

**ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI**  
**FAKULTA STROJNÍ**

**Studijní program: B0715A270013 – Strojní inženýrství**  
**Studijní specializace: Strojírenské materiály a technologie**

**BAKALÁŘSKÁ PRÁCE**

**Vliv svařovacích parametrů pro produktivní svařování deformačních  
prvků automobilu**

**Autor: Jiří KEPKA**

**Vedoucí práce: Ing. David BRICÍN**

**Akademický rok 2021/2022**

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI  
Fakulta strojní  
Akademický rok: 2021/2022

# ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení: **Jiří KEPKA**  
Osobní číslo: **S21B0398P**  
Studijní program: **B0715A270013 Strojní inženýrství**  
Specializace: **Strojírenské materiály a technologie**  
Téma práce: **Vliv parametrů svařování při produktivním svařování deformačních prvků automobilu**  
Zadávající katedra: **Katedra materiálu a strojírenské metalurgie**

## Zásady pro vypracování

1. Způsoby svařování
2. Automatizované, robotizované svařování
3. Typy svarových spojů, jejich členění
4. Vývoj parametrů svařování pro různé typy svarových spojů
5. Experimentální část
6. Hodnocení kvality svarových spojů
7. Diskuse výsledků
8. Závěr

Rozsah bakalářské práce: **30-40 stran**  
Rozsah grafických prací: **fotodokumentace, obrázky**  
Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná/elektronická**

Seznam doporučené literatury:

JEFFUS, Larry F. Welding: principles and applications. Eighth edition. Boston, MA: Cengage Learning, [2017]. ISBN 978-1-3054-9469-5.

WEISMAN, Charlotte a W. H. KEARNS. Welding handbook. 7th ed. Miami, Fla.: American Welding Society, c1976-. ISBN 0871711265.

AMBROŽ, Oldřich, Bohumil KANDUS a Jaroslav KUBÍČEK. Technologie svařování a zařízení: učební texty pro kurzy svářečských inženýrů a technologů. 1. vyd. Ostrava: Zeross, 2001, 395 s. ISBN 80-857-7181-0.

RAGU NATHAN, S., V. BALASUBRAMANIAN, S. MALARVIZHI a A.G. RAO. Effect of welding processes on mechanical and microstructural characteristics of high strength low alloy naval grade steel joints. Defence Technology [online]. 2015, 11(3), 308-317 [cit. 2020-10-05]. ISSN 22149147. Dostupné z: doi:10.1016/j.dt.2015.06.001.

ČSN EN ISO 5817. Svařování – Svarové spoje oceli. Niklu, titanu a jejich slitin zhotovené tavným svařováním (kromě elektronového a laserového svařování) Určování stupňů kvality. Česká agentura pro standartizaci, 2014, 36 s. Třídící znak 050110.

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. David Bricín, Ph.D.**  
Katedra materiálu a strojírenské metalurgie

Konzultant bakalářské práce: **Ing. Miroslav Vomáčka**  
Shape Corp. Czech Republic, s.r.o. , Plzeň

Datum zadání bakalářské práce: **15. října 2021**  
Termín odevzdání bakalářské práce: **27. května 2022**

L.S.

---

**Doc. Ing. Milan Edl, Ph.D.**  
děkan

---

**Ing. Josef Odehnal, Ph.D.**  
vedoucí katedry

## **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

## ANOTAČNÍ LIST BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

<b>AUTOR</b>	<b>Příjmení</b> Kepka	<b>Jméno</b> Jiří	
<b>STUDIJNÍ OBOR</b>	B0715A270013 Strojní inženýrství		
<b>VEDOUcí PRÁCE</b>	<b>Příjmení</b> Ing. Bricín	<b>Jméno</b> David	
<b>PRACOVÍŠTĚ</b>	ZČU - FST - KMM		
<b>DRUH PRÁCE</b>	<b>DIPLOMOVÁ</b>	<b>BAKALÁŘSKÁ</b>	<b>Nehodící se škrtněte</b>
<b>NÁZEV PRÁCE</b>	Vliv svařovacích parametrů pro produktivní svařování deformačních prvků automobilu		

<b>FAKULTA</b>	strojní	<b>KATEDRA</b>	KMM	<b>ROK ODEVZD.</b>	2022
----------------	---------	----------------	-----	--------------------	------

### POČET STRAN (A4 a ekvivalentů A4)

<b>CELKEM</b>	30	<b>TEXTOVÁ ČÁST</b>	20	<b>GRAFICKÁ ČÁST</b>	0
---------------	----	---------------------	----	----------------------	---

<b>STRUČNÝ POPIS</b>	Bakalářská práce obsahuje charakteristiku svařovacích metod v automobilovém průmyslu, jednotlivé svařovací parametry ovlivňující kvalitu svaru a jejich vývoj se zaměřením na nalezení ideálních hodnot. Nalezené hodnoty budou použity při výrobě destruktivních prvků automobilu ve firmě Shape corp.
<b>KLÍČOVÁ SLOVA</b>	Metody svařování, GMAW, robotické svařování, parametry, normy, svarové spoje.

## SUMMARY OF BACHELOR SHEET

<b>AUTHOR</b>	<b>Surname</b> Kepka	<b>Name</b> Jiří	
<b>STUDY PROGRAMME</b>	B0715A270013 Mechanical Engineering		
<b>SUPERVISOR</b>	<b>Surname</b> Ing. Bricín	<b>Name</b> David	
<b>INSTITUTION</b>	ZČU - FST - KMM		
<b>TYPE OF WORK</b>	<b>DIPLOMA</b>	<b>BACHELOR</b>	<b>Delete when not applicable</b>
<b>TITLE OF THE WORK</b>	Influence of welding parameters during productive welding of deformation elements of a car		

<b>FACULTY</b>	Mechanical Engineering	<b>DEPARTMENT</b>	KKM	<b>SUBMITTED IN</b>	2022
----------------	------------------------	-------------------	-----	---------------------	------

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

<b>TOTALLY</b>	47	<b>TEXT PART</b>	35	<b>GRAPHICAL PART</b>	12
----------------	----	------------------	----	-----------------------	----

<b>BRIEF DESCRIPTION TOPIC, GOAL, RESULTS AND CONTRIBUTIONS</b>	The bachelor thesis contains the characteristics of welding methods in the automotive industry, individual welding parameters affecting the quality of the weld and their development with a focus on finding ideal values. The determined values will be used in the production of destructive elements of the car in the company Shape corp.
<b>KEY WORDS</b>	Welding methods, GMAW, robotic welding, parameters, standards, welded joints.

## Obsah

Přehled použitých zkratk a symbolů.....	
Seznam obrázků .....	
Seznam tabulek .....	
Úvod.....	1
1 Metody svařování v automobilovém průmyslu.....	2
1.1 Odporové svařování.....	2
1.1.1 Bodové svařování.....	2
1.2 Obloukové svařování v ochranné atmosféře tavící se elektrodou .....	3
1.2.1 Ochranné plyny .....	3
1.2.2 Druhy elektrod.....	4
1.3 Obloukové svařování v ochranné atmosféře netavící se elektrodou .....	7
1.3.1 Wolframové elektrody.....	7
1.3.2 Wolfram s přídavkem thoria, EWTh-1 a EWTh-2 .....	8
1.3.3 Wolfram s přídavkem zirkonia, EWZr .....	8
1.3.4 Wolfram s přídavkem ceria, EVCe-2.....	8
1.3.5 Wolfram s přídavkem lanthanu.....	8
1.3.6 Nespecifikované elektrody, EWG.....	8
1.4 Laserové svařování .....	9
1.5 Plazmové svařování .....	9
2 Automatizované a manuální svařování .....	10
3 Typy svarových spojů.....	11
3.1 Tupý svar .....	11
3.2 Koutový svar.....	11
3.3 Rohový svar.....	12
3.4 Přepřátovaný svar .....	12
3.5 Lemovaný svar .....	12
4 Svařovací parametry pro obloukové svařování v ochranné atmosféře tavící se elektrodou	
13	
4.1 Svařovací proud.....	13
4.2 Svařovací napětí .....	13
4.3 Svařovací rychlost .....	14
4.4 Velikost elektrody .....	14
4.5 Svařovací úhel .....	14

4.6	Průtok plynu .....	15
4.7	Vzdálenost drátu WTP .....	15
4.8	Svařovací módy .....	15
4.8.1	<i>Zkratový způsob</i> .....	15
4.8.2	<i>Kapkový přenos</i> .....	15
4.8.3	<i>Sprchový přenos</i> .....	15
4.8.4	<i>Pulzní svařování</i> .....	16
5	Hodnocení svarových spojů .....	17
5.1	ČSN EN ISO 5817 .....	17
5.2	Zákaznická norma TSH5603G .....	19
6	Charakteristika materiálu – praktická část .....	20
7	Svařovací parametry .....	22
7.1	Konstantní svařovací parametry .....	22
7.1.1	<i>Ochranný plyn</i> .....	22
7.1.2	<i>Druh elektrody</i> .....	22
7.1.3	<i>Svařovací úhel</i> .....	22
7.1.4	<i>Svařovací mód</i> .....	23
7.1.5	<i>Výlet drátu</i> .....	24
7.1.6	<i>Vzdálenost drátu WTP</i> .....	24
7.1.7	<i>Svařovací pozice</i> .....	24
7.1.8	<i>Shrnutí konstantních parametrů</i> .....	24
7.2	Proměnné svařovací parametry .....	25
7.2.1	<i>Svařovací proud</i> .....	25
7.2.2	<i>Svařovací rychlost</i> .....	27
7.3	Vyhodnocení svařovacích parametrů .....	33
8	Metalografické vyhodnocení parametrů.....	34
9	Závěr.....	41
10	Zdroje .....	42



## **Přehled použitých zkratk a symbolů**

**GMAW** – Obloukové svařování v ochranné atmosféře tavící se elektrodou (angl. Gas Metal Arc Welding)

**MIG** – ochranný inertní plyn

**MAG** – ochranný aktivní plyn

**AWS** – Americká svařovací společnost

**TIG** – Obloukové svařování v ochranné atmosféře netavící se elektrodou (angl. Tungsten Inert Gas)

**WFS** – Rychlost výsuvu drátu (angl. Wire Feed Speed)

**WTP** – Vzdálenost drátu od základního materiálu

**SCGA** – Ocelový plech tvářený za studena, pozinkovaný vyžíhaný (angl. Steel Plate Cold rolled Galv annealed)

**TOO** – Teplem ovlivněná oblast

**ZM** – Základní materiál

## Seznam obrázků

Obrázek 1: Schéma odporového svařování [2] .....	2
Obrázek 2: Schéma obloukového svařování v ochranné atmosféře [2] .....	3
Obrázek 3: Schéma obloukové svařování v ochranné atmosféře netavicí se elektrodou [2] .....	7
Obrázek 4: Schéma plazmového svařování [2] .....	9
Obrázek 5: Svary tupé: a) svar I, b) svar V, c) svar U, d) svar X, e) svar UU, f) svar $\frac{1}{2}$ V, g) svar $\frac{1}{2}$ X [9] .....	11
Obrázek 6: Koutový svar [8] .....	11
Obrázek 7: Koutový svar: A) Dotyk rohů B) Překrytí rohů [2] .....	12
Obrázek 8: Přeplátovaný spoj [2] .....	12
Obrázek 9: Lemovaný spoj [2] .....	12
Obrázek 10: Průřez housenkami [10] .....	13
Obrázek 11: Základní úhly svařování [19] .....	14
Obrázek 12: Celková sestava zkoumaného nárazníku .....	20
Obrázek 13: Přeplátovaný svarový spoj .....	21
Obrázek 14: Příklad módu Synchro pulse, Pracovní cyklus = 25 % [20] .....	23
Obrázek 15: Délka spodní odvěsny v závislosti na proudu .....	25
Obrázek 16: Velikost krycí vrstvy v závislosti na proudu .....	26
Obrázek 17: Velikost průvaru v závislosti na proudu .....	26
Obrázek 18: Délka spodní odvěsny v závislosti na rychlosti .....	27
Obrázek 19: Velikost krycí vrstvy v závislosti na rychlosti .....	28
Obrázek 20: Velikost průvaru v závislosti na rychlosti .....	28
Obrázek 21: Délka spodní odvěsny v závislosti na rychlosti .....	29
Obrázek 22: Velikost krycí vrstvy v závislosti na rychlosti .....	30
Obrázek 23: Velikost průvaru v závislosti na rychlosti .....	30
Obrázek 24: Fuse leg v závislosti na rychlosti .....	31
Obrázek 25: Velikost krycí vrstvy v závislosti na rychlosti .....	32
Obrázek 26: Velikost penetrace v závislosti na rychlosti .....	32
Obrázek 27: Proud na rychlosti .....	33
Obrázek 28: Makrografie spodní hranice 180A, 13 mm/s .....	34
Obrázek 29: Makrografie horní hranice 260A, 13 mm/s .....	35
Obrázek 30: Makrografie střední hodnoty 230A, 13 mm/s .....	35
Obrázek 31: Průběh tvrdosti .....	36
Obrázek 32: Struktura ZM SSBA Docol 1500M, x50 .....	37

Obrázek 33: Struktura SCGA980DUB-45, x500 .....	37
Obrázek 34: Přehled snímků .....	38
Obrázek 35: Hranice ztavení svarový kov a SCGA980, x200 .....	38
Obrázek 36: Svarový kov, x200 .....	38
Obrázek 37: Kořen svarového kovu, x200 .....	38
Obrázek 38: Hranice ztavení: svarový kov a SSBA Docol, x200 .....	38
Obrázek 39: Přehled snímků .....	39
Obrázek 40: Hranice ztavení svarový kov a SCGA980, x200 .....	38
Obrázek 41: Svarový kov, x2000 .....	38
Obrázek 42: Kořen svarového kovu, x200 .....	38
Obrázek 43: Hranice ztavení: svarový kov a SSBA Docol, x200 .....	38
Obrázek 44: Přehled snímků .....	40
Obrázek 45: Hranice ztavení svarový kov a SCGA980, x200 .....	40
Obrázek 46: Svarový kov, x20 .....	40
Obrázek 47: Kořen svarového kovu, x200 .....	40
Obrázek 48: Hranice ztavení: svarový kov a SSBA Docol, x20 .....	40

## Seznam tabulek

Tabulka 1: Porovnání robotického a manuálního svařování [4] [5] .....	10
Tabulka 2: Norma ČSN ISO 5817 [17] .....	17
Tabulka 3: Norma TSH5603G [18] .....	19
Tabulka 4: Rozměry a materiálové složení jednotlivých materiálů. ....	21
Tabulka 5: Charakteristika elektrody [21] .....	22
Tabulka 6: Konkrétní parametry nastavené pro mód Sychro pulse[20] .....	23
Tabulka 7: Přehled zvolených konstantních parametrů .....	24

## Úvod

V automobilovém průmyslu se klade velký důraz na celkovou hmotnost vozidla. Snížením celkové hmotnosti se dosáhne zlepšení technických, ekologických i ekonomických vlastností automobilu. Z těchto důvodů je snaha o používání čím dál tím lehčích materiálů, které ovšem musí splňovat požadované mechanické vlastnosti, pro zajištění bezpečnosti automobilů.

Kromě vývoje používaných materiálů, se modernizuje i způsob výroby jednotlivých prvků pro automobily. Dochází k automatizaci a robotizaci výroby, při které práci, kterou dříve vykonával člověk, postupně přebírá robot. Roboti jsou však v postupném vývoji, a ne vždy se dají použít při složitých výrobních procesech. Proto se často ve firmách zařazuje poloautomatizace, kdy se na výrobě podílejí zároveň operátoři i roboti.

Při výrobě automobilových součástí výroba požaduje co nejvíce produktů o nejvyšší jakosti za co nejmenší výrobní čas. K tomu lze velmi pomoci správným optimalizováním výrobních parametrů pro jednotlivé výrobní operace. Pokud se docílí správného nastavení, dosáhne se zvýšení produktivity pracoviště a zároveň i jakosti produktu.

Cílem bakalářské práce je navrhnout vhodné svařovací parametry, které budou použity při výrobě destruktivních prvků automobilu. Práce je rozdělena do několika částí. V teoretické části jsou popsány nejčastěji používané metody svařování v automobilovém průmyslu. Porovnává se automatizované a manuální svařování z hlediska výroby a efektivnosti. Následně se práce zaměřuje na parametry obloukového svařování tavící se elektrodou, které ovlivňují výslednou kvalitu svaru. V závěru teoretické části jsou uvedeny normy, kterými jsou svary následně vyhodnoceny v praktické části.

V praktické části byly zkoumány dva parametry během robotického obloukového svařování tavící se elektrodou, a to rychlost svařování a velikost svařovacího proudu. Cílem práce bylo zkoumání vlivu proměnných parametrů na kvalitu svarového spoje. Následně byla na základě těchto parametrů nalezena optimální hodnota pro výrobní svařování svarového spoje. V závěrečné části práce jsou vzniklé vzorky zkoumány pomocí metalografických zkoušek.

