog, u výrobce B funkce hledací oblouk. V principu jde o stejnou funkci a její praktičnost ocenil při experimentu jak zkušený svářeč, tak začátečník. Tato funkce umožňuje, že oblouk svítí, ale prochází jím proud jen například 5 A. Hořák se přesune na požadované místo a opět se svařuje požadovaným proudem. Toto ocení každý, kdo někdy svařoval. Jde v podstatě o přisvětlení, aby bylo vidět na materiál, se zaklopenou ochrannou helmou. Což je praktické, neboť ne každá svařovací firma poskytuje svým svářečům samostmívací svařovací kukly. Při experimentu byly k dispozici obě varianty ochranných kukel a s oběma se také pracovalo. Přes kuklu, jež nedisponovala samostmíváním opravdu nebylo do zapálení a po vypnutí oblouku nic vidět. Možnost přisvětit si nižším proudem byla tedy velice dobrá.

Další uživatelsky příjemnou funkcí svařovacího zdroje, tentokrát jen od výrobce A, bylo nastavení čistícího efektu při svařování hliníku. Svářečka A disponovala režimem MIX TIG. Tento režim by na jedné straně měl urychlovat svařování hliníkových materiálů a zvyšovat kvalitu svaru, ale hlavně se v něm velice jednoduše nastavoval právě čistící efekt na Al – slitiny.

Obě svářečky samozřejmě podporovaly dvoutakt i čtyřtakt. Dvoutaktem je nazýváno klasické svařování, kdy je stisknuto tlačítko na hořáku a svařuje se. Ve chvíli, kdy svářeč tlačítko pustí, nesvařuje se. Čtyřtakt je na delší svary. Svářeč tlačítko stiskne a pustí a svařuje se (bez držení tlačítka). Svářeč tlačítko stiskne a pustí a svařování končí.

Do svařovacích zdrojů bylo také možné nahrát a uložit více svařovacích režimů se zvolenými parametry. Toto je praktické z mnoha důvodů. Svařují se různě silné plechy, svářeč A svařuje jinou rychlostí, než svářeč B. Svařování rozdílnými rychlostmi vyžaduje rozdílný příkon, tedy rozdílné nastavení proudu.

Zdroje umožňovaly zapálení oblouku HF i kontaktem. Mohlo by vyvolávat zvědavost a nepochopení, proč výrobci vůbec instalovali možnost zapálení oblouku kontaktem, když je HF zapálení bezesporu lepší. Důvodem je jen to, že pokud by HF nefungoval, je tu ještě pojistka kontakt.

Další funkcí zdroje od výrobce A byla možnost přepínat a regulovat proud přímo na hořáku. Přepínat mezi více hodnotami proudu se při praktickém zhotovení testovaných svarů osvědčilo při rychlém svařování více různě silných plechů. Na displeji se nachází ještě možnost „pedal“. Změna proudu pomocí pedálu by mohla být ještě lepší, zejména při častějším mnohačetném střídání rozdílně tlustých polotovarů.

Užitečnou továrně přednastavenou funkcí je také režim SPOT – bodové svařování. Bodování je výhodné a je vhodné ho použít, pokud to je možné. Dochází při něm k menšímu tepelnému ovlivnění materiálu, které je jinak největší nevýhodou svařování obecně. Jako ještě výrazněji jemnější než samotný režim SPOT se ukázal režim MicroTack. Svary s použitím microtack jsou velice malé body. Materiálu se dalo téměř okamžitě po provedení bodu dotknout holou rukou i v tepelně ovlivněné oblasti. V jednom případě došlo omylem k nevypnutí bodového svařování. Svarovou lázeň nebylo možné posunout dál z jednoho místa. Vznikl návar, který by se za běžných okolností řešil odseknutím.



Obrázek 13 Důsledek nevypnutého bodování

Při střídavém proudu bylo na zdrojích k dispozici nastavení tvaru křivky (vlny) proudu. První možností byla vlna sinusová, druhou možností vlna čtvercová. Vlna čtvercového tvaru poskytovala výraznější penetraci materiálem. Na druhé straně sinusová vlna poskytovala menší penetraci, ale zároveň vytvářela slabší hlukovou stopu.

V menu na ovládacím panelu obou dvou zdrojů bylo možné nalézt doporučený průměr svařovacího drátu s ohledem na hodnotu proudu.

## 12 Testování

### 12.1 Nedestruktivní

#### 12.1.1 Vizualní

Nejprve bylo přistoupeno k vizualní kontrole jakosti vytvořených svarových spojů. Účelem této metody je zaznamenání četnosti, případně velikosti viditelných vad. Po pečlivém a důkladném zpracování do listu vad, mohou být tyto listy využity ke statistikám. Tyto statistiky pak mohou najít využití v dlouhodobém časovém horizontu. Využití ve smyslu jejich posouzení svařovacím dozorem. Posouzeny mohou být například specialistou na kvalitu, mistrem svařovny, ale nejlépe technologem, případně i svařovacím inženýrem. Technolog pak může upozornit svářeče, na co si dávat větší pozor a výroba se tak může neustále zlepšovat.

