



# ANALÝZA VAD SVARŮ A JEJICH PŘÍČIN PŘI OBLOUKOVÉM SVAŘOVÁNÍ MAG

## Bakalářská práce

*Studijní program:* B2301 – Strojní inženýrství  
*Studijní obor:* 2301R000 – Strojní inženýrství  
*Autor práce:* **Radek Bednář**  
*Vedoucí práce:* Ing. Josef Bradáč, Ph.D.



## ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Radek Bednář**  
Osobní číslo: **S12000651**  
Studijní program: **B2301 Strojní inženýrství**  
Studijní obor: **Strojní inženýrství**  
Název tématu: **Analýza vad svarů a jejich příčin při obloukovém svařování  
MAG**  
Zadávací katedra: **Katedra strojírenské technologie**

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

1. Nastudujte teoretické základy metod obloukového svařování v ochranných atmosférách s bližším zaměřením na metodu MIG/MAG.
2. Seznamte se s klasifikací a způsobem označování vad ve svarech dle normy EN ISO 6520-1. Dále se zaměřte na jednotlivé stupně jakosti svarů dle normy EN ISO 5817.
3. V rešeršní části popište hlavní způsoby a mechanismy vzniku vad ve svarech u uhlíkových ocelí.
4. V experimentální části navrhnete svařovací postupy, které povedou ke vzniku definovaných vad.
5. Provedte příslušné experimenty, vady následně popište, zdokumentujte a klasifikujte s ohledem na příslušný stupeň jakosti svarového spoje.
6. Provedte zhodnocení dosažených výsledků, tak aby výsledné podklady mohly být využity pro výuku v základních kurzech svařování.

Rozsah grafických prací: **obrázky, grafy**  
Rozsah pracovní zprávy: **cca 30**  
Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná/elektronická**  
Seznam odborné literatury:

- [1] NOVÁ, I., I. NOVÁKOVÁ, J. BRADÁČ. *Technologie 1: Slévání a svařování*. 1. vydání. Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2006. ISBN 80-7372-052-3.  
[2] AMBROŽ O., B. KANDUS a J. KUBÍČEK. *Technologie svařování a zařízení*. 1. vydání. Ostrava: Zeross, 2001. s.395. ISBN 80-85-771-81-0.  
[3] FOLDYNA, Václav et. al. *Materiály a jejich svařitelnost*. 1. vydání. Ostrava: Zeross, 1999. s.295. ISBN 80-85771-85-3.  
[4] ČSN EN ISO 6520-1. *Svařování a příbuzné procesy - Klasifikace geometrických vad kovových materiálů - Část 1: Tavné svařování*. Praha: Český normalizační institut, 2008. 68 s. Třídící znak: 05 0005.  
[5] ČSN EN ISO 5817. *Svařování - Svarové spoje oceli, niklu, titanu a jejich slitin zhotovené tavným svařováním (kromě elektronového a laserového svařování) - Určování stupňů kvality*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2014. 36 s. Třídící znak: 050110.

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Josef Bradáč, Ph.D.**  
Katedra strojírenské technologie

Datum zadání bakalářské práce: **2. března 2015**  
Termín odevzdání bakalářské práce: **2. června 2016**

  
prof. Dr. Ing. Petr Lenfeld  
děkan



  
Ing. Jaromír Moravec, Ph.D.  
vedoucí katedry

V Liberci dne 2. března 2015

## Prohlášení

Byl jsem seznámen s tím, že na mou bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, zejména § 60 – školní dílo.

Beru na vědomí, že Technická univerzita v Liberci (TUL) nezasahuje do mých autorských práv užitím mé bakalářské práce pro vnitřní potřebu TUL.

Užiji-li bakalářskou práci nebo poskytnu-li licenci k jejímu využití, jsem si vědom povinnosti informovat o této skutečnosti TUL; v tomto případě má TUL právo ode mne požadovat úhradu nákladů, které vynaložila na vytvoření díla, až do jejich skutečné výše.

Bakalářskou práci jsem vypracoval samostatně s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím mé bakalářské práce a konzultantem.

Současně čestně prohlašuji, že tištěná verze práce se shoduje s elektronickou verzí, vloženou do IS STAG.

Datum:

Podpis:

## **Název bakalářské práce:**

Analýza vad svarů a jejich příčin při obloukovém svařování MIG/MAG

## **Bachelor thesis title:**

Analysis of weld defects and their causes during arc welding MIG/MAG

## **Anotace**

Bakalářská práce se věnuje příčinám vzniku vad ve svarech při svařování v ochranné atmosféře tavící se elektrodou v závislosti na nastavení svařovacích parametrů a volbě postupu svařování. V bakalářské práci jsou, pospány základy svařování a také metodika hodnocení jakosti svarů při svařování. Experimentální část bakalářské práce je zaměřena na příčiny vzniku vad a jejich možnost odstranění při změně svařovacích parametrů. V závěru je uvedeno vyhodnocení nejlepších parametrů pro jednotlivé metody.