# 1 Metody svařování v automobilovém průmyslu

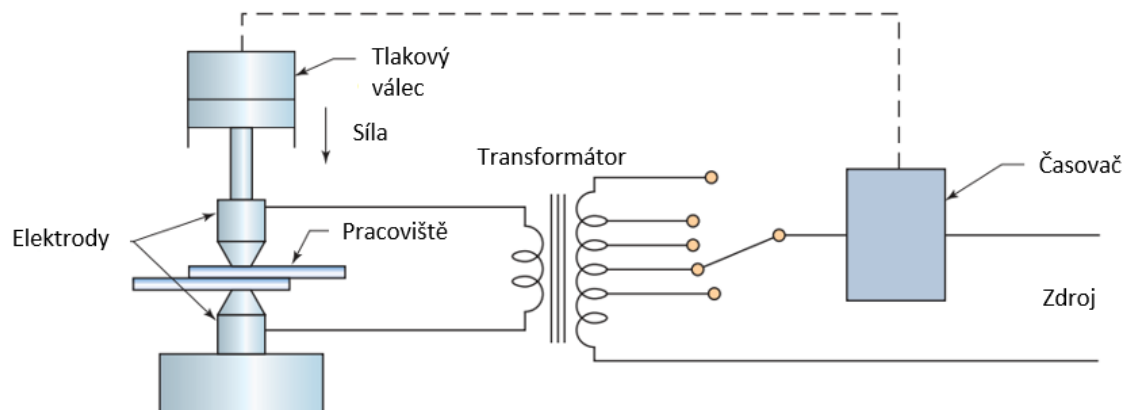
V automobilovém průmyslu se běžně používá několik způsobů svařování, z nichž nejčastějším způsobem je odporové svařování, svařování v ochranné atmosféře tavící se elektrodou a netavící se elektrodou, laserové svařování a plazmové svařování. [1]

## 1.1 Odporové svařování

Při odporovém svařování vzniká svar za pomoci tlaku a tepla. Základní materiály se vloží mezi elektrody, které se na ně následně přitlačí. Elektrický proud prochází materiály a tvoří tím teplo, které vytvoří svarový spoj. Tlačení elektrod na součásti se zajišťuje nepřetržitý elektrický obvod. [2]

Většina odporových svařujících strojů má 3 části:

- Část na upnutí součástí společně s elektrodami, které se dotlačí například pomocí pístu
- Elektrický obvod tvořený transformátorem, případně regulátorem nebo kondenzátorem



- Řídicí panel pro ovládání času cyklu [2]

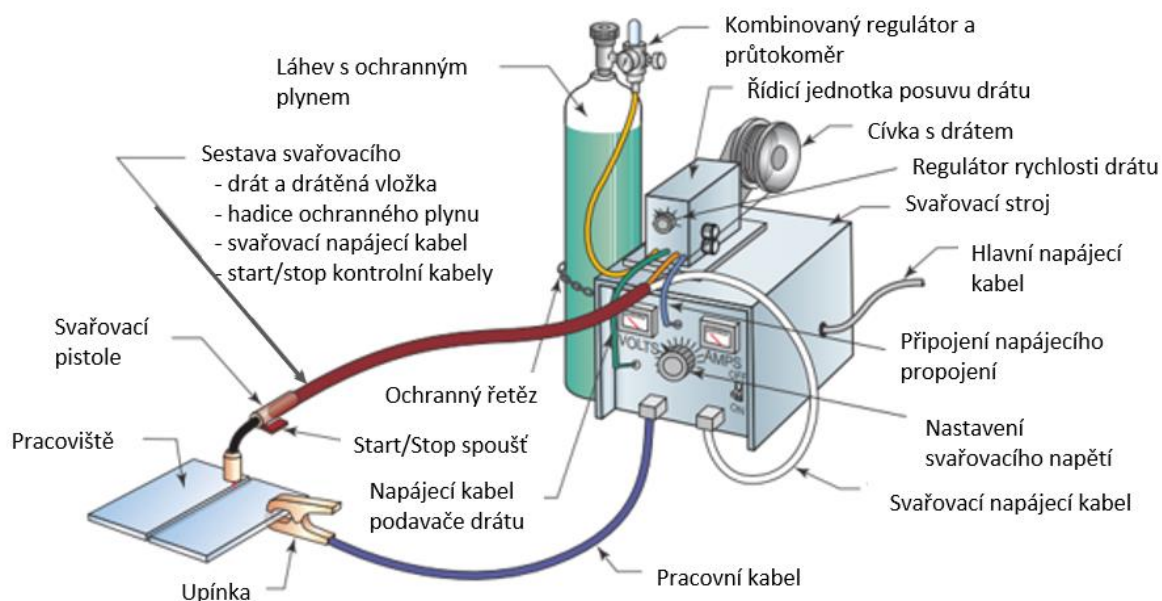
Obrázek 1: Schéma odporového svařování [2]

### 1.1.1 Bodové svařování

Jedná se o nejčastější způsob odporového svařování. Princip je velice podobný, jako je zvýrazněn na Obrázku 1. Elektrody vytvoří jeden malý bodový svar. Metoda se dá použít pro materiály do tloušťky až 25 mm. [2]

## 1.2 Obloukové svařování v ochranné atmosféře tavící se elektrodou

Obloukové svařování v ochranné atmosféře tavící se elektrodou, dále již jen zkratkou GMAW (angl. Gas Metal Arc Welding) je nejpoužívanější metoda svařování. Ke svařování se používá pevný svařovací drát, který je automaticky odvíjen z cívky za konstantní rychlosti a slouží jako elektroda. Mezi drátem a materiálem se vytvoří svařující oblouk, tím vznikne teplo, které roztaví drát a dochází k následné tvorbě svaru. Během procesu je přiváděn ochranný plyn, který chrání svarovou lázeň před působením okolní atmosféry a zabraňuje oxidaci základního materiálu. Typ ochranného plynu se volí podle druhu základního materiálu. Obloukové svařování v ochranné atmosféře se dělí podle typu použitého plynu na MIG (ochranný inertní plyn) a MAG (ochranný aktivní plyn). [2]



Obrázek 2: Schéma obloukového svařování v ochranné atmosféře [2]

### 1.2.1 Ochranné plyny

Mezi nejčastěji používané ochranné plyny patří oxid uhličitý ( $\text{CO}_2$ ), argon (Ar) a helium (He). K nejlepším výsledkům se ale používají i různé směsi těchto plynů. Při volbě vhodného plynu se musí vzít v potaz několik faktorů, například: rychlost svařování, požadovaný tvar housenky, míra penetrace anebo šířka teplem ovlivněné oblasti. [2]

#### 1.2.1.1 Argon

Samotný argon patří mezi inertní plyny a používá se při MIG svařování. Nereaguje s žádnou jinou látkou a je nerozpustný v roztaveném kovu. Čistý argon se používá při svařování neželezných kovů jako je hliník, měď, hořčík, nikl a jejich slitiny. Argon je těžší než vzduch, a proto chrání dobře svarovou lázeň tím, že vytlačuje lehčí vzduch pryč. [2]

### 1.2.1.2 Sloučeniny argonu

S přidáním kyslíku, oxidu uhličitého, helia nebo dusíku mění argon své vlastnosti. Vzniklé směsi se používají při MAG svařování. Přidáním oxidačních plynů jako kyslík a oxid uhličitý do argonu dojde ke stabilizování oblouku, snáze se přenáší kovy a minimalizuje se rozstřík. Výsledkem je zlepšení penetrace a podříznutí svaru je sníženo. Naopak přidáním helia nebo dusíku se zvyšuje obloukové teplo a tím i hloubka penetrace. Nejběžnější směsí je směs argonu-CO<sub>2</sub>, kde CO<sub>2</sub> tvoří 25 % směsi. [2]

### 1.2.1.3 Helium

Helium se používá při MIG svařování, jedná se o inertní plyn. Helium je lehčí než vzduch. Ve srovnání s argonem, se musí průtok helia zdvojnásobit, aby měl přijatelnou tuhost v plynu a byl schopný vytlačit vzduch ze svarové lázně. K ionizaci potřebuje mnohem více napětí, důsledkem toho vzniká teplejší svařovací oblouk. Díky teplejšímu svařovacímu oblouku je snazší zhotovit svary na silných materiálech z hliníku či hořčíku. Helium se smíchává v malém množství do těžších plynů, vzniklé směsi využívají teplo způsobené přítomností helia a pro pokrytí svaru přítomné těžší plyny. [2]

### 1.2.1.4 Oxid uhličitý

Oxid uhličitý je aktivní plyn a patří tak k MAG svařování. Často se používá při svařování ocelí. Umožňuje vyšší rychlost svařování, zlepšuje penetraci a oproti inertním plynům má nižší cenu. Nevýhodou je méně stabilní oblouk a větší rozstřík svaru. Šířka rozstříku jde kontrolovat udržováním krátkého a stálého oblouku. [2]

## 1.2.2 Druhy elektrod

Americká svařovací společnost (dále též jen AWS) eviduje několik druhů elektrod. Popisuje chemické a fyzikální vlastnosti svaru zhotovenou elektrodou, ne však složení drátu. Výrobci elektrod mohou provádět menší změny ve složení elektrody, ale pouze pokud svar zhotovený upravenou elektrodou splňuje určité specifikace jednotlivé skupiny. [2]

### 1.2.2.1 Elektrody z uhlíkové oceli a nízkolegované slitiny a jejich značení

AWS používá pro uhlíkové oceli a nízkolegované slitiny elektrody určité označení. Pro ilustraci značení na elektrodě ER70S-2:

E: Jedná se o elektrodu.

R: Označuje kovovou výplň drátu, která lze použít i na řezání, nebo na jiný druh svařování.

70: Označuje pevnost v tahu, 70 000 liber na čtvereční palec ~ 0,48 MPa.

S: Označuje, že se jedná o pevnou drátovou elektrodu.

2: Číselné označení na této pozici nabývá hodnot od 1 do 7, nebo G, které označuje složení přídavného kovu a doporučené nastavení svařovacího proudu a typu ochranného plynu. [2]

- **ER70S-2**

Elektroda je vyrobena z uhlíkové oceli a má díky obsahu hliníku, titanu a zirkonu detoxikační účinky. Vzniklá svařovací lázeň není příliš tekutá. Je vhodná pro svařování pomocí krátkého oblouku a lze použít ve všech polohách. Historicky se používala na vytvoření kořenových svarů na trubkách z uhlíkové oceli. Jako ochranné plyny se používají CO<sub>2</sub>, Ar s CO<sub>2</sub> a Ar s O<sub>2</sub>. [2] [15]

- **ER70S-3**

Tato elektroda nemá deoxidační činidla, která jsou potřeba pro svařování kovu, na kterém je rez. Oblast svaru musí být zpracována například obroušením. Používá se především na tenčí oceli. Svarová lázeň je mírně tekutější než u elektrody ER70S-2, ale stále lze použít ve všech polohách. Mohou se použít stejné ochranné plyny jako u předešlé elektrody. [2]

- **ER70S-4**

Elektroda obsahuje více deoxidátoru než ER70S-3. Používá se běžně při svařování konstrukčních ocelí. Může se s ní svařovat ve všech polohách. I zde se používají stejné ochranné plyny, jako v předchozích případech. [2]

- **ER70S-5**

Elektroda se používá pouze pro svařování ve vodorovné poloze, protože její svarová lázeň je velice tekutá. Je vhodná pro axiální postřikový přenos kovu s elektrodou o větším průměru na vytváření svarů u silných materiálů. Vhodnými plyny jsou směsi Ar s O<sub>2</sub> a Ar s CO<sub>2</sub>. [2]

- **ER70S-6**

Používá se pro svařování silných i tenkých materiálů. Díky vysokému obsahu manganu má dobrou pevnost a deoxidaci. Dobře působí na nevyčištěné plochy a lehké kovy používané v automobilovém průmyslu. Jako ochranné plyny se používají CO<sub>2</sub>, Ar s CO<sub>2</sub> a Ar s O<sub>2</sub>. [2]

- **ER70S-7**

Jedná se o elektrodu s největším obsahem manganu. Lze jí použít na všechny svařovací polohy a má velký rozsah svařovacích parametrů. Má vynikající mechanické vlastnosti a je často používaná v automobilovém průmyslu při svařování těžkých zařízeních a při robotickém svařování. Používá se společně s CO<sub>2</sub> a směsí Ar s CO<sub>2</sub>. [2]



### 1.2.2.2 Drátové elektrody z nerez oceli a jejich značení

Drátové elektrody z nerez oceli mají podobné označení jako uhlíkové oceli. Používají předponu ER, následuje trojčíslí, které odpovídá číslu nerezové oceli pro konkrétní slitinu. Vpravo může být písmeno L pro označení nízkouhlíkové nerezové oceli. Nakonec se mohou přidat písmena Si jako symbol pro přidání silikonového deoxidátoru. [2]

- **ER308L a ER308LSi**

Slouží ke svařování všech nerezových ocelí. Nejčastěji se používají v potravinářském, nebo chemickém zařízení. [2]

- **ER316L a ER316L-Si**

Uplatňují se při svařování trubek, chemických čerpadel, filtrů a nádrží. Pro zlepšení korozivzdornosti se přidává molybden. Tyto nerez ocele se používají při vysokoteplotním provozu, kde je vyžadovaná vysoká pevnosti s nízkým tečením. [2]

### 1.2.2.3 Hliníkové elektrody a jejich značení

- **ER1100**

Elektroda vytváří svary, které mají dobrou odolnosti proti korozi a vysokou tažnost s pevností v tahu. Zároveň má vysokou odolnost proti praskání během svařování. Používá se pro svařování potravinářských a skladovacích nádob. [2]

- **ER4043**

Do elektrody je přidáno až 6 % silikonu, který snižuje teplotu tání na 624 °C. Díky nízké teplotě vzniká volně tekoucí svarová lázeň. Výsledný svar má vysokou tažnost. Elektrodu lze použít při svařování válcovaných, nebo tažených slitin. [2]

- **ER5356**

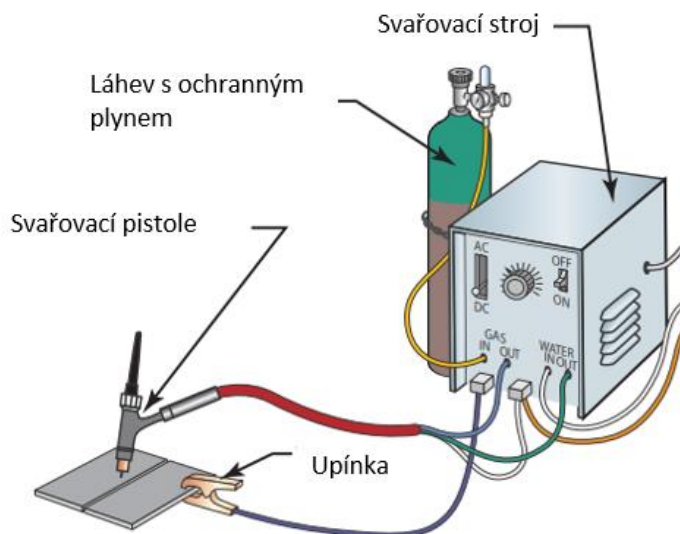
Obsahuje až 5,5 % hořčíku pro zlepšení pevnosti v tahu. Díky tomu má vzniklý svar vysokou tažnost, ale na úkor průměrné odolnosti praskání během svařování. [2]

- **ER5556**

Elektroda obsahuje až 5,5 % hořčíku a až 1 % manganu. Výsledný svar má vysokou pevnost. Podobně jako elektroda ER5356 i tato má vysokou tažnost na úkor odolnosti proti praskání. [2]

### 1.3 Obloukové svařování v ochranné atmosféře netavící se elektrodou

Obloukové svařování v ochranné atmosféře netavící se elektrodou je známo pod zkratkou TIG (angl. Tungsten Inert Gas). Jako elektroda se používá wolframový drát, který se za správných podmínek neroztaví. Místo něj se taví svařovaný kov v místě, kde na něj působí oblouk. Svar se vytváří natavením okrajů dvou různých materiálů a následným jejím spojením, nebo pomocí přídavného materiálu. Pro ochranu svarové lázně před působením atmosféry se používají inertní plyny, jako argon nebo helium. [2]



Obrázek 3: Schéma obloukového svařování v ochranné atmosféře netavící se elektrodou [2]

#### 1.3.1 Wolframové elektrody

Díky své tepelné vodivosti dokáže wolfram odolat teplotě oblouku nad teplotou tání. Teplo je odváděno od špičky elektrody dostatečně rychle, tak že se nedosáhne teploty tání. Ovšem kvůli působení vysoké teploty oblouku, dochází k erozi elektrody. Do svaru se dostávají malé kapičky wolframu. Jsou to tvrdé skvrny, které způsobují nahromadění napětí, které může způsobit nekvalitní svar. Množství wolframové eroze jde redukovat dobrým mechanickým a elektrickým kontaktem mezi elektrodou a kleštinou, použitím chlazeného hořáku, větší elektrodou, nebo použitím co nejmenšího možného svařovacího proudu. [2]

Vlastnosti čistého wolframu se mohou zlepšit přidáním ceru, lanthanu, thoria nebo zirkonia. AWS rozděluje wolframové elektrody následovně:

##### 1.3.1.1 Čistý wolfram, EWP

Sám o sobě má čistý wolfram nejhorší tepelnou odolnost. Má omezené použití při svařování hliníku a hořčíku střídavým proudem. [2]

### **1.3.2 Wolfram s přídavkem thoria, EWTh-1 a EWTh-2**

Pro zlepšení kapacity vedení proudu stačí přidat až 0,6 % oxidu thoria ( $\text{ThO}_2$ ). Může se přidat 1 až 2 %, to pomáhá s vylučováním elektronů. Je to patrné na snížení potřebného napětí k udržení oblouku konkrétní délky. Thorium dále zvyšuje životnost elektrody a snižuje teplotu na její špičce, což zároveň redukuje wolframovou erozi. Elektrody jsou vhodné pro svařování ocelí a jejich slitin, slitin niklu a jiných kovů, kromě hliníku a hořčíku. [2]

### **1.3.3 Wolfram s přídavkem zirkonia, EWZr**

Podobně jako s thoriem se s přidáním oxidu zirkoničitého ( $\text{ZrO}_2$ ) usnadňuje vylučování elektronů. Podobně se zlepšují i vlastnosti elektrody, ovšem ne tak efektivně jako u thoria. Tyto elektrody mají menší kontaminaci svarové lázně než čistý wolfram a mají vynikající kvalitu svaru. Zirkonium má oproti thoriu tu výhodu, že je neradioaktivní. [2]

### **1.3.4 Wolfram s přídavkem ceria, EVCe-2**

Stejně jako thorium i oxid ceričitý ( $\text{CeO}_2$ ) zlepšuje kapacitu vedení proudu. Přibližně se přidávají 2 %  $\text{CeO}_2$ . Vyrábějí se jako náhrada za wolfram-thoriové elektrody, protože nejsou radioaktivní. Dobře spouštějí stabilní svařovací oblouk. Oproti ostatním elektrodám mají dlouhou životnost. [2]

### **1.3.5 Wolfram s přídavkem lanthanu**

Oxid lanthanitý ( $\text{La}_2\text{O}_3$ ) se přidává v množství kolem 1 % do wolframu. Není radioaktivní. Tyto elektrody mají podobné vlastnosti jako wolfram-thoriové elektrody. [2]

### **1.3.6 Nespecifikované elektrody, EWG**

Toto označení platí pro wolframové elektrody, které si výrobci upravili tak, aby splňovali jejich kritéria. [2]

## 1.4 Laserové svařování

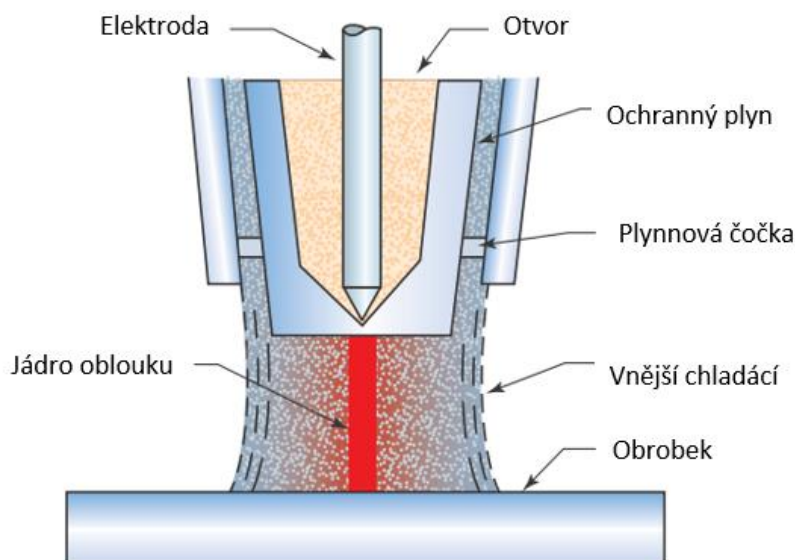
Při laserovém svařování působí vysoce koncentrovaný paprsek koherentního světla na velmi malé místo. Dochází k absorpci světelného záření a tím k přeměně světelné energie na tepelnou energii. Materiály mají minimální deformaci a velmi úzkou teplem ovlivněnou oblast. Protože ke vzniku tepla je za potřebí aby materiál absorboval světelné záření, může se svařování provádět skrz průhledné materiály. Jelikož se jedná o paprsek světla, je možné ho snadno nasměrovat i do složitějších míst, díky tomu je laserové svařování velice flexibilní.

Laserové svařování se může provádět kdekoliv, není potřeba vakuum. Svařovaný materiál nemusí být elektricky vodivý. Výsledné svary jsou malé a velice kvalitní. Nevýhodou může být rozbíhavost paprsků, díky vznikajícím výparům při svařování. Mohou se svařovat různé kovy i ty obtížně svařitelné, například wolfram, nerezové oceli, slitiny titanu, niklu, hliníku. [2]

## 1.5 Plazmové svařování

Při plazmovém svařování je zdrojem tepla plazmový paprsek, což je sloupec silně ionizovaného plynu. Je podobné obloukovému svařování netavící se elektrodou, liší se však obloukem, který je ostře zúžen chlazenou plynovou tryskou. Ochranný plyn proudí vnější plynovou tryskou a chrání svarovou lázeň. Koncentrovaný oblouk produkuje vysokou energii, díky tomu je docílena vysoká penetrace základního materiálu srovnatelná s laserovým svařováním. Další rozdíl oproti TIG svařování je umístění elektrody. Hrot elektrody je umístěn nad otvorem v trysce hořáku, což umožňuje oddělení plazmového oblouku od ochranného plynu.