Těchto vizualních vad je celá řada. Na pracovištích bývají umístěny jejich fotografie. Tyto fotografie jsou přínosné. A to z toho důvodu, že v dnešní době je velké množství zaměstnanců ve výrobě z ciziny a nemusejí být důkladně obeznámeni s netolerovanými typy závad. Těmito vadami bývají hlavně póry, shluky pórů, zápal, koncové krátery, studené spoje, neprovařený kořen. A samozřejmě nejvíce nežádoucí a potenciálně, s ohledem na velikost, nejvíce rizikovou vadu, trhlinu.

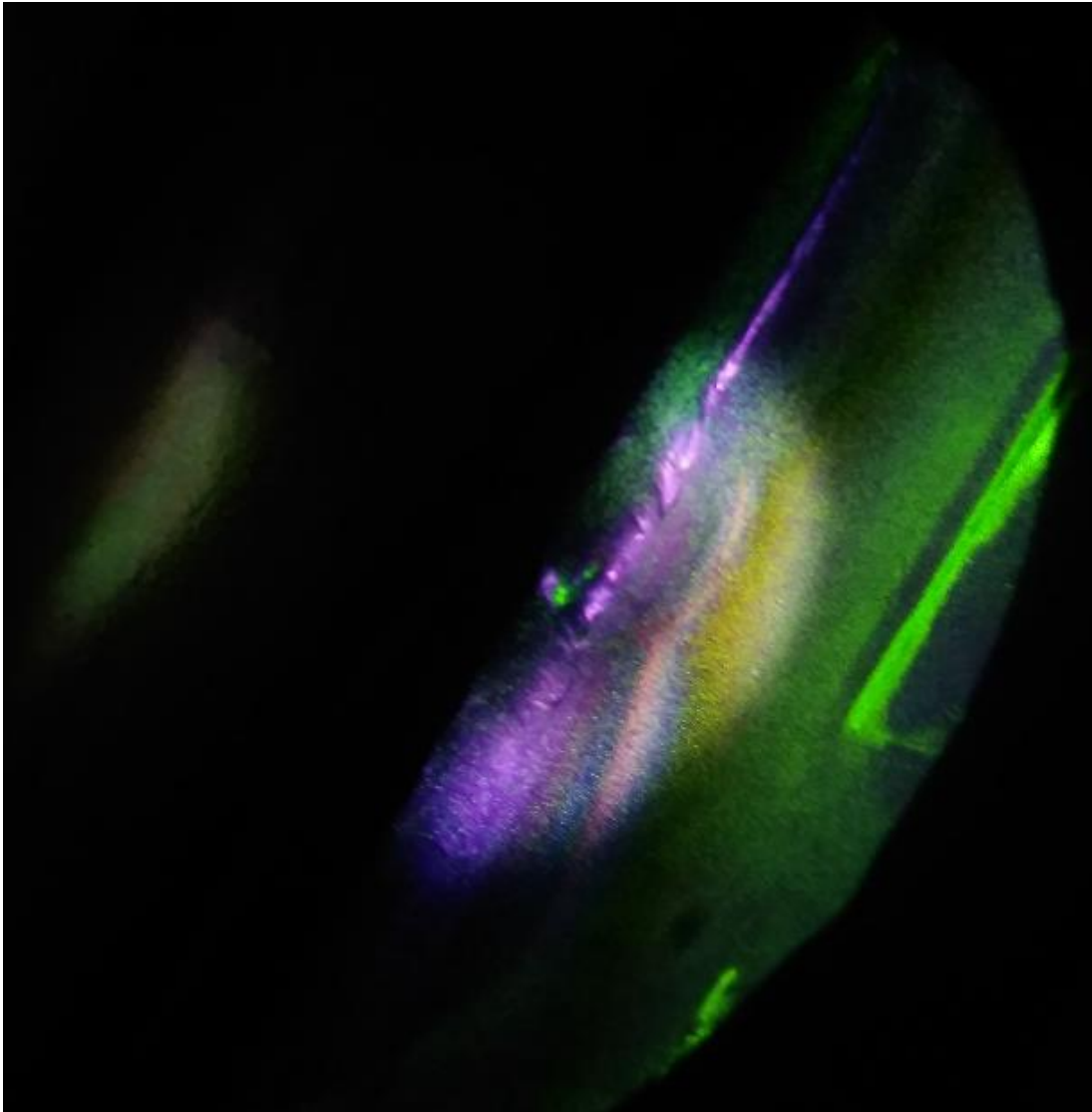
Metoda TIG je známá vysokou kvalitou vytvářených spojů. Výsledek vizualní zkoušky byl tedy poměrně jednotvárný. Na svarech provedených specialistou se nenacházely žádné vizualní vady. A na svarech provedených absolutním začátečníkem se vady nacházely jen na potenciálně rizikových místech. Těmi bylo místo spojení při přerušení svařování a následném pokračování. A dále pak na úplném konci svarové housenky. Příznačné pro TIG je také, že nedošlo k rozstříku svarového kovu do okolí svaru. To je poměrně běžné při metodě MIG/MAG a vznikají takzvané kuličky.