## **Annotation**

The bachelor thesis deals with possible causes of defects in welded joints emerging during the process of welding in the protective atmosphere with the usage of a melting electrode depending on welding measurements setting as on the particular welding method. The theoretical part of the thesis introduces the essentials of welding as well as it presents the methodology of welded joints quality assessment. The practical part focuses on possible causes of defects and their removal based on changing the welding parameters. The conclusion then brings the evaluation of the best parameters for each and every method.

# Obsah

|          |   |           |
|----------|---|-----------|
| <b>1</b> | <b>Úvod .....</b>   | <b>8</b>  |
| 1.1      | Cíl bakalářské práce .....  | 9         |
| 1.2      | Metodika bakalářské práce .....   | 9         |
| <b>2</b> | <b>Technologie obloukového svařování .....</b>                          | <b>10</b> |
| 2.1      | Elektrický oblouk .....   | 10        |
| 2.2      | Rozdělení obloukového svařování .....                                   | 11        |
| 2.3      | Obloukové svařování v ochranném plynu .....                             | 11        |
| <b>3</b> | <b>Svařování MIG/MAG.....</b>   | <b>11</b> |
| 3.1      | Princip svařování MIG/MAG .....   | 12        |
| 3.2      | Způsoby přenosu kovu v el. oblouku u MIG/MAG svařování .....            | 12        |
| 3.2.1    | Zkratový přenos .....   | 12        |
| 3.2.2    | Kapkový bezzkratový přenos .....  | 12        |
| 3.2.3    | Sprchový přenos.....  | 13        |
| 3.3      | Volba parametrů při svařování a jejich vliv na formování housenky ..... | 13        |
| 3.3.1    | Svařovací proud a rychlost podávání drátu .....                         | 13        |
| 3.3.2    | Svařovací napětí.....   | 13        |
| 3.3.3    | Druh a polarita svařovacího proudu.....                                 | 14        |
| 3.3.4    | Množství a typ ochranného plynu .....                                   | 14        |
| 3.3.5    | Vyložení elektrody (výlet drátu).....                                   | 15        |
| 3.4      | Zařízení pro svařování MIG / MAG .....                                  | 15        |
| 3.4.1    | Podávací zařízení .....   | 16        |
| 3.4.2    | Svařovací hořáky.....   | 16        |
| 3.4.3    | Plyny pro svařování MAG (tlakové lahve) .....                           | 17        |
| 3.4.4    | Přídavné materiály .....  | 17        |
| <b>4</b> | <b>Základní pojmy.....</b>  | <b>18</b> |
| 4.1      | Názvosloví svarového spoje .....  | 18        |
| 4.2      | Příprava materiálu ke svařování.....                                    | 19        |
| 4.3      | Svařitelnost .....  | 19        |
| 4.4      | Svařovací polohy.....   | 19        |
| 4.5      | Způsoby postupu svařování MAG .....                                     | 20        |
| 4.5.1    | Svařování vpřed .....   | 20        |
| 4.5.2    | Svařování vzad.....   | 20        |
| <b>5</b> | <b>Vady svarů, příčiny jejich vzniku .....</b>                          | <b>21</b> |
| 5.1      | Vnitřní vady svarů.....   | 21        |
| 5.1.1    | Trhliny .....   | 22        |
| 5.1.2    | Dutiny.....   | 22        |
| 5.1.3    | Vměstky.....  | 23        |
| 5.1.4    | Studené spoje a neprůvary .....   | 24        |
| 5.1.5    | Vady tvaru a rozměru .....  | 24        |
| 5.1.6    | Různé vady .....  | 27        |
| 5.2      | Stupně jakosti svarových spojů.....                                     | 27        |

|          |  |           |
|----------|--|-----------|
| <b>6</b> | <b>Kontrola jakosti svarových spojů .....</b>        | <b>28</b> |
| 6.1      | Nedestruktivní zkoušky svarových spojů .....         | 28        |
| 6.1.1    | Vizuální kontrola.....                               | 29        |
| 6.1.2    | Metalografické zkoušky .....                         | 30        |
| 6.2      | Destruktivní zkoušky.....                            | 31        |
| <b>7</b> | <b>Experimentální analýza vad svarů .....</b>        | <b>32</b> |
| 7.1      | Výchozí podmínky pro experiment.....                 | 32        |
| 7.2      | Vyhotovení vzorků pro experiment .....               | 33        |
| 7.3      | Zhotovení základního vzorku č.1 .....                | 34        |
| 7.4      | Svařování vzorků se změnou napětí.....               | 35        |
| 7.5      | Svařování vzorků se změnou proudu (posuv drátu)..... | 35        |
| 7.6      | Změna průtoku ochranného plynu .....                 | 36        |
| <b>8</b> | <b>Závěr .....</b>                                   | <b>38</b> |