Pro plazmové svařování není nutná žádná příprava a používá se méně přídavného materiálu. Lze roztavit jakékoliv známé kovy, nebo odpařit, což se používá pro mnoho svařovacích operací. Používá se na svařování uhlíkové oceli, nerez oceli a slitin hliníku, mědi a mosazi. [3]



Obrázek 4: Schéma plazmového svařování [2]

## 2 Automatizované a manuální svařování

V moderním automobilovém průmyslu se používá manuální a robotické svařování. Robotické svařování lze rozdělit na plně automatizované a polo-automatizované. Během plně automatizovaného procesu se materiály zakládají pomocí strojů bez pomoci lidského faktoru od začátku až do konce svařování. Při polo-automatizovaném svařování se díly zakládají ručně, svařovací proces vykonává robot a po jeho dokončení jsou svařené díly ručně vyndány z přípravku. V Tabulce 1. jsou uvedeny výhody a nevýhody robotického a manuálního svařování.

Tabulka 1: Porovnání robotického a manuálního svařování [4] [5]

<b>Robotické svařování</b>	
<b>Výhody</b>	<b>Nevýhody</b>
Až pětkrát rychlejší než manuální	Nutná konfigurace robota v případě drobné změny rozměrů základních materiálů.
Přesnější hoření oblouku	Konfigurace vyžaduje určitý čas
Zachovaná integrita svaru	Možná vážnější porucha zcela zastavuje výrobu
Vysoká kvalita svaru	Pořízení je nákladné
Neomezený provoz	
Produkováno méně odpadu	
Snížení výrobních nákladů	
Bezpečné	
<b>Manuální svařování</b>	
<b>Výhody</b>	<b>Nevýhody</b>
Není nutná konfigurace, svářeči mohou okamžitě pracovat.	Možné zranění elektrickým šokem, nebo vystavení toxickým výparům.
Jednoho svářeče lze snadno a rychle nahradit jiným	Pomalá výrobní rychlost
Při vyskytnutí chyby během výroby si jí svářeč všimne rychleji než robot.	Nízká míra přesnosti oproti robotickému svařování
Nevyžaduje se speciální pracoviště.	

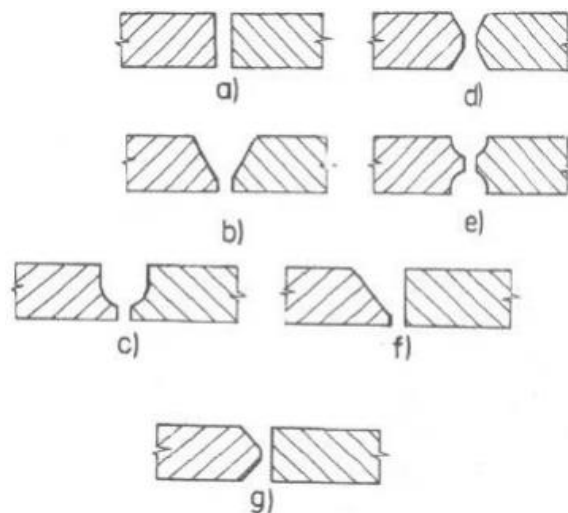
Robotické svařování je mnohem rychlejší a efektivnější oproti manuálnímu. Zároveň je bezpečnější a produkuje se méně odpadu. Ne vždy se však docílí kvalitního svaru při robotickém svařování, proto se díly často posílají na kontrolu ke svářeči, který kontroluje kvalitu svaru a v případě nízké kvality ho může ručně dovařit. [4] [5]

### 3 Typy svarových spojů

Pro spojení dvou různých materiálů se používá pět základních typů svarových spojů: tupý, koutový, přeplátovaný, rohový a lemovaný. Existují ovšem i další druhy, které jsou však od těchto základních odvozeny.

#### 3.1 Tupý svar

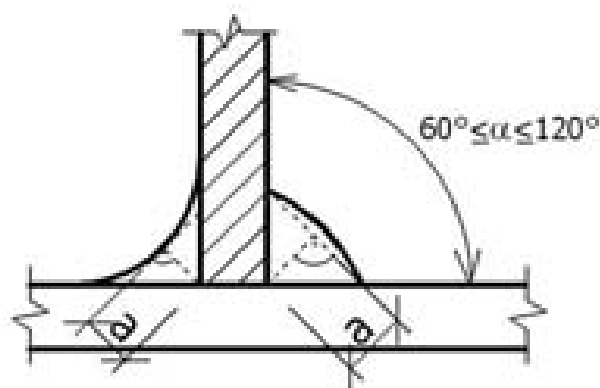
Tupý svar je běžně používaný spoj, který spočívá na principu spojení dvou materiálů, které jsou ve stejné rovině. Pro dosažení požadované kvality spoje, se používá několik variant spojení, kdy se mění tvar a případně vzdálenost mezery mezi materiály (viz Obr. 5). [6] [7]



Obrázek 5: Svary tupé: a) svar I, b) svar V, c) svar U, d) svar X, e) svar UU, f) svar 1/2 V, g) svar 1/2 X [9]

#### 3.2 Koutový svar

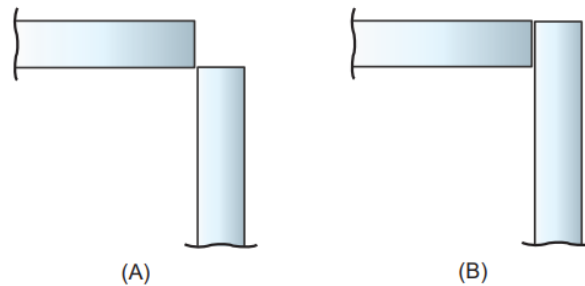
Při koutovém svaru je konec jednoho materiálu přiložen na povrch druhého materiálu. Obvykle se přikládá materiál kolmo, může se však přiložit pod úhlem v rozmezí  $60^\circ$  až  $120^\circ$  (viz Obr. 6). Svar se může provést na jedné straně, nebo na obou stranách. [6] [7]



Obrázek 6: Koutový svar [8]

### 3.3 Rohový svar

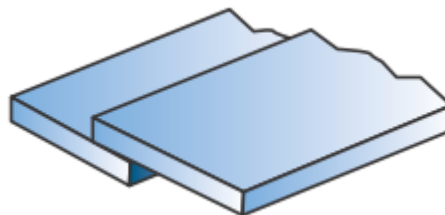
Rohový svar se velmi podobá koutovému, liší se však pozicí materiálu. V jednom případě se materiál dotýká rohy, ve druhém se rohy překrývají a tvoří písmeno L (viz Obr. 7). [6] [7]



Obrázek 7: Koutový svar: A) Dotyk rohů B) Překrytí rohů [2]

### 3.4 Překládaný svar

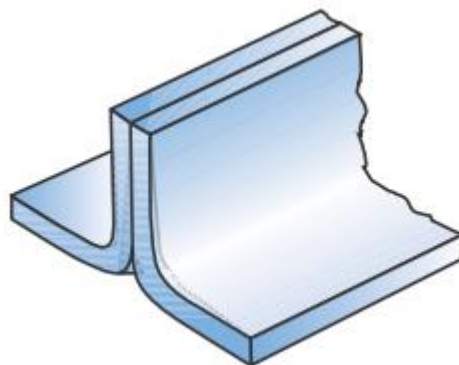
Překládaný spoj je podobný tupému svaru, ovšem rozdíl je v tom, že se materiály jsou na sebe položeny a z části se překrývají (Obr. 8). Spojení materiálů probíhá pomocí koutového svaru, kdy se svaří podél okraje materiály k sobě. [6] [7]



Obrázek 8: Překládaný spoj [2]

### 3.5 Lemovaný svar

Lemovaný svar vzniká tak, že jsou materiály umístěny tak, aby byly jejich hrany ve stejné úrovni. Materiály jsou svařeny pomocí tupého svaru na tenčí straně, kde se setkávají materiály. [6] [7]



Obrázek 9: Lemovaný spoj [2]

## 4 Svařovací parametry pro obloukové svařování v ochranné atmosféře tavící se elektrodou

### 4.1 Svařovací proud

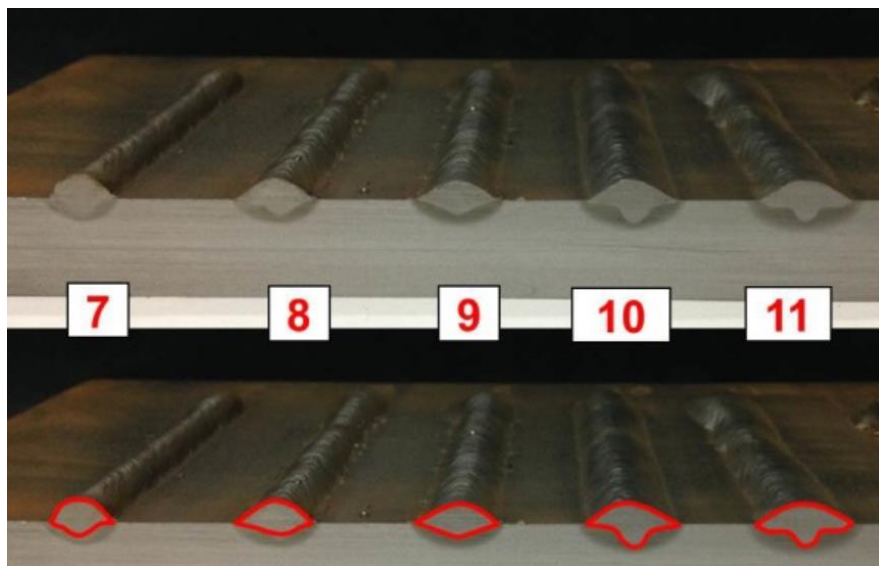
Svařovací proud nejvíce ovlivňuje průvar spoje, tvar housenky a přenos kovu do svaru. Při GMAW svařování souvisí hodnota svařovacího proudu s hodnotou rychlosti výsuvu drátu WFS (angl. Wire Feed Speed, dále jen též WFS). Při změně rychlosti výsuvu drátu, se musí změnit i hodnota svařovacího proudu, protože se vždy musí dosáhnout roztavení drátu. Tedy pokud se zvýší rychlost výsuvu drátu, musí se zvýšit i svařovací proud a naopak.

Při volbě svařovacího proudu se musí dbát na velikost zvoleného parametru. Při vysokém proudu může dojít k vysoké penetraci, nebo k propálení základního materiálu kvůli vysokému tepelnému příkonu. Naopak při zvolení příliš malé hodnoty proudu může dojít k malému provaření svaru. [3]

### 4.2 Svařovací napětí

Dalším svařovacím parametrem je svařovací napětí, které ovlivňuje délku oblouku, což je vzdálenost mezi svarovou lázní a tavícím se drátem v oblouku. Při zachování konstantních svařovacích parametrů je délka oblouku přímo ovlivněna hodnotou napětí. I při volbě hodnoty napětí se musí dbát na velikost. Příliš vysoké nebo naopak nízké napětí způsobuje nestabilitu oblouku. Zároveň příliš velké napětí způsobuje nadměrný rozstřík a pórovitost. Volba hodnoty napětí závisí na tloušťce základního materiálu, druhu svaru, velikosti a složení elektrody, složení ochranného plynu a svařovací pozici. [10] [11]

Hodnota svařovacího napětí se někdy přiřazuje na základě zvolené hodnoty WFS. Napětí se volí automaticky dle hodnoty WFS a dochází k optimalizaci hoření oblouku. Na obr. 10 je patrné, že s rostoucím napětím roste šířka a hloubka housenky a zároveň se zplošťuje. Na svarech 7 až 9 se nezměnila výrazně penetrace z důvodu konstantního proudu. Ovšem na svarech 10 až 11 je už penetrace znatelná, protože došlo k nárůstu proudu. [10]



Obrázek 10: Průřez housenkami [10]



### 4.3 Svařovací rychlost

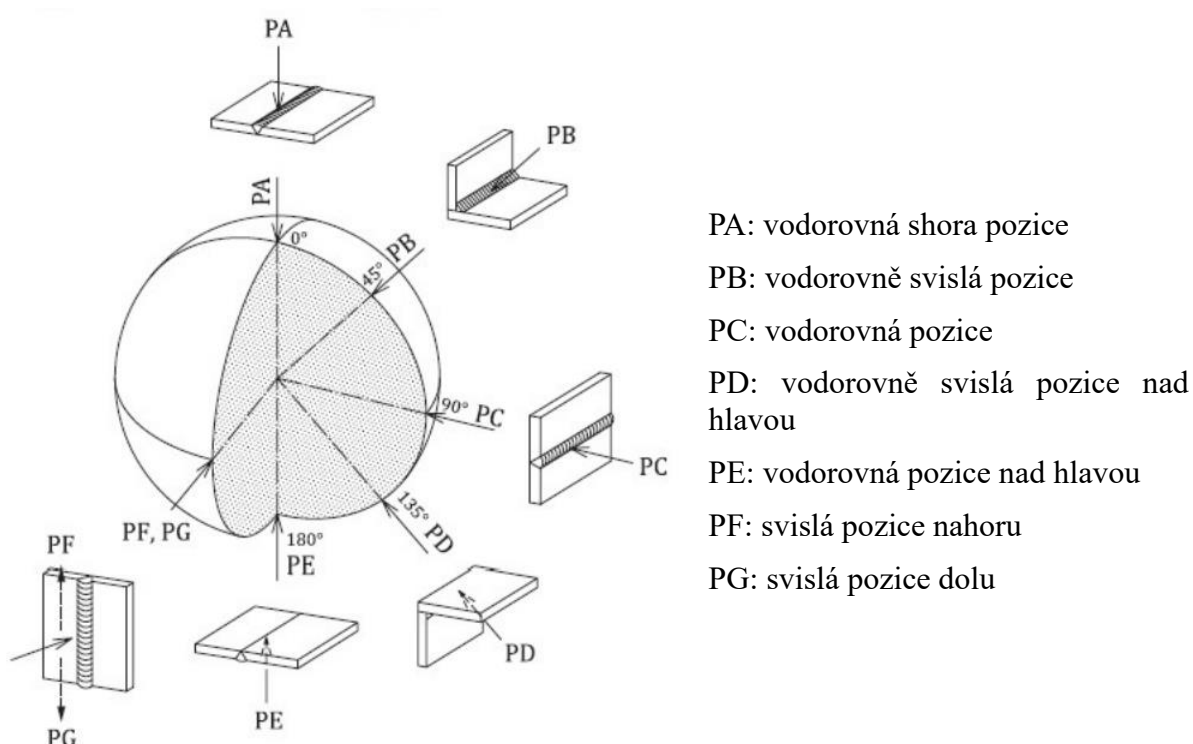
Rychlost svařování je lineární rychlost, kterou se pohybuje oblouk vůči základnímu materiálu. Při konstantních parametrech způsobuje nižší svařovací rychlost větší housenku, více vneseného tepla na základní materiál díky delší době ohřevu. To způsobuje vyšší penetraci základního materiálu. Příliš vysoká rychlost způsobuje hromadění svaru, tím i špatnou fúzi, nižší penetraci, porozitu a nerovnoměrnou housenku. Hodnota rychlosti svařování se snáze nastavuje a udržuje při automatickém nebo robotickém svařování než při ručním svařování. [10][11][16]

### 4.4 Velikost elektrody

Zvolený průměr elektrody ovlivňuje tvar a velikost svarové housenky, hloubku penetrace a také ovlivňuje svařovací rychlost. Za působení konstantního svařovacího proudu neboli WFS se stává oblouk více penetrační se zmenšujícím průměrem elektrody. Větší průměry elektrod vytvářejí širší svary, ale za to s menší penetrací. Při volbě průměru elektrody se musí brát v potaz tloušťky základního materiálu, požadovaná míra penetrace, rychlost nanášení a profil svaru a v neposlední řadě cena drátu. Běžně se používají elektrody o průměrech 0,8, 1,0, 1,2, 1,6 a 2,4 mm. Každá z nich má použitelný rozsah v závislosti na zvoleném proudu a složení drátu. [11]

### 4.5 Svařovací úhel

Základní svařovací úhly se rozdělují podle Obrázku 11.



Obrázek 11: Základní úhly svařování [19]

## 4.6 Průtok plynu

Velikost zvolené hodnoty průtoku plynu také ovlivňuje kvalitu svaru. Při příliš malém průtoku může dojít k nedokonalé ochraně svarové lázně před působením okolní atmosféry. To se snadno vyřeší zvýšením průtoku plynu. Ovšem pokud se zvolí příliš vysoký průtok může dojít k turbulentnímu toku, který může způsobit pórovitost svaru. [12]

## 4.7 Vzdálenost drátu WTP

Vzdálenost drátu od základního materiálu (angl. Wire Targeting Point, dale též jen WTP) je další z parametrů, který se dá snadno upravovat. Jedná se o vzdálenost mezi základním materiálem a špičkou drátu elektrody. Délka oblouku se mění podle stability oblouku, zvoleného proudu a základního materiálu. S měnící se délkou se také mění hodnota průvaru základního materiálu. [13]

## 4.8 Svařovací módy

Svařovací módy jsou to způsoby, kterými lze přenést rozestavený kov z elektrody přes oblouk na základní materiál. Volba metody přenosu závisí na množství a typu svařovacího proudu, velikosti a složení elektrody, druhu a tloušťce základního materiálu a na druhu použitého ochranného plynu.

### 4.8.1 Zkratový způsob

Při zkratovém způsobu přenosu kovu přijde elektroda na okamžik do kontaktu se základním materiálem a oblouk je okamžitě zkratován. V momentě, kdy dochází ke zkratu oblouku, je přenesena malá kapka roztaveného kovu do svaru. Tento proces se opakuje 20 až 200krát za sekundu, vždy když dochází k přenosu kovu do svaru. Zkratový způsob přenosu kovu na základní materiál je nejčastěji používaná metoda pro svařování v ochranné atmosféře. Používá se především na tenké materiály anebo na předem připravené tlustší materiály. Může se použít mnoho elektrod o různých průměrech a ochranných plynů, z nichž nejčastěji se používá plyn o složení 75 % argonu a 25 % CO<sub>2</sub>. [14] [2]

### 4.8.2 Kapkový přenos

Kapkový přenos využívá k přenosu svarového kovu velké kapky, které vznikají na konci elektrody. Oblouk taví konec elektrody, kde se tvoří roztavená kovová koule. Po dosažení určité velikosti nedokáže povrchové napětí kouli udržet a ta přes oblouk dostává do svaru. Nejčastěji se uplatňuje při svařování tenkých materiálů při velmi nízkém proudovém rozsahu. Metoda se však moc často nepoužívá, protože se špatně kontroluje dopad kapky do svaru. Kontrola nad dopadem se zlepšuje, pokud se použije kapkový přenos v kombinaci s pulzním přenosem kovu. Pak totiž vzniká větší svarová lázeň, do které s větší pravděpodobností přistane kapka kovu. [14] [2]

### 4.8.3 Sprchový přenos

Sprchový přenos využívá oproti jiným přenosům největších hodnot napětí a proudu. Hodnota svařovacího proudu je tak vysoká, že dochází k rychlému roztavení konce elektrody a vznikají malé kapičky. Ty se poté dostávají přes oblouk do svaru. Tato metoda má velmi malý rozstřík a používá se tam, kde je požadavek na vysokou rychlost nanášení kovu a velká penetrace základního materiálu. Jako ochranný plyn se volí argon s vysokým podílem, obvykle minimálně 80 % argonu. [14] [2]

#### **4.8.4 Pulzní svařování**

Pulzní metoda přenosu kovu využívá pulzní proud. Napájecí zdroj cykluje mezi vysokým přenosovým proudem a nízkým proudem. Při vysokém proudu dochází ke sprchovému přenosu, při nízkém proudu se přenáší kov kapkovým přenosem. Spojením těchto dvou metod se zmenšuje celkový přívod tepla do svaru. Při sprchovém přenosu je zajištěna dobrá penetrace a tavení, zatímco při kapkovém přenosu se svarová lázeň ochlazuje a zlepšuje kontrolu nad přenosem. Pulzní svařování má menší rozstřík a vyšší rychlost svařování, než se získá při zkratovém svařování. Jako ochranné plyny se používají ve stejném složení jako při sprchovém přenosu. [14] [2]

## 5 Hodnocení svarových spojů

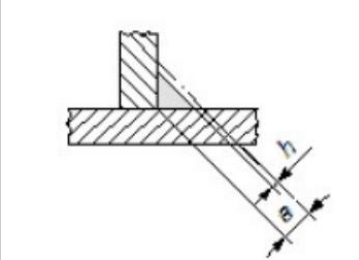
K vyhodnocení kvality svarových spojů se může použít česká technická norma ČSN EN ISO 5817. Norma se zabývá svarovými spoji oceli, niklu, titanu a jejich slitin zhotovených tavným svařováním (kromě elektronového a laserového svařování). Kvalitu svaru lze také vyhodnotit pomocí technické normy zákazníka, v tomto případě se jedná o normu TSH5603G.