#### 12.1.2 Zkouška magnetickou práškovou metodou

Jako další metoda nedestruktivního testování byla zvolena magnetická zkouška. Tímto typem lze testovat pouze feromagnetické materiály, proto byla hned ze začátku vyloučena hliníková slitina. Testovaný vzorek byl také poměrně slabě feromagnetický. Ale pro plnohodnotné provedení zkoušky byl magnetický dostatečně. Zkouška byla provedena standardním způsobem. Vzorek byl zmagnetizován. Dále byla nanášena tekutá suspenze na bázi železného prášku. A nakonec byly svary zhodnoceny pod UV světlem. V místech vad se suspenze usadila a bylo je tak možné odhalit.

Zkouška byla provedena na 1 + 1 vzorku. Oba testované vzorky byly z X2CrNi18-9. Jeden zhotovený odborníkem a jeden začátečníkem. Na vzorku od svářeče nebyly odhaleny žádné defekty. Na vzorku od začátečníka byla vada zjištěna jen v místě spojení dvou svarových

housesek. Potvrdilo se tedy zjištění z vizuální metody. Navíc nadále se tato vada objevila i při kapilární metodě. Vady byly vyhodnoceny dle normy ČSN EN ISO 23278. Dle normy vady dosahovaly stupně přípustnosti 1. To znamená, že rozměr jejich hlavní osy nabýval hodnot menších než 2 mm. [32]



Obrázek 14 Magnetická prášková metoda

### 12.1.3 Kapilární zkouška

[33]

Další NDT zkouškou byla zkouška kapilární. Provedení bylo následující. Vzorky byly odmaštěny pomocí removeru (odmašťovače). Remover byl těkavý, takže sám po chvíli vyprchal. V dalším kroku byl nanesen penetrant červené barvy. Byl ponechán 10 minut působit. Po uplynutí této doby byl přebytečný penetrant odstraněn a byla nanesena vývojka. Vývojka také vyžadovala být nějakou dobu ponechána na vzorku, aby stihla uschnout a vyvést penetrant na povrch. Tento proces byl sofistikovaně urychlen pomocí fěnu.





Obrázek 15 Kapilární zkouška a

Obrázek 15. je fotografie svarů provedených na korozivzdorné oceli začátečníkem. Vady byly zaznamenány pouze v místech napojení jednotlivých svarových housenek. Šlo o póry.