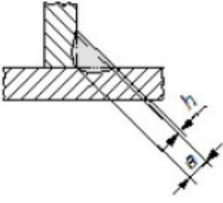
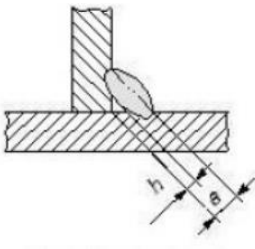
### 5.1 ČSN EN ISO 5817

V normě jsou jednotlivé vady popsány a označeny podle ISO 6520-1. K vyhodnocení se používají tři stupně kvality, které definují typické vady, které se vyskytují ve výrobě. Při volbě určitého stupně se musí vzít v úvahu konstrukční důvody, povrchové úpravy, druhy namáhání, provozní podmínky a ekonomický faktor.

V Tabulce 2. je uveden jako příklad pouze nejnižší stupeň kvality D a pouze některé typy vad které uvádí norma.

Tabulka 2: Norma ČSN ISO 5817 [17]

Referenční číslo podle ISO 6520-1	Název vady	Poznámky	T mm	Mezní hodnoty vad pro stupeň kvality
D				
<b>Povrchové vady</b>				
100	Trhlina		$\geq 0,5$	Nepřípustné
104	Kráterová trhlina		$\geq 0,5$	Nepřípustné
2017	Povrchový pór	Maximální rozměr jednotlivého póru pro: Tupé svary Koutové svary	$> 3$	$d \leq 0,3s$ $d \leq 0,3a$ Max 3 mm
401	Studený spoj		$\geq 0,5$	Nepřípustné
510	Díra		$\geq 0,5$	Nepřípustné
516	Pórovitost kořene	Porézní kořen svaru způsobený tvorbou bublin ve svarovém kovu během tuhnutí	$\geq 0,5$	Místně přípustné
5213	Podkročení velikosti koutového svaru		$> 3$	Krátké vady $h \leq 0,3 \text{ mm}$ $+0,1a$ , ale max. 2 mm

Referenční číslo podle ISO 6520-1	Název vady	Poznámky	T mm	Mezní hodnoty vad pro stupeň kvality
<b>D</b>				
5214	Překročení velikosti koutového svaru	 <p>Skutečná velikost koutového svaru je příliš velká</p>	$\geq 0,5$	Přípustné
<b>Vnitřní vady</b>				
100	Trhlina	Všechny dutiny trhlin, kromě mikrotrhlin a kráterových trhlin	$\geq 0,5$	Nepřípustné
2014	Řádek pórů	Tupé a koutové svary	$\geq 0,5$	$H \leq 0,4a$ , ale max 4 mm $l \leq a$ , ale max 75 mm
2015	Protáhlý pór	Koutové svary	$\geq 0,5$	$h \leq 0,4a$ , ale max 4 mm $l \leq a$ , ale max 75 mm
300	Pevné vměstky	Koutové svary	$\geq 0,5$	$h \leq 0,4a$ , ale max 4 mm
301	Struskové vměstky			
302	Tavidlové vměstky			
303	Oxidické vměstky			
402	Nedostatečný průvar		$\geq 0,5$	Krátká vada  $h \leq 0,4a$ , ale max. 2 mm

## 5.2 Zákaznická norma TSH5603G

Norma obsahuje požadavky kvality pro obloukové svařování automobilových částí.

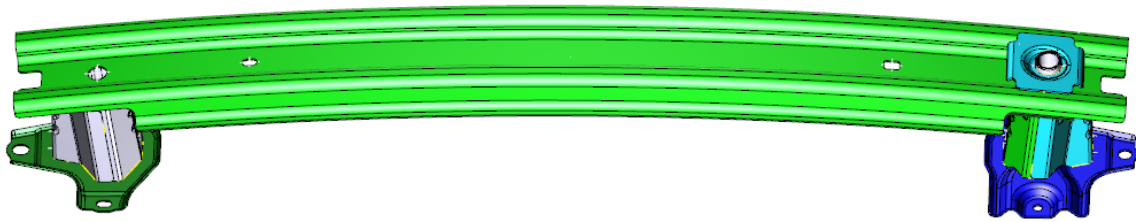
V Tabulce 3. je uveden příklad nejnižší stupeň kvality C.

Tabulka 3: Norma TSH5603G [18]

Charakteristika	Stupeň kvality C
Vzdálenost mezi kořenem svarové housenky a špičkou	Vzdálenost mezi kořenem svarové housenky a špičkou koutového svaru nesmí být kratší než 80 % tloušťky tenčího materiálu.
Velikost svaru	Nejkratší vzdálenost mezi kořenem a povrchem svarové housenky nesmí být menší než 70 % tloušťky tenčího materiálu
Délka svaru	Délka svaru na svařovaném objektu se může lišit do 20 % délky svaru uvedeném na konstrukčním výkrese.
Póry	Počet pórů o velikosti větší než 1 až 2 mm může být maximálně 10 na libovolnou 50 mm délku na svaru.
Díra	Pokud je svar větší než 50 mm, může mít maximálně jednu díru o velikosti 2 až 5 mm na délku 50 mm svaru. Pokud má svar velikost 30 až 50 mm, může mít maximálně jednu díru o velikosti 2 až 5 mm. Svary menší než 30 mm nesmí mít žádné díry větší než 2 mm.
Propal	Délka propalu může být maximálně 30 % na rozpětí 50 mm na svaru.
Šířka svaru	Délka svaru o šířce menší než 120 % tenčího materiálu může být maximálně 30 %.

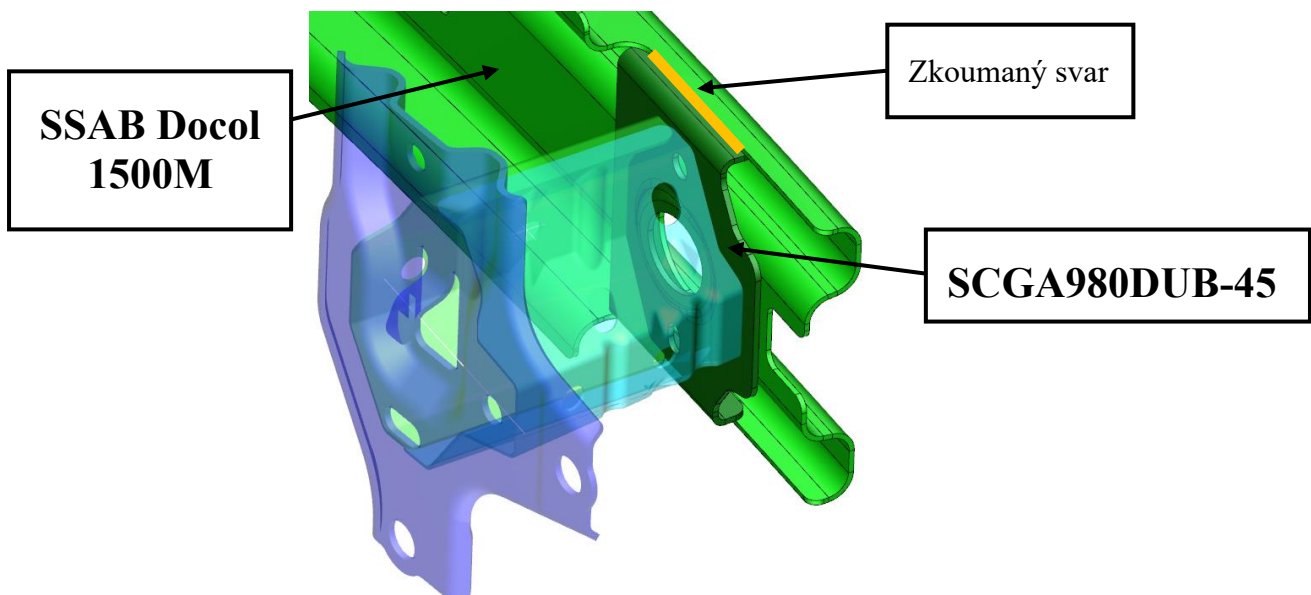
## 6 Charakteristika materiálu – praktická část

V praktické části se bude zkoumat vliv svařovacích parametrů na nárazníku zobrazeném na Obrázku 12. Celková sestava se skládá ze tří hlavních komponent, kterými jsou levá a pravá braketa, podpěry a samotný nárazník, který má na pravé straně otvor pro braketu s bushingem. V předchozí svařovací operaci byly svařeny spolu podpěry s braketami.



Obrázek 12: Celková sestava zkoumaného nárazníku

Vývoj svařovacích parametrů se bude zkoumat na přeplátovaném svaru pomocí obloukového svařování tavící se elektrodou v ochranné atmosféře. Na Obrázku 13. je zobrazen zkoumaný svar, který spojuje dohromady nárazník s označením SSAB Docol 1500M a Beam plate podpěry, který má označení SCGA980DUB-45. Získané parametry lze aplikovat i na zbývající svary, protože se také jedná o přeplátované spoje ve stejné poloze, kterou zajišťuje otočná fixtura s komponenty. Spoj má dva typy materiálů, jejichž podrobná charakteristika je uvedena v Tabulce 4.



Obrázek 13: Přeplátovaný svarový spoj

Tabulka 4: Rozměry a materiálové složení jednotlivých materiálů.

Parametry základních materiálů	SCGA980DUB-45	SSAB Docol 1500M
Tloušťka materiálu [mm]	2.0	2.0
Uhlík [%]	0.1	0.14
Křemík [%]	0.25	0.5
Mangan [%]	1.0	1.0
Fosfor [%]	0.015	0.01
Síra [%]	0.0125	0.0125
Niob [%]	0.025	0.075
Železo [%]	98.5975	96.964
Hliník [%]	-	0.055
Minimální mez pevnosti v tahu Rm (MPa)	980	1500
Minimální mez kluzu Rm	580	1220
Poměrné prodloužení	10 min	3

Pro ověření svařitelnosti se použije výpočet uhlíkového ekvivalentu:

$$C_e = C + \frac{Mn}{6} + \frac{Cr+Mo+V}{5} + \frac{Ni+Cu}{15}$$

Po dosazení chemického složení uvedené v Tabulce 3. vychází  $C_e \leq 0,45 \text{ hm } \%$ . Zároveň platí že pro oba materiály je  $C \leq 0,20 \text{ hm. } \%$  a také že tloušťka materiálu je menší než 25 mm. Není tedy potřeba žádných opatření před svařováním. Oba materiály mají vynikající svařitelnost.

Oba materiály mají pozinkovanou vrstvu, jedná se o zároveň vyžíhanou nanesenou vrstvu. Dle normy TSG3109 musí být množství nanesené pozinkové vrstvy minimálně 45 g/m<sup>2</sup>, maximálně však 65 g/m<sup>2</sup>. Dále se v normě uvádí stupeň legování, který se musí pohybovat v rozsahu koncentrace železa mezi 7 až 15 % v železo-zinkové slitině, to odpovídá fázi δ.



## 7 Svařovací parametry

### 7.1 Konstantní svařovací parametry

Podrobná volba konstantních parametrů je uvedena níže v podkapitolách a na konci kapitoly (strana 24) shrnuta do Tabulky 7. Díky robotickému svařování jsou tyto předvolené parametry zachovány během celého svařovacího procesu a je zaručena snadná opakovatelnost.

#### 7.1.1 Ochranný plyn

Jako ochranný plyn byla zvolena sloučenina argonu o složení Ar s 15-20 % CO<sub>2</sub>. Jedná se tedy o aktivní ochranný plyn. Průtok plynu byl nastaven na 16 l/min.

#### 7.1.2 Druh elektrody

Pro svařování byl zvolen jako elektroda drát OK Aristorod 12,50 o průměru 1 mm. Vlastnosti drátu jsou uvedeny detailněji normou EN ISO 14341-A: G 3Si1 a chemické složení s mechanickými vlastnostmi je uvedeno v Tabulce 5. Dle předchozí kapitoly o elektrodách odpovídá drát označení ER70S-6.

Tabulka 5: Charakteristika elektrody [21]

Elektroda	C [hm %]	Mn [hm %]	Si [hm %]	Rm [MPa]	Re [MPa]	A [%]
OK Aristorod 12,50	0,08	1,46	0,85	560	470	26

#### 7.1.3 Svařovací úhel

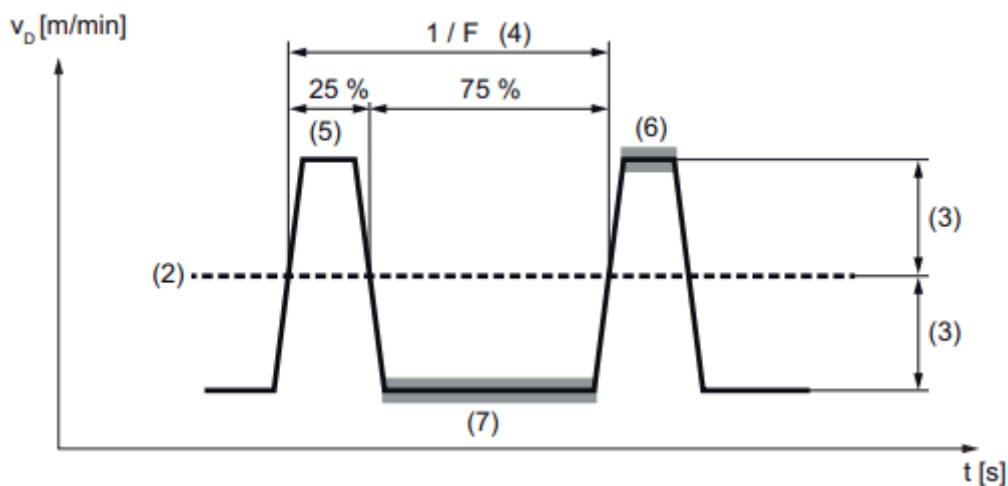
Pro svařování byl zvolen úhel PB, tedy hořák byl nastaven tak, aby svíral se základním materiálem 45°. Dále byl nastaven úhel tlačení na 0°. Trajektorie hořáku byla zachována pro všechny vzorky stejná.

### 7.1.4 Svařovací mód

Vývoj parametrů se prováděl na svářečkách značky Fronius a jako mód byl nastaven Synchron pulse. Jak již bylo zmíněno v předchozí kapitole, během pulzního svařování se svařovací výkon pohybuje mezi dvěma pracovními body a tím je zajištěn nesouvislý přívod tepla a zároveň i dobrá penetrace materiálu. Specifikace nastavení je uvedeno v Tabulce 6. a příklad pulzního svařování je na Obrázku 14. Procesní parametry, které jsou uvedené v tabulce jsou následně jako příklad zobrazeny na Obrázku 14.

Tabulka 6: Konkrétní parametry nastavené pro mód Synchron pulse[20]

Procesní parametry	Hodnota parametrů
Rychlost drátu (2)	Proměnná hodnota
Delta rychlosti drátu (3)	20.0 mm/s
Frekvence (4)	3.0 Hz
Pracovní cyklus (5)	40 %
Korekce délky oblouku v horním pracovním době (6)	-2.0
Korekce oblouku ve spodním pracovním době (7)	-2.0



Obrázek 14: Příklad módu Synchron pulse, Pracovní cyklus = 25 % [20]

### 7.1.5 Výlet drátu

Před každým svařovacím procesem byl výlet nastaven na 15 mm a přeměřen šuplerou. Je to vzdálenost od špičky elektrody k okraji hořáku.

### 7.1.6 Vzdálenost drátu WTP

Vzdálenost drátu od hrany přepřátovaného spoje byla nastavena po celou dobu na + 1 mm. Pomocí robotického svařování se tato hodnota snadno zachovala.

### 7.1.7 Svařovací pozice

Svařování se provádělo ve svislé poloze. V rámci optimalizace svarového spoje se mohlo vybrat mezi svislou a vodorovnou pozicí. Výhodou přepřátovaných spojů při vodorovné pozici zajistí kvalitnější spoje, ale pomalejší takt pracoviště. Při svařování ve svislé pozici se přináší rychlejší takt pracoviště a menší rozsah jakostní normě parametrů. S ohledem na hromadnou výrobu v automobilu se musí najít kompromis mezi časem a kvalitou. Proto byl proveden vývoj svařovacích parametrů na rychlejší variantě svařování za účelem optimalizace.

Našim výrobním podmínkám zvolené parametry vyhověly.

### 7.1.8 Shrnutí konstantních parametrů

V Tabulce 7. jsou uvedeny všechny zvolené konstantní parametry, které byly zachovány po celou dobu svařovacího procesu.

Tabulka 7: Přehled zvolených konstantních parametrů

Konstantní parametry	Nastavená hodnota
Druh svařování	Obloukové svařování tavící se elektrodou v ochranné atmosféře
Ochranný plyn	Ar s 15-20 % CO <sub>2</sub>
Druh elektrody	OK Aristorod 12,50 o průměru 1 mm.
Svařovací úhel	45°
Úhel tlačení hořáku	0°
Svařovací mód; režim	Fronius; Synchron pulse; Speciální 2takt
Výlet drátu	15 mm
Vzdálenost drátu WTP	+ 1 mm

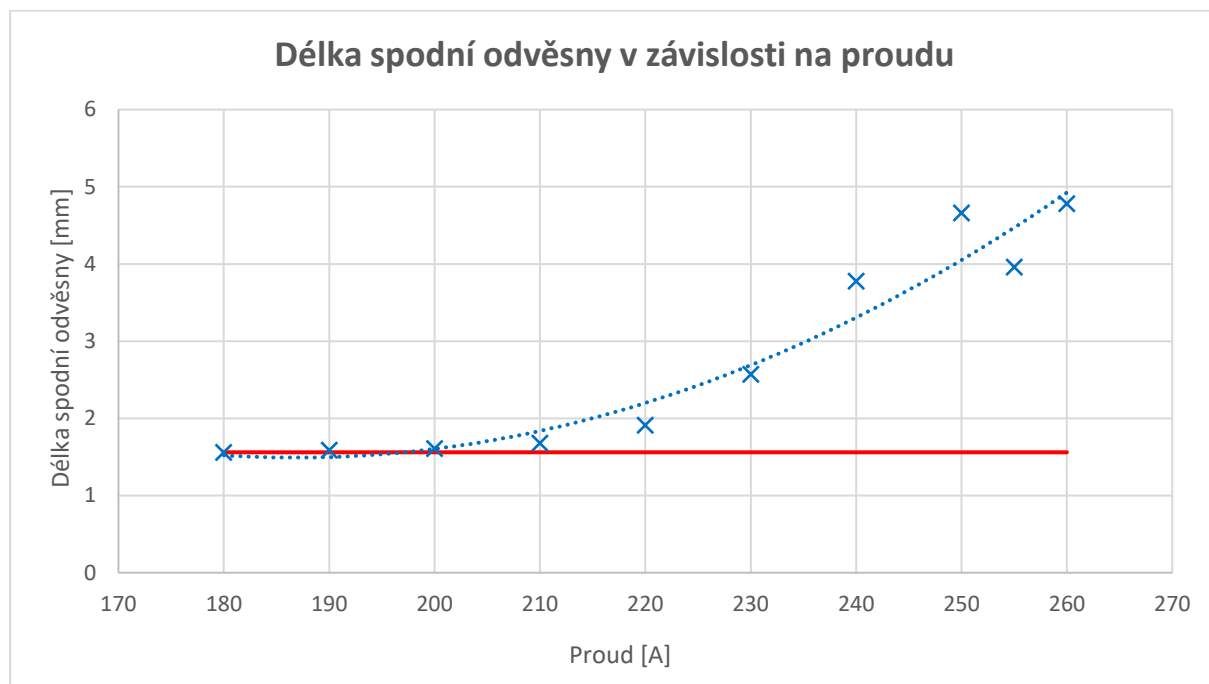
## 7.2 Proměnné svařovací parametry

Díky kontrole svaru podle zákaznické normy TSH5603G se získaly rozměry svarového spoje pro každý zkoumaný vzorek. Tyto rozměry posloužily k lepšímu vyhodnocení kvality spoje. Kontrola poskytla údaje o velikosti krycí vrstvy, velikosti průvaru a délce spodní odvěsny. Ukázka přehledu jednotlivých vzorků s jejich rozměry je na Obrázcích 28 až 30. Všechny získané rozměry byly zpracovány v podobě grafů (Obrázky 15 až 27), na kterých lze pozorovat vliv svařovacího proudu, či svařovací rychlosti na svar.