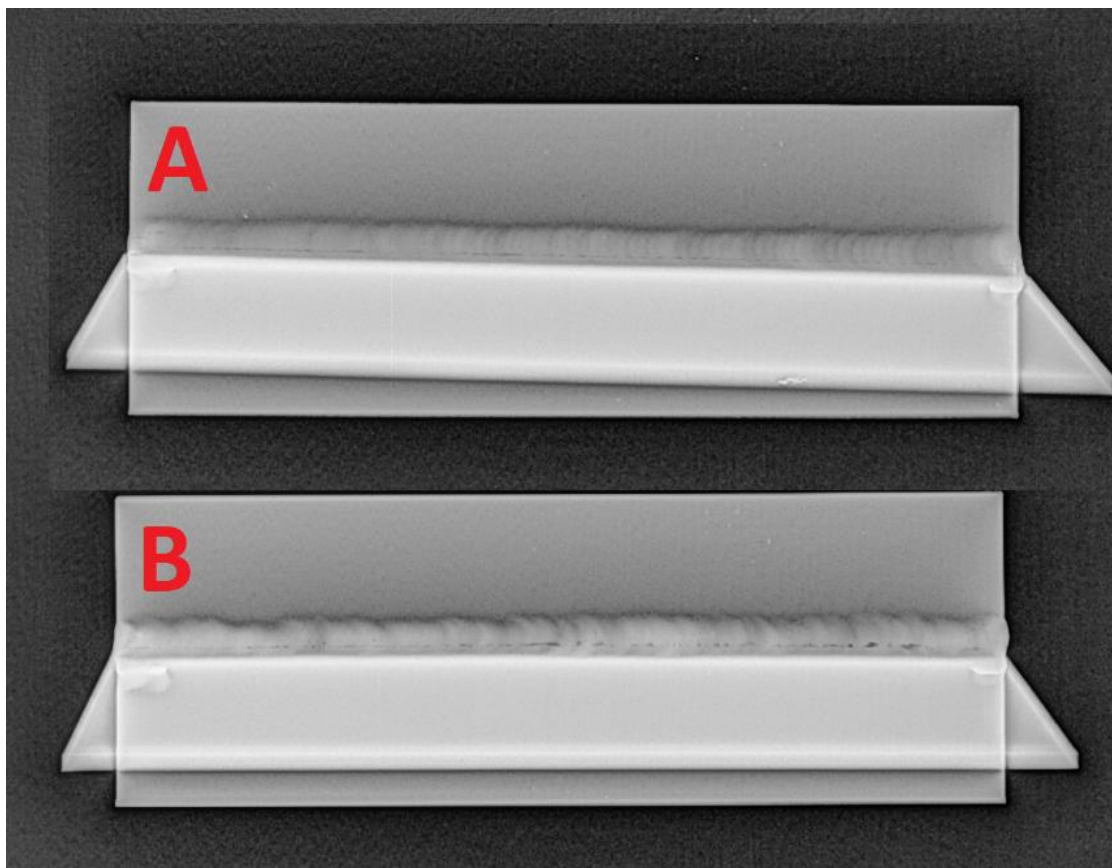


Obrázek 16 Kapilární zkouška b

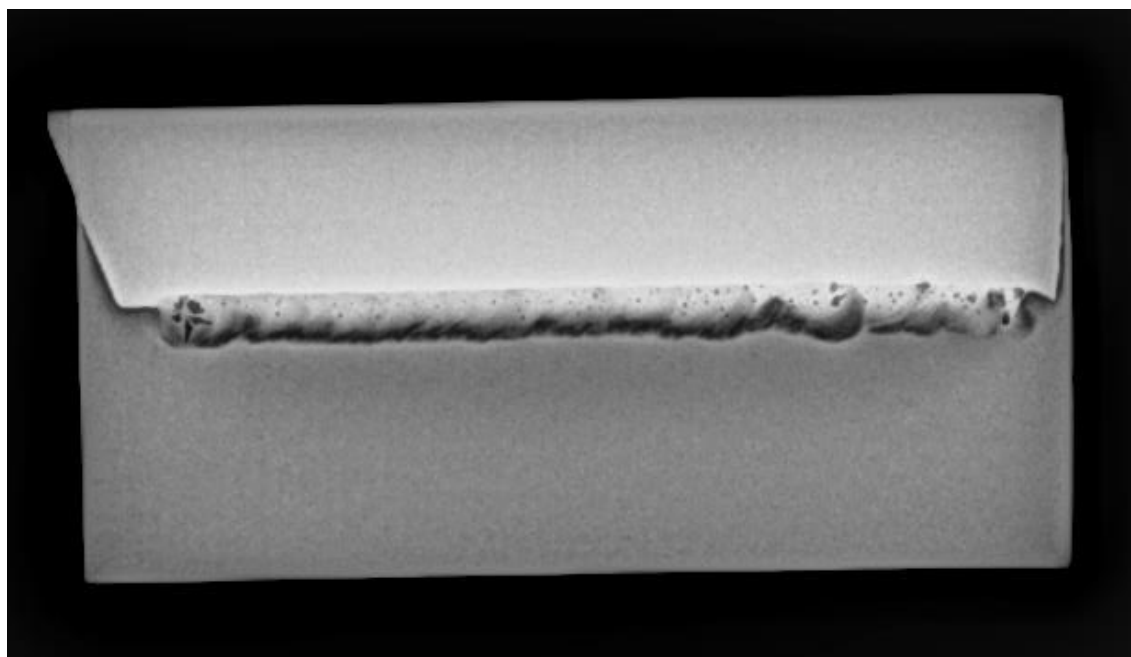
Na svarech provedených svářečem rovněž nejsou patrné velké rozdíly. V jediném místě z celé svarové housenky vystoupal penetrant v případě zdroje B (obr. 16). Výsledky byly vyhodnoceny dle normy ČSN EN ISO 23277. Ta se zabývá stupni přípustnosti vad při kapilární metodě. Šlo o nelineární indikace (vady), tedy indikace o délce menší nebo rovné trojnásobku jejich šířky. Vady tedy dosahovaly stupně přípustnosti 1 vycházející z  $d \leq 4$  mm (rozměr hlavní osy). Toto neznamená, že zjištěné póry by byly velké 2 mm. Neboť indikace vytvořené kapilární zkouškou nevykazují shodné rozměrové charakteristiky jako vada sama.