### 7.2.1 Svařovací proud

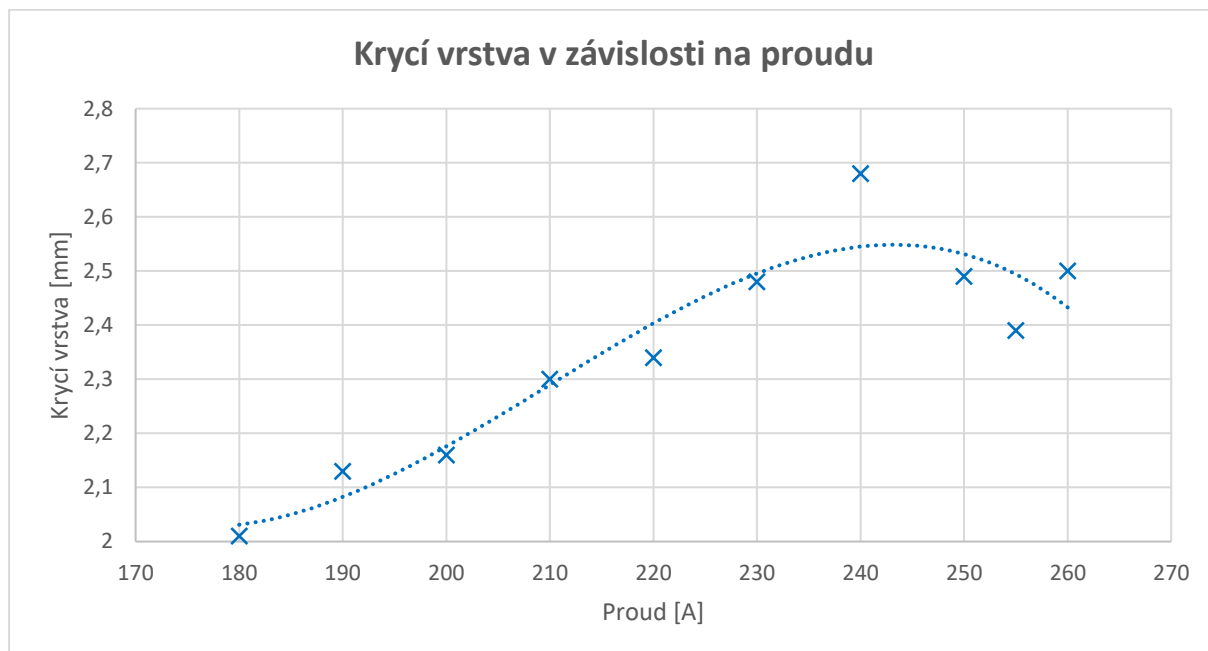
Jako první proměnný parametr se vyvíjel svařovací proud za konstantní rychlosti svařování 13 mm/s. Jako horní hranice byla stanovena hodnota 260 ampérů, protože dle nastavení výrobce je tato hodnota maximální. Poté se postupně hodnota snižovala na spodní hranici, kde, již začaly objevovat viditelné póry na povrchu svaru.

Na Obrázku 15. je znázorněna, jak se vyvíjela délka spodní odvěsny v závislosti na měnící se hodnotě proudu. S rostoucím proudem roste zároveň i množství přidaného materiálu do svaru a tím se zároveň zvětšuje délka odvěsny. Na obrázku je červenou čarou znázorněna i minimální hodnota, která musí být dle normy TSH5603G splněna. Za spodní hranici, která splňuje požadovanou normu lze považovat proud 180 ampér, který se délkou spodní odvěsny nachází přesně na minimální spodní hranici.



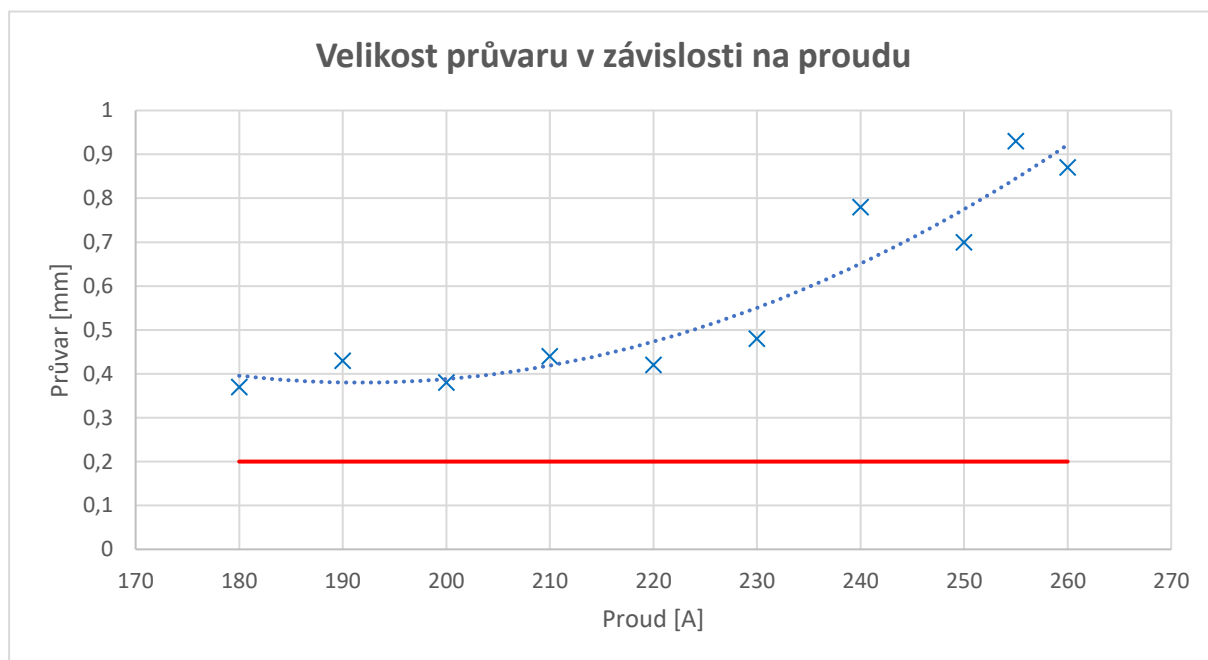
Obrázek 15: Délka spodní odvěsny v závislosti na proudu

Na Obrázku 16. je znázorněn vývoj velikosti svaru v závislosti na proudu. Dle zákaznické normy je minimální hodnota 1,4 mm, to splňují všechny parametry, a proto není na grafu znázorněna. Maximální změřená hodnota nastala při 240 ampér. Následně s rostoucí hodnotou nad 240 ampér hodnoty velikosti krycí vrstvy mírně poklesly. Pokles způsobilo nadbytečné působení tepla na svar, který nestihl ztuhnout a více se rozlil do stran, proto je velikost krycí vrstvy při maximální hodnotě nižší.



Obrázek 16: Velikost krycí vrstvy v závislosti na proudu

Na obrázku 17. je znázorněn vývoj velikosti průvaru v závislosti na proudu. Dle předpokladu v teoretické části s rostoucím proudem roste zároveň i míra průvaru materiálu. Při maximální hodnotě nedošlo k propalu materiálu. Při nejnižší hodnotě byla hodnota průvaru stále dostatečné, začaly ovšem vznikat viditelné póry na povrchu svaru.



Obrázek 17: Velikost průvaru v závislosti na proudu

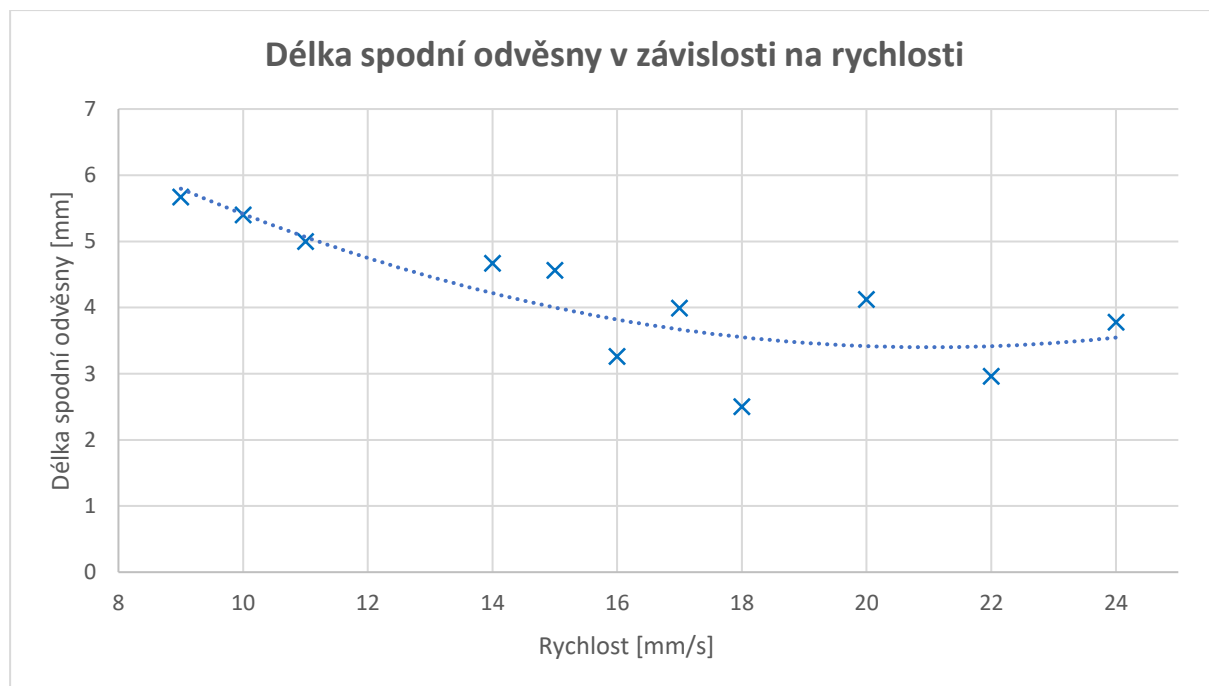
## 7.2.2 Svařovací rychlost

V předchozí kapitole bylo určeno rozmezí, ve kterém byla zkoumána svařovací rychlost. Její vývoj se bude sledovat při konstantním proudu na horní hranici 260 ampér a spodní hranici hodnoty 180 ampér. Následně se analyzoval také vývoj rychlosti i při konstantní hodnotě proudu 230 ampér, a to z důvodu, že se bude určitě nacházet v optimálním rozmezí parametrů viz Obrázek 27.

### 7.2.2.1 Výsledky při horní hranici 260 ampér

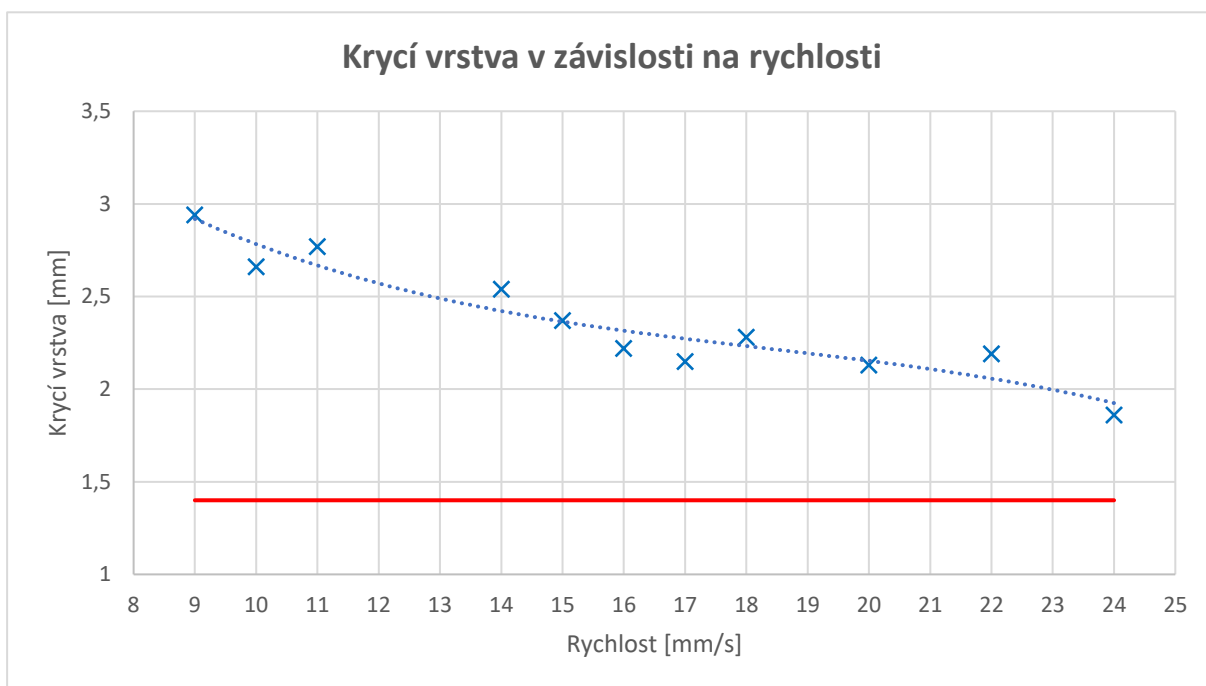
Na horní hranici působí na svar největší možný proud a při nízké rychlosti je vnášeno velké množství tepla na svar. Při rychlosti 8 mm/s byl již viditelný propal a proto se vzorek nepočítá mezi použitelné. Díky vysoké hodnotě proudu se vývoj rychlosti dostal až na 24 mm/s, dále se ovšem nepokračovalo, protože šířka svaru byla velice tenká.

Na Obrázku 18. je znázorněn vývoj délky spodní odvěšny v závislosti na rostoucí rychlosti. Podobný vývoj ostatních grafů lze očekávat i u velikosti krycí vrstvy a průvaru. Protože působila maximální hodnota proudu, všechny vzorky splňují požadovanou hodnotu dle zákaznické normy.



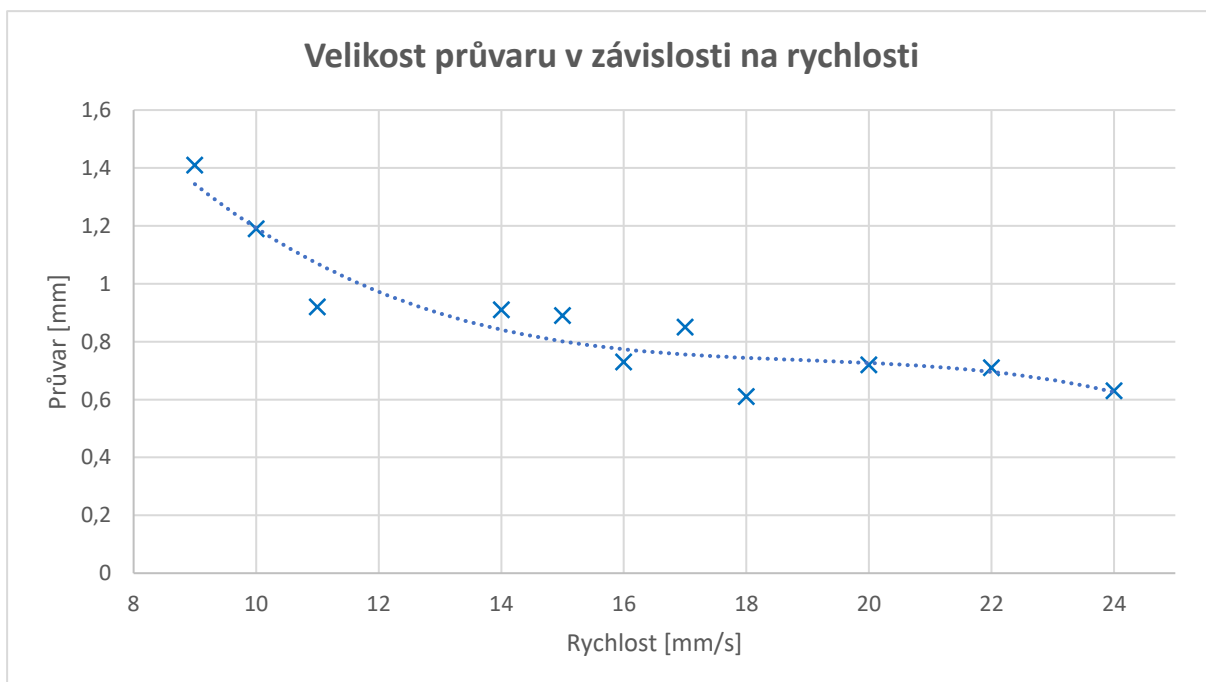
Obrázek 18: Délka spodní odvěšny v závislosti na rychlosti

Podobně jako na Obrázku 18. i na Obrázku 19. je viditelné, že s rostoucí rychlostí klesá velikost krycí vrstvy. Pokud by rychlost dále stoupala, hodnota by se postupně dostala na minimální hodnotu dle zákaznické normy. Všechny zkoumané vzorky však prošly.



Obrázek 19: Velikost krycí vrstvy v závislosti na rychlosti

Na Obrázku 20. je znázorněn vývoj velikosti průvaru v závislosti na rychlosti. Při velmi nízkých rychlostech lze pozorovat vysoké provaření materiálu, díky vysokému působení tepla při nízké rychlosti. S rostoucí rychlostí ale velikost průvaru klesá, protože se snižuje doba působení tepla na svarový spoj.