#### 12.1.4 Zkouška rentgenem

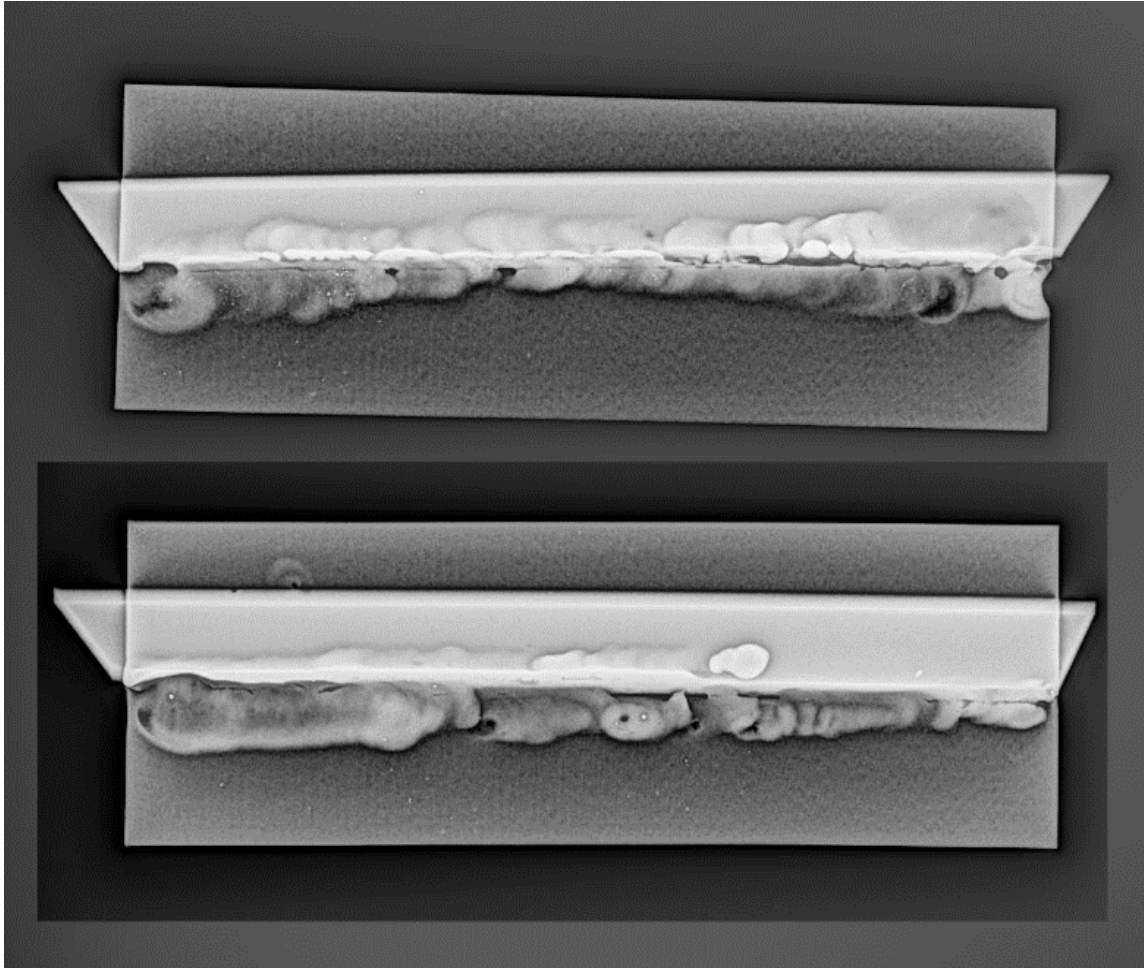
Její princip spočívá ve schopnosti rentgenového záření pronikat materiálem a být jím zároveň oslabováno. V místě vady je méně materiálu (menší tloušťka a hustota). Prochází zde tedy více záření, které dopadá na rentgenogram. Vady jsou poté tmavě zabarvená místa. Pro zajímavost byl zhotoven jeden svar bez použití přídatného drátu. Tento vzorek vykazoval velké množství pórů a jejich shluků. Ze snímků je patrné, že svary zhotovené profesionálem nemají vady žádné, ani u zdroje A, ani u zdroje B. Naopak svary provedené začátečníkem mají vady u zdroje A i u zdroje B.



Obrázek 17 Rentgen AlMg5 svářeč



Obrázek 18 Rentgen X2CrNi18-9 Bez drátu

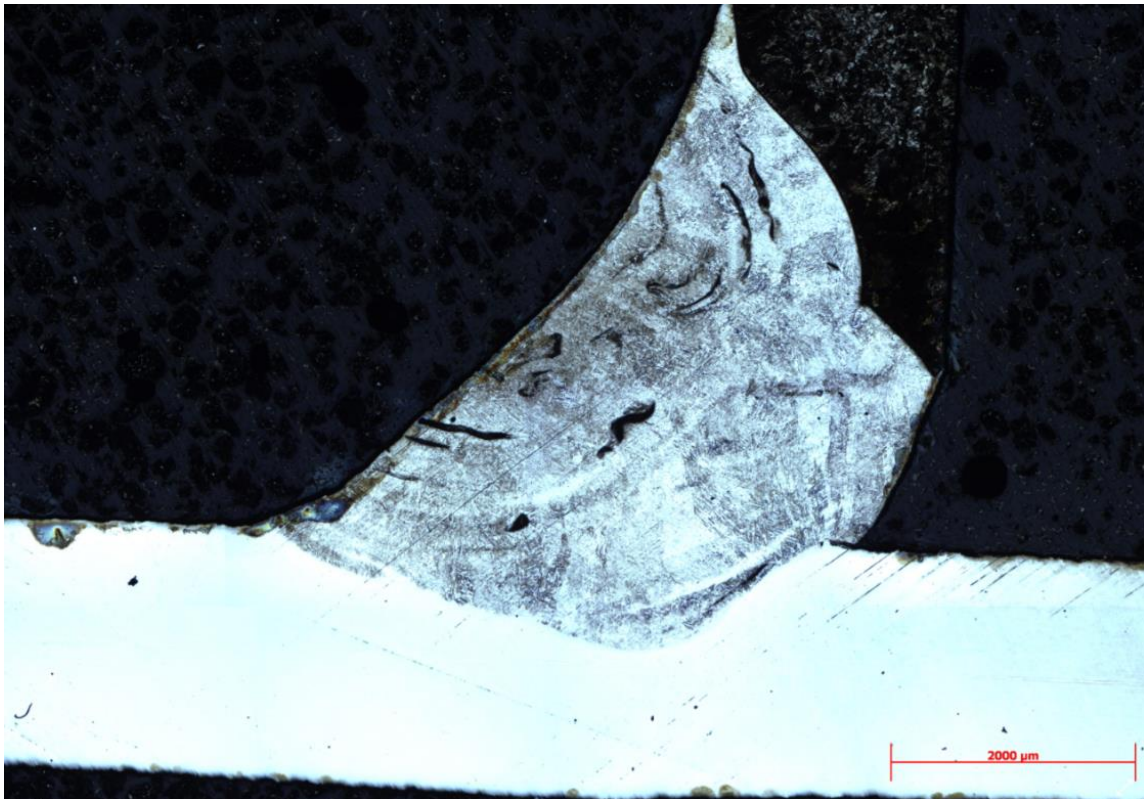


Obrázek 19 Rentgen AlMg5 začátečník

## 12.2 Destruktivní testování

### 12.2.1 Metalografie

Nakonec bylo provedeno destruktivní testování. Úkolem bylo zjistit provaření kořene svaru a zhodnotit tepelně ovlivněnou oblast. Vzorky svarů byly odebrány na metalografické pile. Broušeny, vyleštěny a leptány. Vzhledem k tomu, že takto byly testovány jen ocelové vzorky, jsou tedy spoje heterogenní. Po odborné konzultaci se specialistou na metalografii z KMM bylo zvoleno leptadlo Nital 3% a Villela-Bain. Leptadlo bez problému naleptalo hranice zrn méně kvalitní mikrolegované oceli. Austenitická Cr- Ni korozivzdorná ocel X2CrNi18-9 ale zůstala nedotčena. Nakonec byly na světelném mikroskopu zhotoveny snímky obr. 20 a obr. 21. [34]



Obrázek 20 Svar zvětšený 25x

Na obrázku 20. je patrných několik zajímavých věcí. Černé pruhy mohou na méně zkušeného pozorovatele působit jako trhliny. To je ale vyloučené, neboť by byly odhaleny metodami NDT. Šlo tedy pravděpodobně o oxidické pleny. Oxidické pleny jsou tenké blány oxidů způsobující lokální nespojitosti ve svaru. Vznikají na povrchu svarové lázně a jsou důsledkem turbulentního proudění zaneseny do vnitřku svaru. Vznikají oxidací svarového kovu během kontaktu jeho povrchu se vzdušným kyslíkem. Oxidické pleny jsou závažnější vady a mohou iniciovat vznik dalších vad, například trhlin. S jistotou by bylo možné říci, že jde o oxidické pleny po provedení chemické analýzy. Dále jsou také zřetelně viditelné hladiny toku svarové lázně (rádiusy). Je zde zřetelně vidět, že spodní plech není naleptaný vůbec a horní naopak může působit až jako přepletaný. Posledním faktem patrným ze snímku je, že kořen je provařený. [35] [36]



Obrázek 21 Svar zvětšený 100x

Na obrázku 21. je patrná dendritická struktura svarové lázně v levé části obrázku. Dendrity jsou podlouhlé krystaly, ze kterých kolmo vyrůstají další dendritické větve. Dendrity mají rozdílné chemické složení ve středu a na okraji. Vznik dendritické struktury je zapříčiněn rozdílným poměrem základních kovů a nedostatečným působením difuze při rychlém chladnutí svarové lázně.

## 13 Diskuze výsledků

Oba testované zdroje dosahovaly velice podobných výsledků ve všech směrech. Tento fakt nebyl až tak překvapující, neboť se jednalo o zdroje stejného výkonu, ve stejné cenové relaci. Lišily se jen v doplňkových pomocných funkcích. Četnost těchto funkcí byla v součtu téměř identická pro obě svářečky. Experimentální část bakalářské práce byla přínosná zejména z následujících důvodů. Naskytl se možnost prakticky si vyzkoušet zhotovení svarů metodou TIG se všemi komplikacemi, které tento proces obnáší. Experiment vedl k hlubšímu vnoření do problematiky svařovacích zdrojů a byly otestovány přínosné funkce, jimiž tyto zdroje disponovaly. Z průzkumu mezi svářeči vedeného ústní formou bylo zjištěno, že oni sami tyto funkce neznají. Nemohou tedy dosahovat tak velké produktivity, jaké by bylo možné dosáhnout při jejich znalosti.

Srovnatelných výsledků bylo dosaženo i při kvalitativním porovnání svarů. Byly hodnoceny vizuálně. V tomto případě nebyly na svarech zhotovených svářečem shledány vady žádné. Na svarech provedených začátečníkem se nacházely v malém měřítku póry. Jejich přípustnost byla hodnocena individuálně, vzhledem k tomu, k čemu by výrobek v praxi sloužil.

Dále byla provedena zkouška magnetickou práškovou metodou, vyhodnocenou dle normy ČSN EN ISO 23278. Výsledkem bylo zjištění, že vady na svarech dosahují stupně přípustnosti 1.

Následně byla provedena zkouška kapilární metodou. Vyhodnocena byla dle normy ČSN EN ISO 23277. Výsledkem bylo rovněž zjištění, že vady jsou stupně přípustnosti 1.

Jako další NDT byla provedena zkouška prozařováním. Zde se ukázal propastný kvalitativní rozdíl, mezi svary zhotovenými začátečníkem a profesionálem. Rozdíl v kvalitě mezi jednotlivými zdroji nebyl žádný. Z tohoto lze vyvodit závěr, že samotnou roli nehrálo ani tak zdroj jakého výrobce byl použit, ale to jakou měl zhotovovatel svaru praxi.