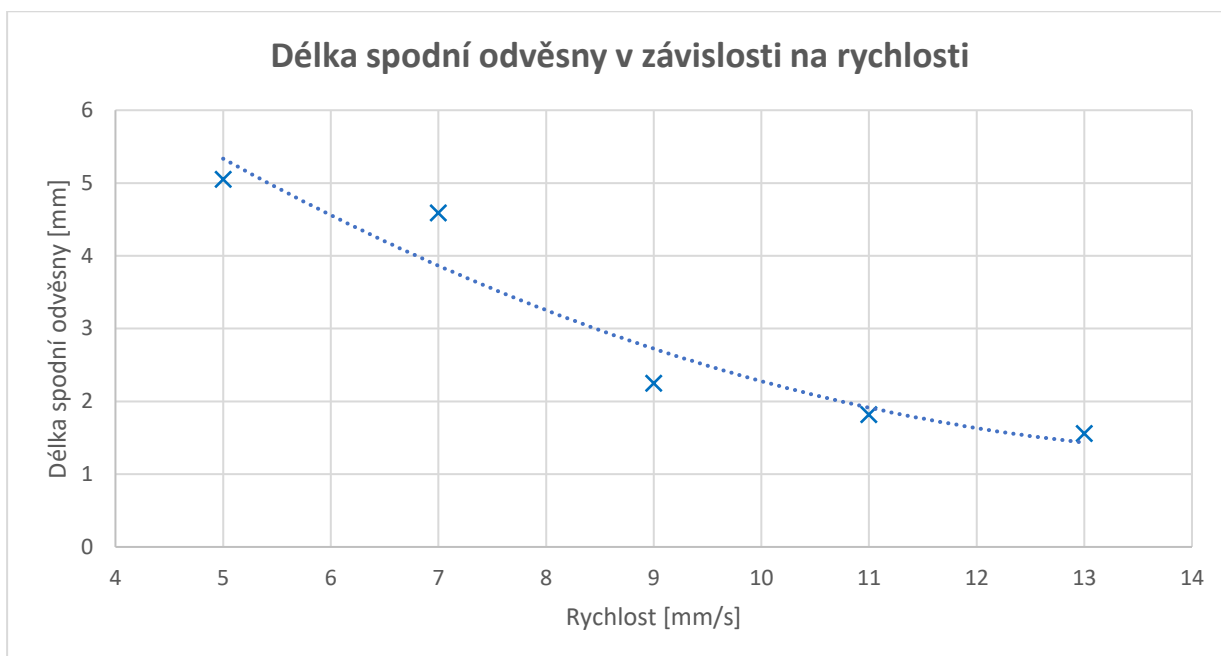
Obrázek 20: Velikost průvaru v závislosti na rychlosti

### 7.2.2.2 Výsledky při spodní hranici 180 ampér

Při vývoji rychlosti na spodní hranici 180 ampér, lze očekávat menší rozdíl mezi maximální a minimální rychlostí. Při dostatečně nízké rychlosti se i za působení nízkého proudu vytvořily kvalitní svarové spoje, které splňují požadovanou zákaznickou normu, ovšem z hlediska rychlosti výroby, je to značně neefektivní volba parametrů, kvůli příliš dlouhé době svařovacího cyklu.

Vývoj rychlosti na vyšší hodnotu se s ohledem na kvalitu spoje neprováděl. Při rychlosti 13 mm/s a s nastaveným proudem 180 ampér se již hodnoty nacházejí na spodní hranici viz Obrázek 27. V případě vyšší rychlosti by vznikl studený spoj s porozitou, který by nesplňoval zákaznickou normu.

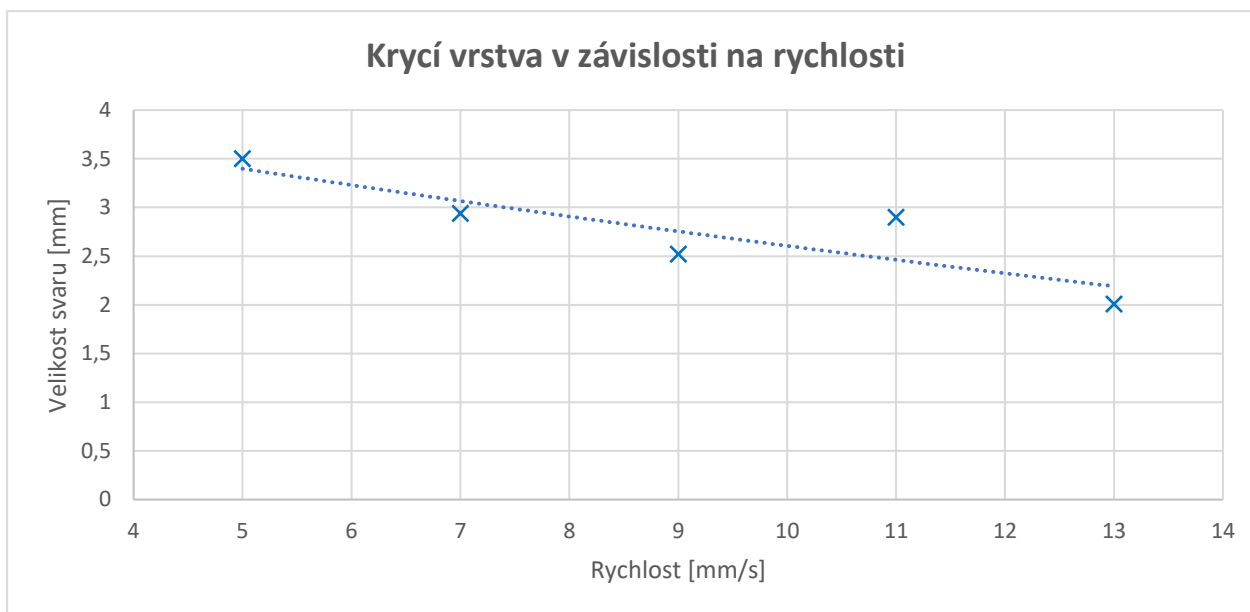
Na Obrázku 21. je znázorněn vývoj délky spodní odvěšny v závislosti na rychlosti svařování. Oproti horní hranici 260 ampér (Obrázek 18.) lze pozorovat prudší pokles ve velikosti spodní odvěšny s rostoucí teplotou.



Obrázek 21: Délka spodní odvěšny v závislosti na rychlosti



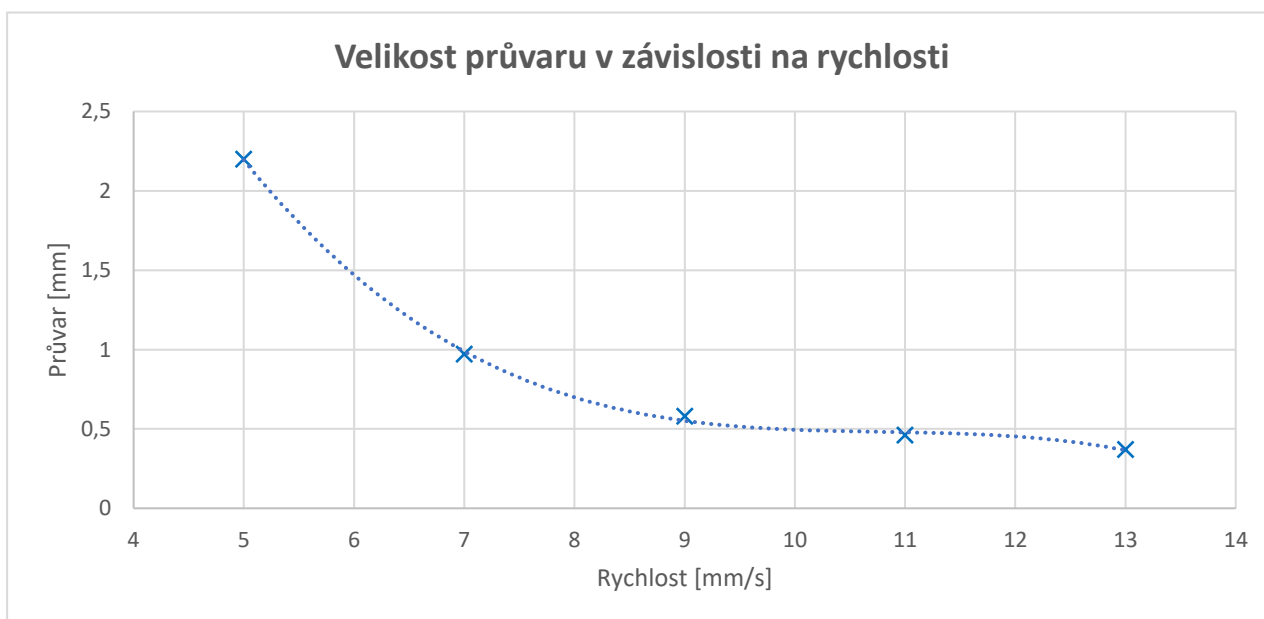
Na Obrázku 22. je znázorněna velikost krycí vrstvy v závislosti na rychlosti. Výsledné hodnoty jsou podobné jako na horní hranici, ovšem rozdíl je ve vývoji zkoumané rychlosti. Na horní hranici se hodnoty získaly na vyšší rychlosti. Například velikost svaru 2,5 mm se získala na horní hranici při rychlosti 14 mm/s, na spodní však při 9 mm/s.



Obrázek 22: Velikost krycí vrstvy v závislosti na rychlosti

Na Obrázku 23. je znázorněn vývoj velikosti průvaru v závislosti na rychlosti. Lze pozorovat prudký pokles mezi rychlostí 5 až 7 mm/s. Na rychlosti 5 mm/s byla ještě rychlost na tolik nízká, že na svar při tak nízkém proudu stále působilo dostatečné množství tepla na vznik vysoké míry průvaru.

Hodnota byla značně vyšší než při nejnižší rychlosti na horní hranici viz Obr. 20. Na rychlosti 7 mm/s je už velikost dvakrát nižší, poté se pokles zpomaluje s malými rozdíly v hodnotách.

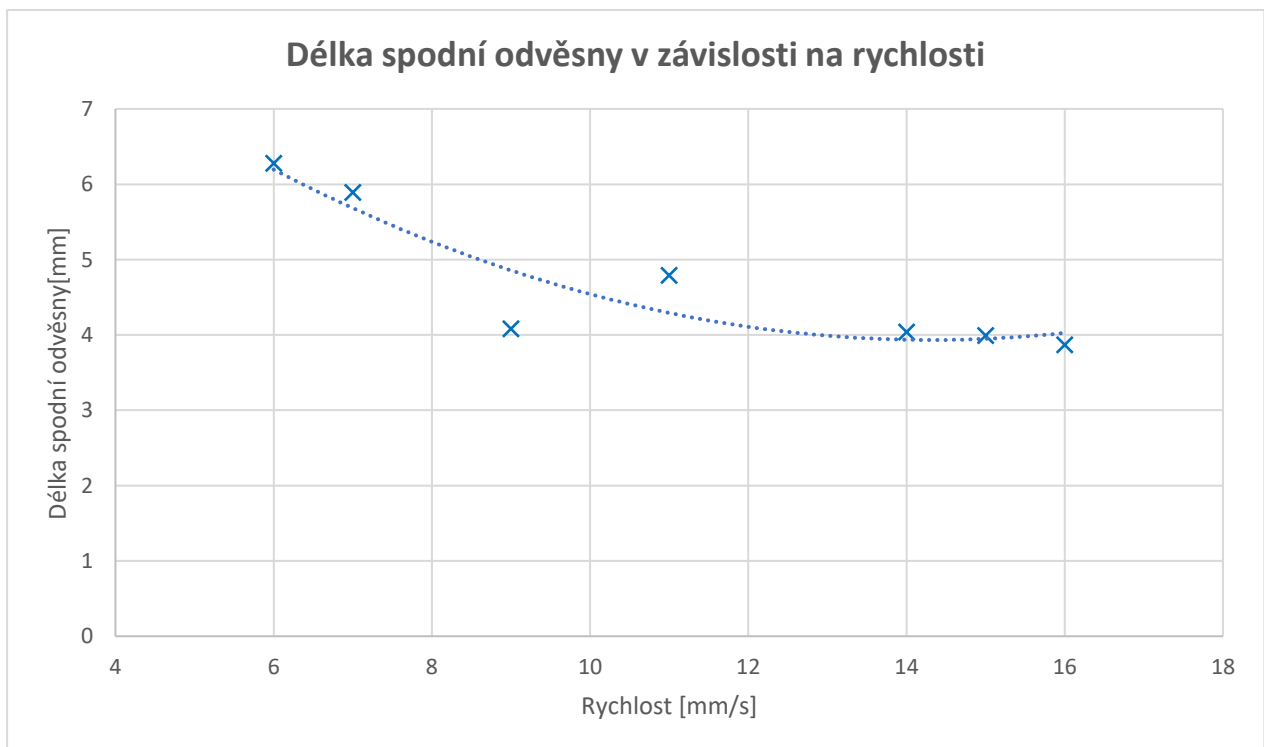


Obrázek 23: Velikost průvaru v závislosti na rychlosti

### 7.2.2.3 Výsledky při střední hranice 230 ampér

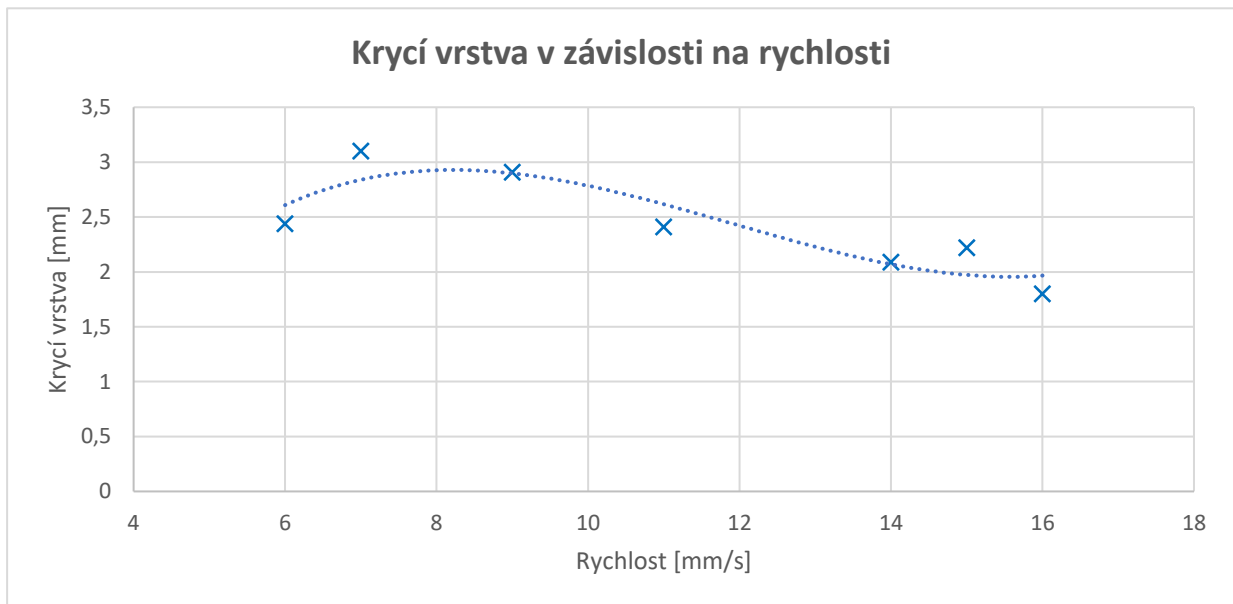
Při volbě střední hodnoty, která by zároveň mohla být i optimální parametr se vzalo v potaz, že nízké hodnoty proudu by nemusely splňovat zákaznickou normu. Proto se pro jistotu zvolila vyšší hodnota, než je aritmetický průměr, v případě, že by nízké hodnoty neprošly při makrografické kontrole.

Na Obrázku. 24 je znázorněn vývoj délky spodní odvěsny v závislosti na rychlosti svařování. Ve srovnání s hodnotami dolní a horní hranice na Obrázcích 18 a 21. lze pozorovat pozvolnější pokles. Zároveň se na nejnižších rychlostech dosahuje nejvyšších hodnot délky spodní odvěsny, protože nižší hodnota proudu snižuje roztékavost svaru, jako to je v případě horní hranice 260 ampér.



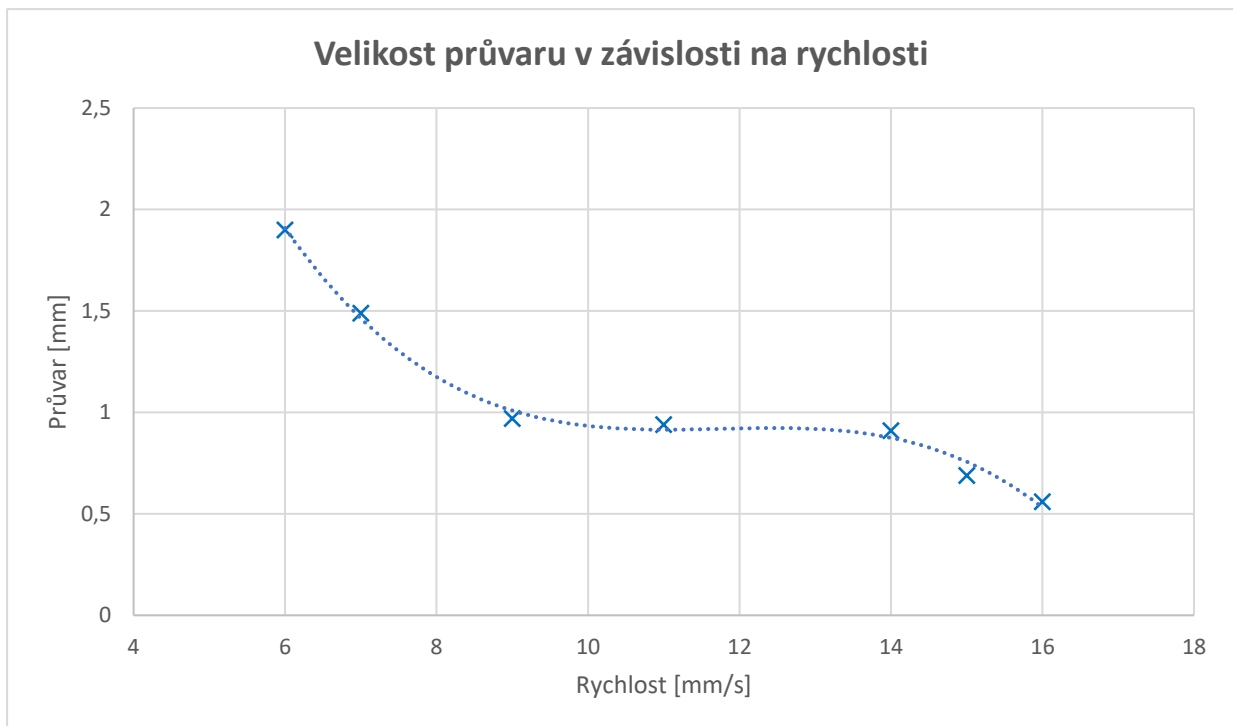
Obrázek 24: Fuse leg v závislosti na rychlosti

Na Obrázku 25. je znázorněn vývoj velikosti krycí vrstvy v závislosti na rychlosti. Nejvyšší hodnoty jsou dosaženy na nižších rychlostech, kdy působí na svar teplo delší dobu a vytváří se tak větší svar.



Obrázek 25: Velikost krycí vrstvy v závislosti na rychlosti

Na Obrázku 26. je znázorněn vývoj velikosti průvaru v závislosti na rychlosti. Podobně jako v přechozích případech na horní a spodní hranici, lze pozorovat prudký pokles s následným srovnáním. V tomto případě je viditelný i další pokles ve velikosti průvaru na vyšších rychlostech.