Jako finální zkouška byla provedena metalografie. Tato destruktivní zkouška měla zjistit, zda je provařený kořen. Kořeny svarů byly provařeny dostatečně. Dále byla zjištěna dendritická struktura ve svarovém kovu, oxidické pleny ve svarovém kovu a dobře pozorovatelné byly také hladiny, ve kterých se spoj utvářel.

Objektivně byl tedy ve výsledku nepatrně lepší zdroj A, vzhledem k funkcím microtack a minilog. Konkurent B nenabízel adekvátní funkci.

## 14 Závěr

Byly popsány základní informace o svařování metodami MIG/MAG a TIG. Mezi tyto informace nutné pro pochopení podstaty svařování těmito způsoby spadají některé základní oblasti. Jsou jimi značení těchto metod, popsání fungování elektrického oblouku z hlediska důležitého pro svařování a typy proudů a možnosti jejich využití pro svařování konkrétních kovových materiálů. Dále byly rozebrány svařovací parametry, podrobněji například používané ochranné plyny. Zmíněny byly také výhody a nevýhody popisovaných svařovacích metod, svařovací zařízení, druhy elektrod a svařovací hořáky pro metodu TIG. Byla snaha vyčerpávajícím způsobem zachytit oblasti použití metody TIG. Dále měl čtenář možnost dozvědět se stručně popsanou historii metod MIG/MAG a TIG. Zvláště mohl pochytit pro tyto metody důležité milníky v jejich vývoji. Soubor těchto informací tvoří zajímavý základ, ne pro naprostého laika nedotčeného vysokoškolským strojírenstvím, ale pro někoho kdo má alespoň základní technické znalosti. Těmito technickými znalostmi se myslí základní teoretické znalosti svařování, případně také elektrotechniky. Obtížněji popsitelné oblasti byly doplněny o obrázky. Cílem vložení obrázků bylo názornější zobrazení problematiky, ale hlavně také čtenáři poskytnou obrazy toho, s čím se lze setkat ve svařovací praxi.

V experimentální části byly porovnávány dva svařovací zdroje různých výrobců. Svařovací zdroje byly porovnány a zhodnoceny dle širokého spektra kritérií. Je tedy možné konstatovat, že dosažené závěry byly objektivní. Přínosem experimentu bylo praktické zhotovení svarů samo o sobě. Dále také možnost prakticky vyzkoušet NDT a destruktivní svarové zkoušky. Experiment potvrdil, že oba zdroje jsou v kvalitě svaru na stejné úrovni. Jedinou možností jak určit vítěze byl tedy průzkum a otestování jejich funkcí. S nepatrným rozdílem byl tedy uživatelsky a prakticky přívětivější zdroj A.

## Seznam použité literatury

- [1] AMBROŽ, OLDŘICH. *Technologie svařování a zařízení*. Ostrava, Zeross, 2001. ISBN 80-85771-81-0
- [2] *Zkratky ve svařování*. [online] <http://www.cws-anb.cz/>
- [3] Rozhovory se svářecím personálem ve firmě Schäfer Menk, léto 2017
- [4] BARTÁK, JIŘÍ. *Učební texty pro evropské svářečské specialisty, praktiky a inspektory*. Ostrava, Zeross, 2002. ISBN 80-85771-97-7
- [5] HRIVŇÁK, IVAN. *Zváranie a zvariteľnosť materiálov*. Bratislava, Slovenská technická univerzita v Bratislave, 2008
- [6] KOVAŘÍK, R., ČERNÝ, F., *Technologie svařování*. 2. vydání. Plzeň: Západočeská univerzita, 2000. ISBN 80-7082-697-5.
- [7] *Invertorové zdroje, Svařování MIG/MAG – seznámení, Svařování TIG – seznámení*. [online] <http://www.svarecky-elektrody.cz>
- [8] *Teorie a metodika svařování*. ČVUT FSI, Výzkumné centrum pro strojírenskou výrobní techniku a technologii, 2007
- [9] Naitik S. Patel, *A Review on Parametric Optimization of Tig Welding*, International Journal of Computational Engineering Research, Vol, 04, Issue 1
- [10] *TIG (Tungsten Inert Gas Welding), MIG/MAG (CO2)*. [online] <http://automig.cz/>
- [11] *Svařování TIG, svářečky TIG (WIG), svařovací zdroje TIG, sváření TIG, TIG svářečka*. [online] <https://www.schinkmann.cz/tig>
- [12] *ASM Speciality handbook : Stainless Steels*. Materials Park, ASM International, 1994, ISBN: 978-0-87170-503-7
- [13] H. Matsunaga, Y. S. Sato, H. Kokawa and T. Kuwana, *Science and Technology of Welding and Joining* 3. (1998), 225-232
- [14] H. Matsunaga, Y. S. Sato, H. Kokawa and T. Kuwana, *Science and Technology of Welding and Joining* ., (1999) 41-49
- [15] Hilkes J., Bekkers K., *Weld. J.* 74 (1995) 51-54
- [16] [online] Twitterová stránka UKweldingjobs, příspěvek 25. 10. 2015
- [17] Gurdev Singh. *Study the parametric optimization of TIG welding*, [online] [www.irjet.net](http://www.irjet.net)