Obrázek 26: Velikost penetrace v závislosti na rychlosti

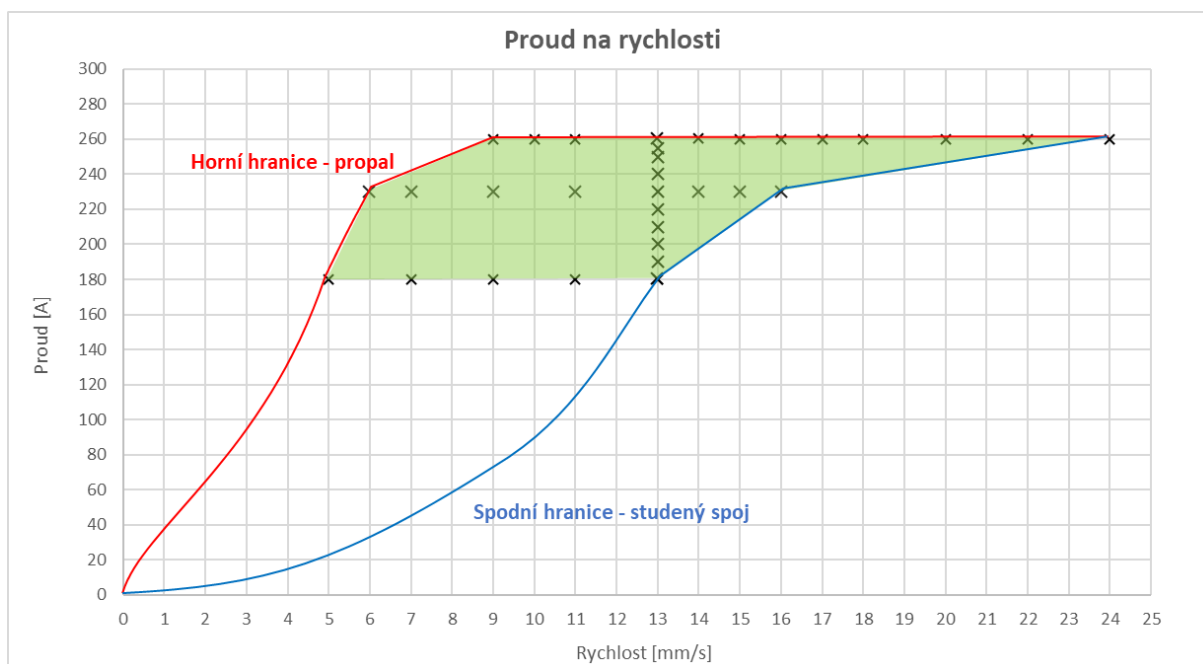
### 7.3 Vyhodnocení svařovacích parametrů

Pomocí makrografických zkoušek se získalo několik parametrů, které pomohly k výslednému vyhodnocení. Tím se získalo rozmezí svařovacích parametrů, které lze považovat za optimální parametry vhodné ke zvolení. Na Obrázku 27. jsou vyneseny všechny zkoumané vzorky s přiřazenými hodnotami proudu a rychlosti.

Za parametry vhodné ke svařování lze považovat jakoukoliv hodnotu nacházející se v zobrazené zelené oblasti, která je ohraničená křivkami značící horní a spodní hranici. Body, které se nacházejí na horní hranici, jsou hraniční body, jejichž parametry se stále dají považovat za vyhovující. Pokud by se použily parametry nacházející se nad horní hranicí, je velké riziko vzniku propalu, či nadměrné penetrace základního materiálu. Na spodní hranici se mohou také hraniční body považovat stále za vyhovující parametry. Pokud by se nastavily ale hodnoty nižší, než je spodní hranice, vznikl by studený spoj s malou penetrací a porozitou.

Svařovat by se dalo i parametry, které se nenacházejí v zelené oblasti a jsou mezi horní a spodní hranicí. Například pokud by se svařovalo dostatečně dlouho, kvalitní svarový spoj by vznikl i při hodnotách blízkých se k nule. V automotive průmyslu se však klade velký důraz na rychlost výroby a na kvalitě. Proto by se nevyplatilo při hromadné výrobě svařovat pomalou rychlostí i přesto, že by se získal kvalitní svarový spoj. Pokud by se výroba měla soustředit pouze na počet vyrobených kusů, dá se použít i vysoká svařovací rychlost, až 24 mm/s, ale parametry se pohybují velmi blízko k horní i spodní hranici. Makrografické hodnoty navíc při vysoké rychlosti vyšly navíc hůře ve srovnání s nižší rychlostí. Protože se jedná o destruktivní prvek automobilu, je zapotřebí vždy získat kvalitní svarový spoj s co nejlepšími vlastnostmi. Z toho důvodu je nejlepší volba vzorek ze středu zelené oblasti. Tomu odpovídají například hodnoty 230 ampér a 13 mm/s.

Pro kontrolu zvolených parametrů, se podrobily metalografickým zkouškám vzorky s parametry nacházející se na horní a spodní hranici a ze středu zelené oblasti.



Obrázek 27: Proud na rychlosti

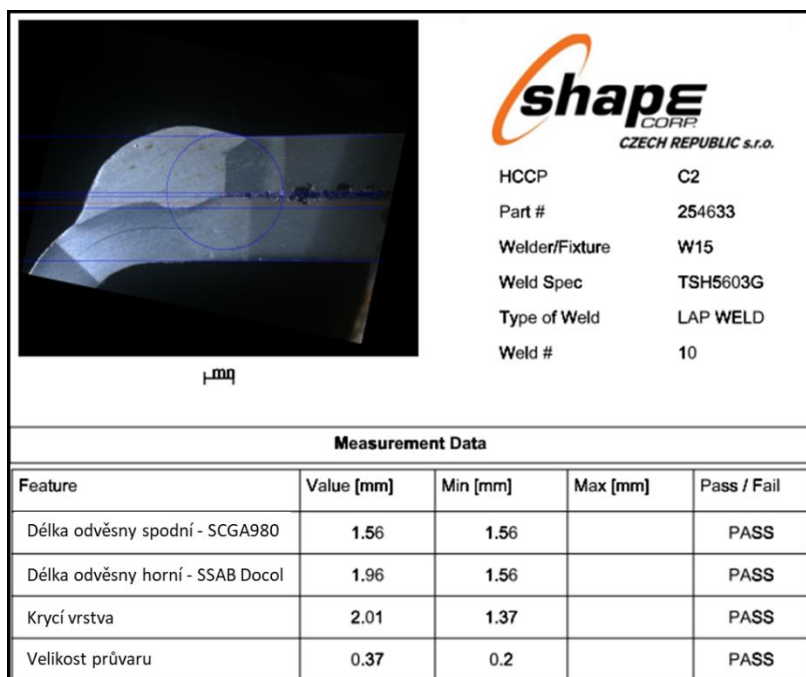
## 8 Metalografické vyhodnocení parametrů

V níže uvedených podkapitolách jsou uvedeny výsledky makrografie, tvrdosti a mikrografie vzorků z horní a spodní hranice a ze středu zelené oblasti. Makrografické měření byla provedena na všech zhotovených vzorcích a s hodnotami se pracovalo v předešlé kapitole: 8.2 Proměnné svařovací parametry. V této kapitole jsou makrografické měření pouze uvedeny pro zkoumané vzorky a stručně popsány. Mikrografie a tvrdost se zkoumala pouze na výše zmíněných třech vzorcích.

### 8.1.1.1 Makrografie

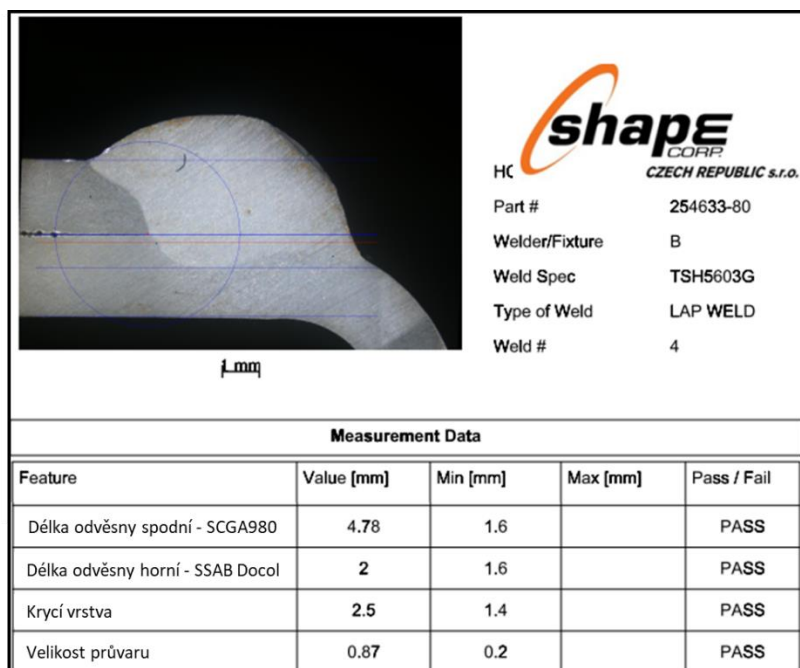
Výsledky z měření makrografie jsou zobrazeny na Obrázcích 28 až 30. Na každém vzorku je změřena míra rozměrů svaru a vyhodnocena, zda splňuje rozměry požadované normou TSH5603G.

Hodnoty pro spodní hranici jsou zobrazeny na Obrázku 28. Jak je patrné z míry délky spodní odvěsny, jedná se skutečně o hraniční vzorek, který splňuje hraniční požadavky normy. Zbylé naměřené rozměry svaru ostatní minimální hodnoty dostatečně splňují.



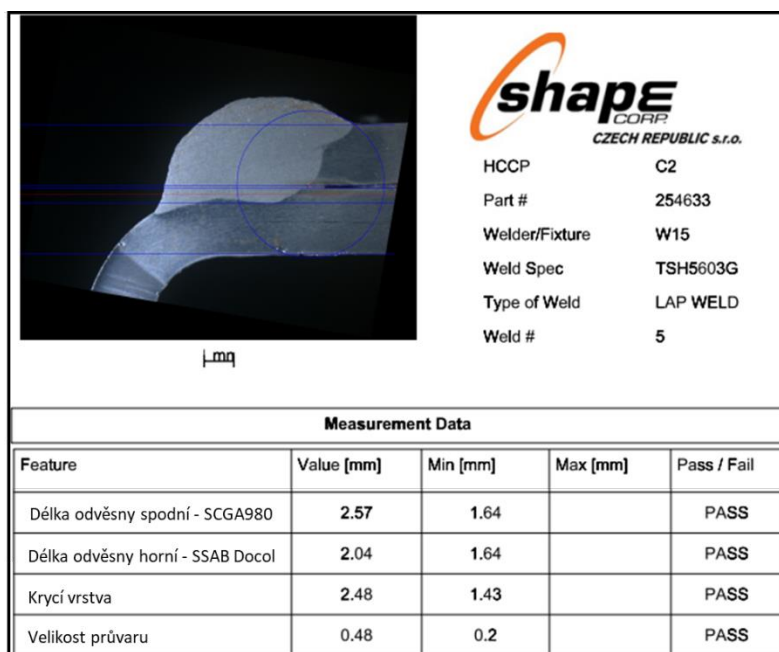
Obrázek 28: Makrografie spodní hranice 180 A, 13 mm/s

Horní hranice, která je na Obrázku 29. převyšuje výrazně všechny minimální požadavky normy. Při srovnání se spodní hranicí, lze pozorovat výrazně větší délka spodní odvěšny a velikost průvaru.



Obrázek 29: Makrografie horní hranice 260 A, 13 mm/s

Výsledky měření vzorku ze střední oblasti jsou zobrazeny na Obrázku 30. Oproti horní hranici je znatelný pokles v délce spodní odvěšny a velikosti průvaru. Velikost krycí vrstvy zůstala téměř nezměněna.



Obrázek 30: Makrografie střední hodnoty 230 A, 13 mm/s

### 8.1.1.2 Tvrdość

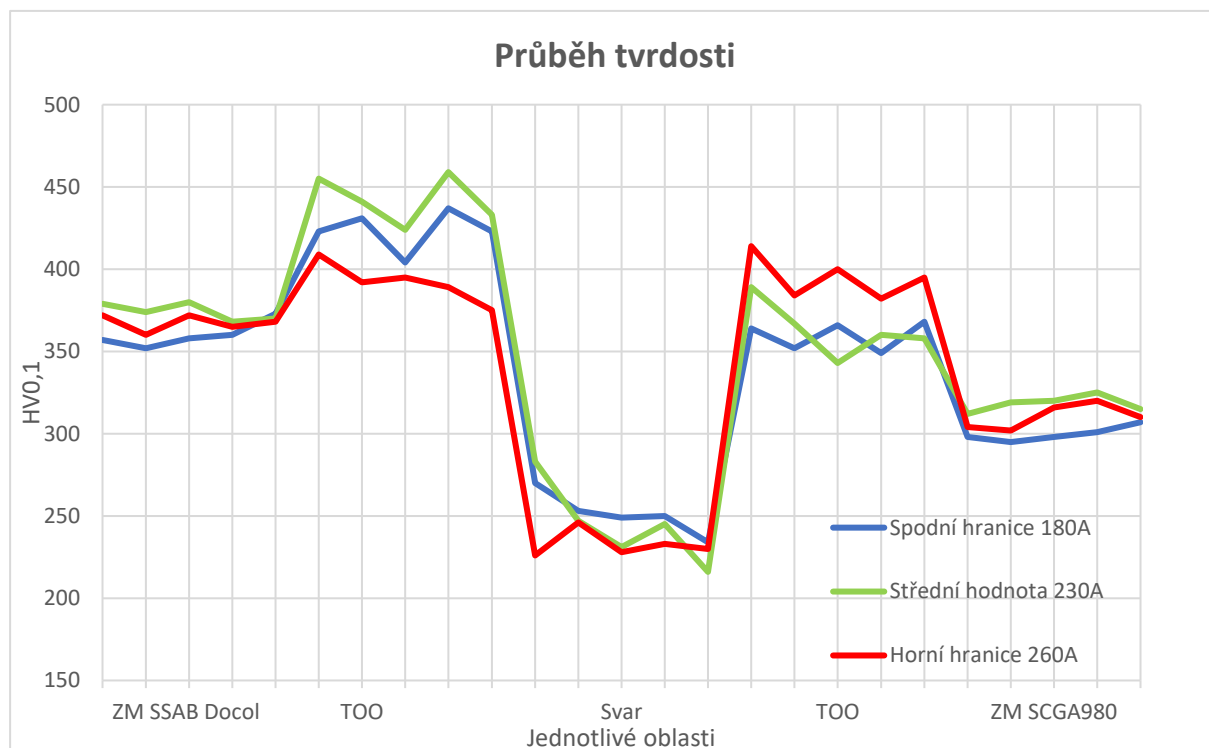
Měření tvrdosti proběhlo na již naleptaném povrchu metodou HV0,1. Na všech vzorcích se zkoumala tvrdost základních materiálů, v teplem ovlivněných oblastech a v samotném svaru. V každé této oblasti bylo provedeno 5 vtisků.

Tvrdość základního materiálu SSBA Docol 1500M byla  $367,2 \pm 8$  HV0,1. Naměřená tvrdost u základní materiálu SCGA980DUB-45 byla  $310,7 \pm 12$  HV0,1.

Na Obrázku 31. je znázorněn průběh tvrdosti pro jednotlivé vzorky. Naměřené hodnoty u základních materiálů se mírně liší i přesto, že nebyly výrazně ovlivněny působením tepla při svařování. Tyto menší rozdíly mohou být způsobeny předchozími výrobními operacemi jako je ohýbáním plechu, případně možnému působení tepla, při řezání plazmou.

Nejmenší změřená tvrdost je pro všechny vzorky ve svaru. Nejvyšší naměřené tvrdosti byly dosaženy v TOO mezi základním materiálem SSAB Docol a svarovým kovem. Nejvyšší tvrdost měl vzorek ze střední oblasti.

Ve druhé TOO mezi svarovým kovem a základním materiálem SCGA980 byla nejvyšší tvrdost dosažena u vzorku z horní hranice. Ostatní dva vzorky mají v této oblasti podobnou míru tvrdosti.

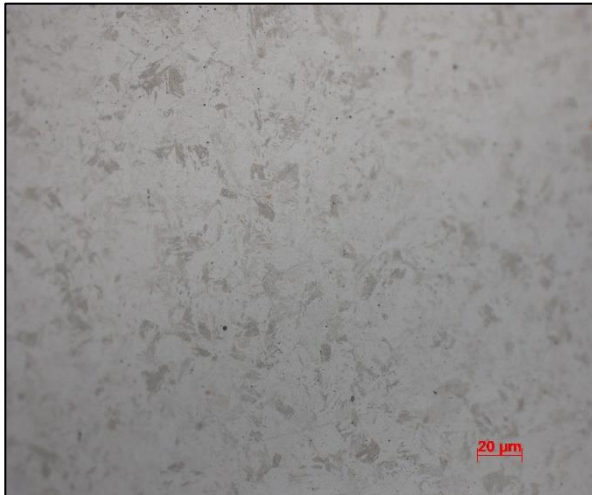


Obrázek 31: Průběh tvrdosti

### 8.1.1.3 Mikrostruktura

Všechny vzorky byly leptány roztokem nital 3% po dobu 8 sekund. Následně opláchnuty lihem a vloženy do ultrazvukové čističky.

Základní materiál nárazníku SSBA Docol 1500M má martenzitickou strukturu a materiál SCGA980DUB-45 beam platu má strukturu feriticko-perlitickou. Oba materiály jsou podeutektoidní ocele. Jejich struktura je zobrazena na Obrázcích 32 a 33.



Obrázek 32: Struktura ZM SSBA Docol 1500M, x500



Obrázek 33: Struktura SCGA980DUB-45, x500

Na následujících obrázcích je zobrazen vždy přehled snímků a následně snímky struktur ve svarovém spoji pro jednotlivé vzorky. Na přehledu snímků jsou zobrazeny oblasti, ze kterých se snímky pořizovaly.

Jako první snímek je vždy uvedena hranice ztavení svarového kovu s ZM SCGA980DUB-45. U žádného vzorku není přítomna trhlina a lze pozorovat přechod struktury z teplem ovlivněné oblasti do svaru (Obrázky 35, 40, 45). V TOO je vidět hrubá feriticko-perlitická struktura.

Výsledná struktura svarového kovu je pro všechny vzorky feriticko-perlitická (Obrázky 36, 41, 46).

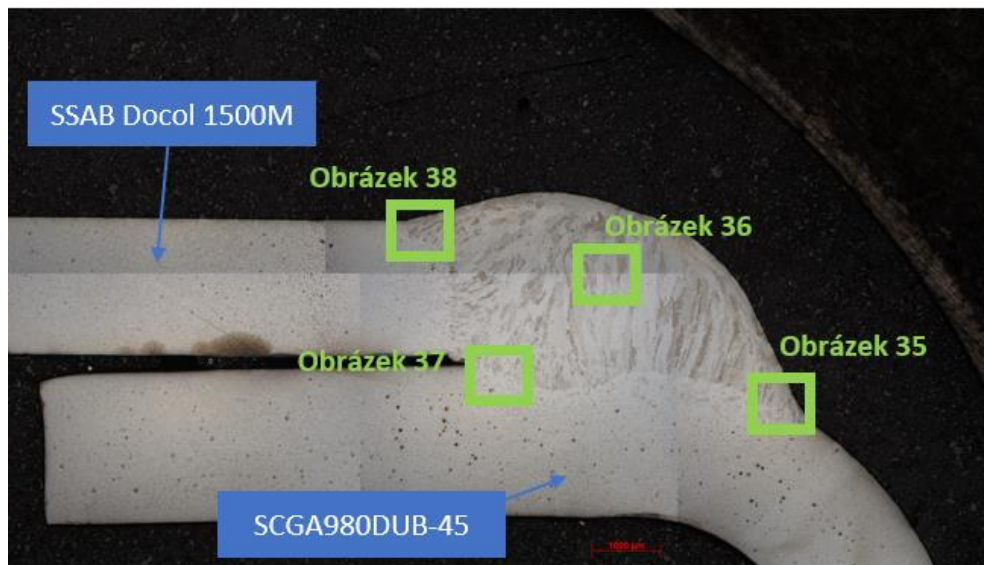
U snímků z oblasti kořene svarového kovu je viditelný vliv rozdílného svařovacího proudu (Obrázky 37, 42, 47). S vyšším svařovacím proudem se zároveň zvyšovala míra provaření a tím se měnila i hrubost struktury. U vzorku z horní hranice se na hranici svarového kovu a ZM SCGA980DUB-45 vytvořila trhlina (Obrázek 47.)

Na hranici ztavení svarového kovu se ZM SSBA Docol 1500M je viditelný přechod z martenzitické struktury do svarového kovu. Na žádném vzorku se na hranici ztavení nevyskytuje trhlina.

Dle všech snímků z mikrostruktury jsou všechny zkoumané prvky vyhovující. U horní hranice se objevila trhlina, ta však není výrazně velká. Jak u horní, tak i spodní hranice se počítá s případnými možnými nálezy trhlin, případně porů.



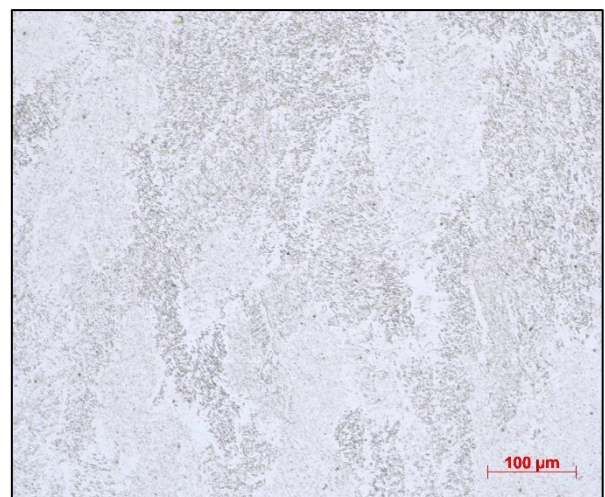
- Spodní hanice 180 A, 13 mm/s



Obrázek 34: Přehled snímků



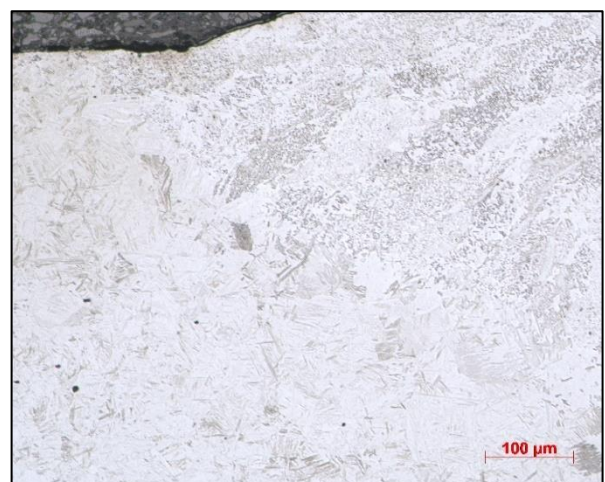
Obrázek 35: Hranice ztavení svařový kov a SCGA980, x200



Obrázek 36: Svařový kov, x200

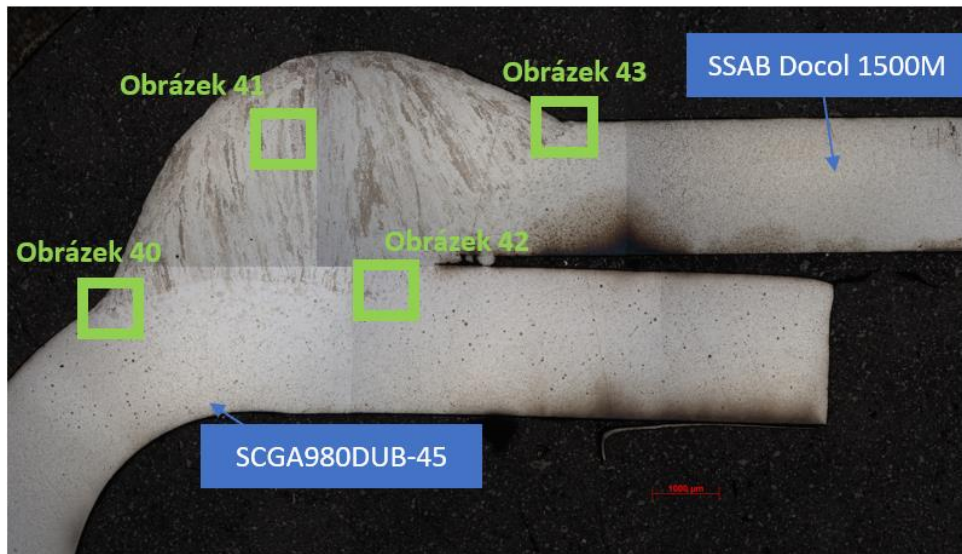


Obrázek 37: Kořen svařového kovu, x200



Obrázek 38: Hranice ztavení: svařový kov a SSBA Docol, x200

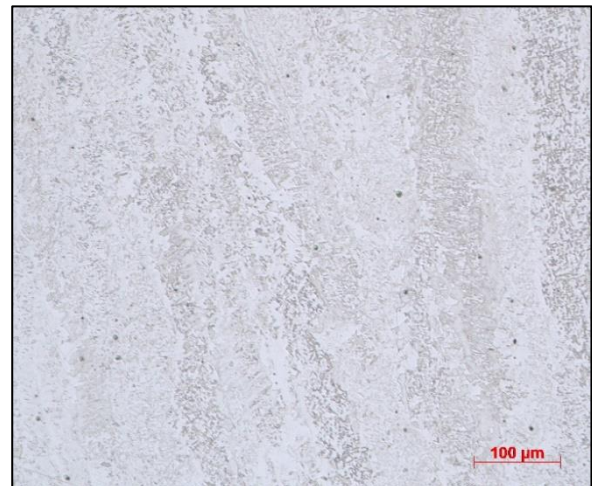
- Střední hodnota 230 A, 13 mm/s



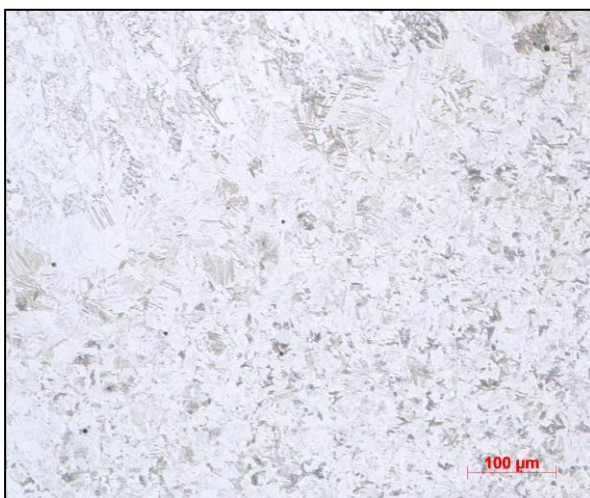
Obrázek 39: Přehled snímků



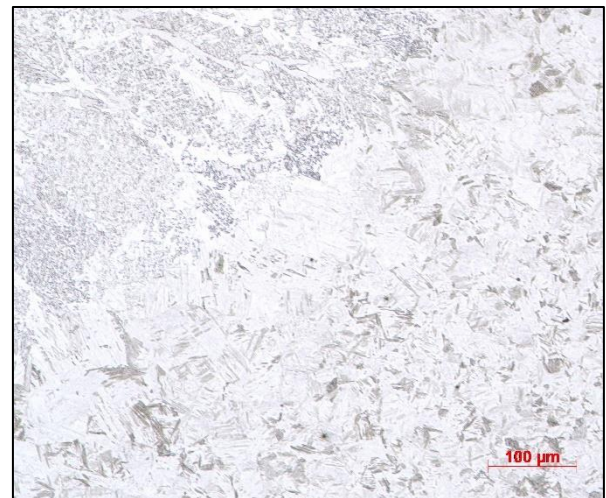
Obrázek 40: Hranice ztavení svarový kov a SCGA980, x200



Obrázek 41: Svarový kov, x200

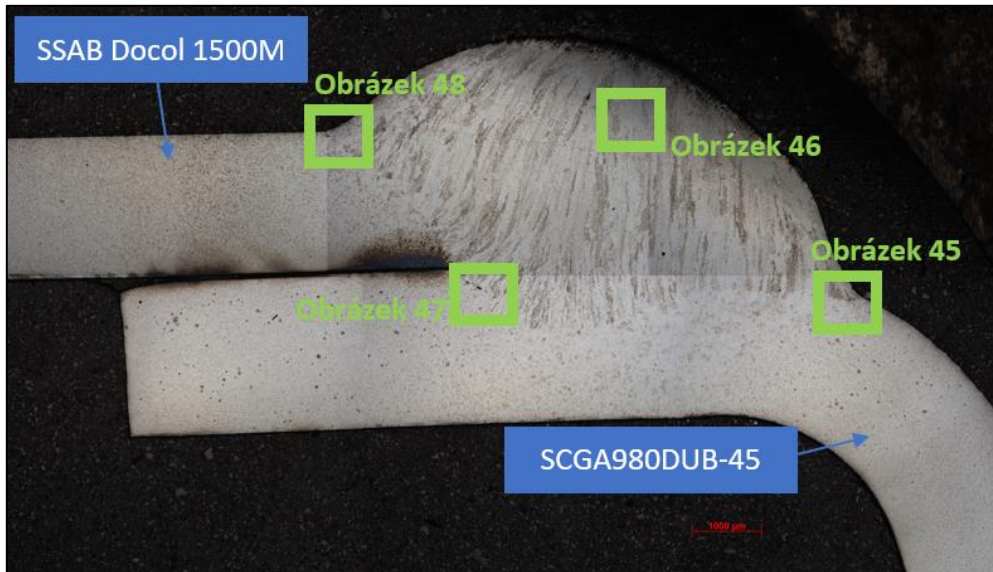


Obrázek 42: Kořen svarového kovu, x200

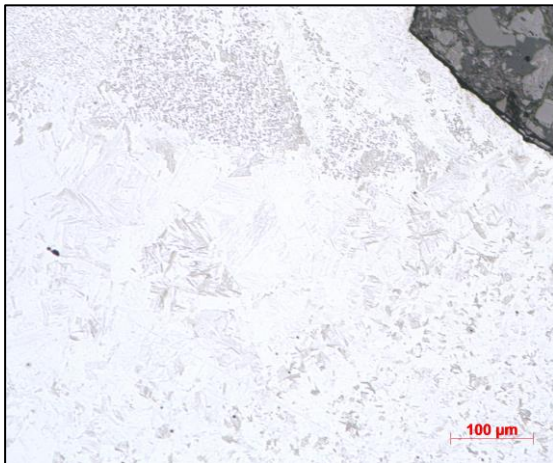


Obrázek 43: Hranice ztavení: svarový kov a SSBA Docol, x200

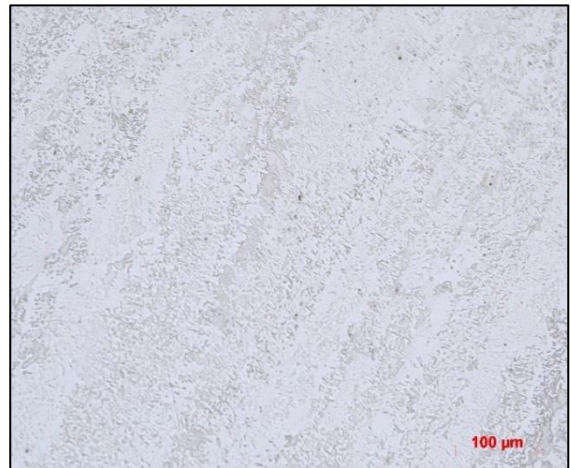
- Horní hranice 260 A, 13 mm/s



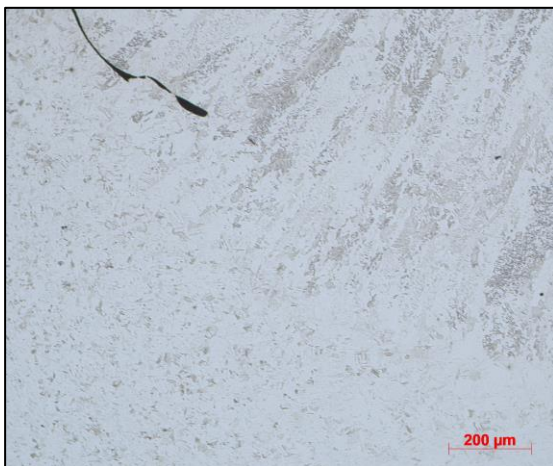
Obrázek 44: Přehled snímků



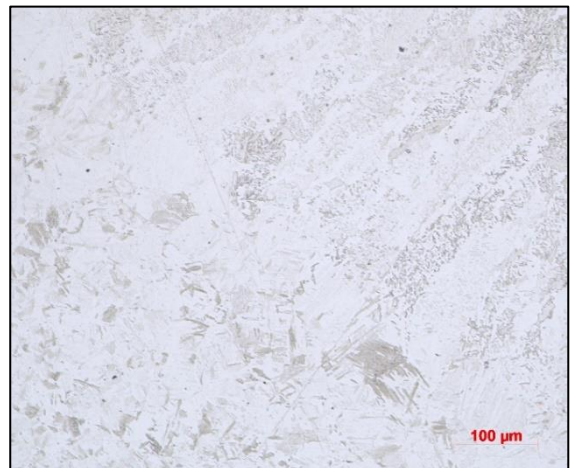
Obrázek 45: Hranice ztavení svarový kov a SCGA980, x200



Obrázek 46: Svarový kov, x200



Obrázek 47: Kořen svarového kovu, x100



Obrázek 48: Hranice ztavení: svarový kov a SSBA Docol, x200

## 9 Závěr

V teoretické části byly uvedeny hlavní metody svařování, které se běžně používají v automobilovém průmyslu. Pro obloukové svařování v ochranné atmosféře tavící se elektrodou byly uvedeny používané ochranné plyny a druhy elektrod. Následně se porovnaly výhody a nevýhody robotického a manuálního svařování. Poté se práce zaměřila na svařovací parametry. Byl popsán vliv konstantních i nekonstantních parametrů při obloukovém svařování na svar. Na konci teoretické části byly uvedeny normy, které byly použity v praktické části.

V praktické části byly charakterizovány vlastnosti základních materiálů, jejich chemické složení a svařitelnost. Následně byl uveden přehled všech zvolených konstantních parametrů, které byly zachovány po celou dobu svařovacího cyklu. Poté byl zkoumán vývoj svařovacího proudu za konstantní rychlosti a jeho vliv na svarový spoj. Byla nalezena horní a spodní hranice pro svařovací proud, která posloužila jako základ pro další vývoj, kterým byl vliv svařovací rychlosti na svarový spoj, za konstantního proudu. Vliv svařovací rychlosti byl zkoumán na horní a spodní hranici a také na středně zvolené hodnotě svařovacího proudu. Vývojem těch parametrů se získalo optimální rozhraní, ze kterého se mohou navolit vyhovující parametry, které splňují požadovanou zákaznickou normu.

V automotive průmyslu se klade velký důraz jak na jakost produktu, tak zároveň i na jeho rychlost výroby. K volbě konečných svařovacích parametrů poslouží právě zjištěné rozmezí vhodných svařovacích parametrů, ze kterého se mohou navolit vyhovující rychlosti a hodnoty svařovacího proudu. Při potřebě zvýšení produkce, se může snadno navolit vyšší rychlost s vhodně přiřazenou hodnotou proudu a to při zachování vyhovující výsledné jakosti výrobku. Pro produktivní svařování byly výrobní parametry nastaveny na svařovací proud 240 ampér a svařovací rychlost na 15 mm/s.

Výsledný deformační prvek automobilu se skládá z několika součástí, pro které nelze použít zde zjištěné parametry. Pro optimalizování celého výrobního procesu deformačního prvku, je zapotřebí provést stejný vývoj parametrů i pro ostatní svary na součásti. Následně je třeba znovu vyhodnotit a zvolit ideální parametr pro produktivní svařování.

## 10 Zdroje

- [1] VILEKAR, Aniruddha R. Welding & The Automobile Sector. In: *Engmag.in* [online]. Aniruddha R. Vilekar, 2018 [cit. 2020-11-28]. Dostupné z: <https://engmag.in/welding-the-automobile-sector/>
- [2] JEFFUS, Larry F. *Welding and Metal Fabrication*. Clifton Park: Cengage Learning, 2012. ISBN 978-1-4180-1374-5.
- [3] PLASMA WELDING: THE HIGHEST LEVEL OF QUALITY. In: *Fronius.com* [online]. [cit. 2020-11-28]. Dostupné z: <https://www.fronius.com/en/welding-technology/our-expertise/welding-processes/plasma>
- [4] REED, Brian. ROBOTIC VS. MANUAL WELDING. In: *Fairlawntool.com* [online]. Fairlawn Tool, 2018 [cit. 2020-11-28]. Dostupné z: <https://www.fairlawntool.com/blog/robotic-vs-manual-welding/>
- [5] Top 10 Advantages of Robotic Welding. In: *Scottautomation.com* [online]. 2017 [cit. 2020-11-28]. Dostupné z: <https://www.scottautomation.com/news/articles/top-10-advantages-of-robotic-welding/>
- [6] Types Of Welding Joints. In: *Weldingis.com* [online]. 2020 [cit. 2020-11-28]. Dostupné z: [https://www.weldingis.com/types-of-welding-joints/#1\\_Butt\\_Joint](https://www.weldingis.com/types-of-welding-joints/#1_Butt_Joint)
- [7] Types Of Welding Joints. In: *Uti.edu* [online]. Universal Technical Institute, 2020 [cit. 2020-11-28]. Dostupné z: <https://www.uti.edu/blog/welding/joint-types>
- [8] VÁCLAV, Röder. Svarové spoje | Koutový svar. In: *Ocel.wz* [online]. Brno: Václav Röder [cit. 2020-11-28]. Dostupné z: <http://ocel.wz.cz/svarove-spoje/koutovy-svar.php>
- [9] KONVIČNÁ, Iveta. *Svarové spoje*. Národní ústav pro vzdělávání. ISSN 1802-4785.
- [10] Gas Metal Arc Welding Basics: Welding Current & Welding Voltage. In: *Ewi* [online]. Columbus, Ohio: Ewi, 2015 [cit. 2020-11-22]. Dostupné z: <https://ewi.org/gas-metal-arc-welding-basics-welding-current-welding-voltage/>
- [11] SINGH, Sukhendra a Sanjay GOYAL. *A Review on Optimization of Welding parameters in Arc Welding Process using Taguchi Parametric Optimization Technique*. 2017.
- [12] CAMPBELL, Stuart. *A potential solution to GMAW gas flow optimisation*. Chicago, 2014.

[13] Variables that Affect Weld Penetration. In: *Lincolnelectric* [online]. Cleveland, Ohio: Lincolnelectric, 2020 [cit. 2020-11-22]. Dostupné z: <https://www.lincolnelectric.com/en-us/support/process-and-theory/Pages/variables-weld-penetration.aspx>

[14] MATHISON, Jerry. Understanding transfer modes for GMAW. In: *Thefabricator* [online]. Florence: Mathison, 2008 [cit. 2020-11-22]. Dostupné z: <https://www.thefabricator.com/thewelder/article/consumables/understanding-transfer-modes-for-gmaw>

[15] NADZAM, Jeff, ed. *Gas Metal Arc Welding Product and Procedure Selection*. THE LINCOLN ELECTRIC COMPANY

[16] TOCHYLIN, Mykhailo. *Optimalizace svařovacích parametrů technologie GMAW, pro robotické svařování pozinkovaných oceli v automobilovém průmyslu*. Plzeň, 2019. Diplomová práce. Západočeská univerzita v Plzni, Fakulta strojní.

[17] ČSN EN ISO 5817. Svařování – Svarové spoje oceli. Niklu, titanu a jejich slitin zhotovené tavným svařováním (kromě elektronového a laserového svařování) Určování stupňů kvality. Česká agentura pro standartizaci, 2014, 36 s. Třídící znak 050110

[18] TSH5603G. Toyota engineering standard: Arc welding. Rev 9. Design Quality Inovation Div. TOYOTA MOTOR CORPORATION, 4.2014n. 1.

[19] EN ISO 6947. *Svařování a příbuzné procesy*. Fourth edition. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2020.

[20] TPS 320i / 400i / 500i / 600i TPS 400i LSC ADV Návod k obsluze. Fronius.com [online]. Austria: Fronius, 2021 [cit. 2022-01-12]. Dostupné z: <https://www.fronius.com/cs-cz/czech-republic/perfect-welding/polozky-ke-stazeni>

[21] OK ARISTOROD 12.50 [online]. 2022: esab [cit. 2022-01-13]. Dostupné z: <https://www.esab.cz/cz/cz/products/filler-metals/mig-mag-wires-gmaw/mild-steel-wires/ok-aristorod-12-50.cfm>