- [18] A. Ampaiboon. *Optimization and Prediction of Ultimate Tensile Strength in Metal Active Gas Welding*. [online] <https://www.hindawi.com/journals/tswj/2015/831912>
- [19] A.S. Shahi. *Effect of heat input on the microstructure and mechanical properties of gas tungsten arc welded AISI 304 stainless steel joints*. [online] <https://www.deepdyve.com/lp/elsevier/effect-of-heat-input-on-the-microstructure-and-mechanical-properties-e9eOVThYkV>
- [20] R. Arabi Jeshvaghani. *Microstructural study and wear behavior of ductile iron surface alloyed by Inconel 617*, [online] <https://www.deepdyve.com/lp/elsevier/microstructural-study-and-wear-behavior-of-ductile-iron-surface-ncWpiX6UZt>
- [21] *Inconel Alloy 617*, [online] <https://www.bibusmetals.cz/materialy/nikl-niklove-slitiny/inconelr-alloys/inconelr-alloy-617/>
- [22] *Rentgenová difrakční analýza*, [http://www.wikiskripta.eu/w/Rentgenová\\_difrakční\\_analýza](http://www.wikiskripta.eu/w/Rentgenová_difrakční_analýza)
- [23] Shanping Lu. *Arc ignitability, bead protection and weld shape variations for He–Ar–O<sub>2</sub> shielded GTA welding on SUS304 stainless steel*. [online] <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0924013608002495>
- [24] [online] [https://en.wikipedia.org/wiki/SAE\\_304\\_stainless\\_steel](https://en.wikipedia.org/wiki/SAE_304_stainless_steel)
- [25] [online] <http://www.inoxspol.cz/nerezova-ocel-14301.html>
- [26] [online] <http://www.tumlikovo.cz/rubriky/materialy/konstrukcni-oceli/oceli-tridy-17/>
- [27] [online] <https://cotring.cz/>, Orbitální svařování potrubních celků
- [28] [online] [http://www.netwelding.com/history\\_tig\\_welding.htm](http://www.netwelding.com/history_tig_welding.htm), *Historie svařování metodou TIG*
- [29] KOUKAL, J. *Historie a současnost metod svařování MIG/MAG*. [online] [http://www.svetsvaru.cz/wp-content/uploads/2015/05/2015-1\\_HistorieMIGMAG.pdf](http://www.svetsvaru.cz/wp-content/uploads/2015/05/2015-1_HistorieMIGMAG.pdf)
- [30] FÜRBAACHER, IVAN. *Lexikon ocelí: materiálové listy se zahraničními materiály*. Praha, Verlag Dashöfer, 2006. ISBN 80-86897-12-5.
- [31] BRUNCLÍK, MARTIN, firma ARC-H
- [32] ČSN EN ISO 23278
- [33] ČSN EN ISO 23277
- [34] Rozhovor se specialistou na leptadla z KMM
- [35] Rozhovor se specialistou přes vyhodnocování snímků svarů z KMM

[36] OTÁHAL, VLASTISLAV. *Vady odlitků, Atlas vad, Železné a neželezné slitiny*.  
[online] [http://otahalconsult.cz/wp-content/pdf/Vady\\_odlitku\\_vytah.pdf](http://otahalconsult.cz/wp-content/pdf/Vady_odlitku_vytah.pdf)

## Seznam obrázků

Obrázek 1 Elektrický oblouk [1] .....	7
Obrázek 2 V-A charakteristika .....	8
Obrázek 3 Jednotlivé druhy zapojení elektrody a čistící účinek argonu [6] .....	10
Obrázek 4 Schéma svařování TIG [7] .....	13
Obrázek 5 Svařovací zdroj TIG [10] .....	14
Obrázek 6 Svar TIG s hrotem elektrody [16] .....	15
Obrázek 7 Svařovací hořák [1] .....	18
Obrázek 8 Plynová síťka [1] .....	18
Obrázek 9 Doporučený způsob broušení a vliv sklonu rýh na tvar oblouku [6] .....	19
Obrázek 10 Orbitální svařování [27] .....	21
Obrázek 11 Turbulentní proudění z trysky hořáku [13] .....	24
Obrázek 12 Ovládací panel svařovacího zdroje A [31] .....	30
Obrázek 13 Důsledek nevypnutého bodování .....	31
Obrázek 14 Magnetická prášková metoda .....	33
Obrázek 15 Kapilární zkouška a .....	34
Obrázek 16 Kapilární zkouška b .....	34
Obrázek 17 Rentgen AlMg5 svářeč .....	35
Obrázek 18 Rentgen X2CrNi18-9 Bez drátu .....	35
Obrázek 19 Rentgen AlMg5 začátečník .....	36
Obrázek 20 Svar zvětšený 25x .....	37
Obrázek 21 Svar zvětšený 100x .....	38

Obrázky bez uvedených zdrojů byly zhotoveny během experimentálního programu.

## Seznam tabulek

Tabulka 1 Chemické složení korozivzdorné oceli .....	26
Tabulka 2 Technická specifikace jednotlivých svařovacích zdrojů [31] .....	27