# 1 Úvod

Svařování patří mezi jednu z nejstarších technologií zpracování kovů. Po celá staletí bylo jedinou svařovací metodou kovářské svařování. Teprve koncem 19. století byly vyvinuty další metody svařování, jako je svařování plamenem, obloukové a odporové svařování. V současnosti se svařování stále obnovuje o nové metody a svařované materiály. Svařování se používá ke svařování nejmenších součástek v elektrotechnice až po svařování největších součástí jako jsou několikátunové pláty trupů zámořských lodí. Pro některé výrobky je totiž svařování jediné možné řešení pro spojení materiálů, a to jak z ekonomického, tak i z technického hlediska. Univerzálnost této technologie nám umožňuje spojovat všechny kovy a jejich slitiny, a to i přes náročnost požadovaných mechanických a chemických vlastností. Využívá se také ve všech průmyslových oblastech s vysokým stupněm automatizace pro dodržení kvality svarového spoje, na nějž jsou kladeny čím dál větší nároky.

Týká se to hlavně kosmického a vojenského průmyslu, ale také i motorových vozidel.

Proto je nutné svařování chápat jako komplexní problém, na němž se musí podílet několik organizací, které zajišťují řešení samotného zadání do výroby, svařování a montáže, až po jeho expedici. V dnešní době jsou veliké tlaky na kvalitu a rychlost produkce jednotlivých výrobků, proto se neustále vyvíjí nové postupy pro svařování. Jelikož se používají nejrůznější materiály, je potřeba rychlé reakce ve svařování, aby se metoda nebo daná technologie stala konkurenční výhodou pro tento materiál.

Svařování je metalurgický proces, při kterém se vytváří nerozebíratelný spoj pomocí meziatomových vazeb mezi svařovanými částmi, a to buď přímo, nebo prostřednictvím přídavného materiálu při jejich ohřevu nebo uvedení do plastického stavu.

Technologie svařování se proto musí neustále vyvíjet. Od nejstaršího známého způsobu kovářského svařování jsme došli až po dnešní dokonalé svařovací metody jako plamenové, obloukové a odporové, které jsou ale již nyní nahrazovány nejnovějšími metodami, jako je svařování ultrazvukem nebo laserem.



## **1.1 Cíl bakalářské práce**

Cíle bakalářské práce:

- Sepsat základní poznatky o svařování v ochranné atmosféře
- Experimentálně zjistit příčiny vzniku vad svarů v dané metodě v závislosti na nastavených parametrech

## **1.2 Metodika bakalářské práce**

Zhotovení bakalářské práce probíhalo v následujících krocích:

- Prostudování literatury se svařováním v ochranné atmosféře a norem s hodnocením jakosti a vad svaru
- Zhotovení jednotlivých vzorků ve ŠKODA AUTO a.s. Střední odborné učiliště strojírenské, odštěpný závod třída Václava Klementa 869, Mladá Boleslav, 29360
- Vytvoření fotodokumentace pomocí mobilního telefonu HUAWEI D2
- Vyhodnocení jednotlivých vad svarů a jejich příčin

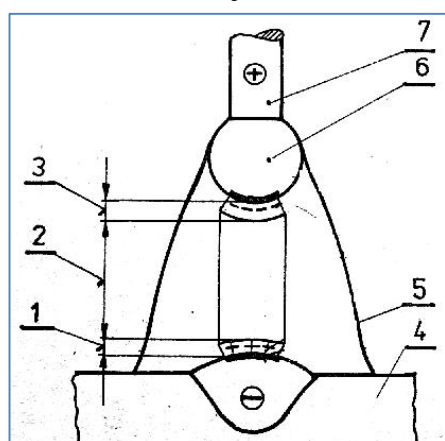
## 2 Technologie obloukového svařování

*Obloukové svařování* je metalurgický proces, při kterém je jako zdroj tepla použit elektrický oblouk hořící mezi elektrodou a svařovaným materiálem. Elektrický oblouk taví kov elektrody a základního materiálu. Roztavený kov přechází pomocí oblouku do svarové lázně a slitím přídavného a nataveného základního materiálu vznikne svar. [1]

### 2.1 Elektrický oblouk

*Elektrický oblouk* považujeme za elektrický výboj kruhového průřezu, který prochází horkým ionizovaným plynem. Pro svařovací oblouk je charakteristické napětí 10 až 50V a proud 10 až 2000A. V oblouku jsou na žhavé katodě uvolňovány elektrony, ty procházejí sloupcem oblouku a jsou odváděny anodou. Teplota oblouku je přes 5000°C [1,3]

Svařovací oblouk je tvořen následujícími oblastmi (obr. 1).



1. Anodová oblast
2. Sloupec oblouku
3. Katodová oblast
4. Základní materiál (anoda)
5. Vnitřní zóna oblouku
6. Kapka tekutého kovu

Obr. 1 Hlavní části elektrického oblouku [3]

*Anodová skvrna* – jsou zde neutralizovány a odváděny dopadající záporné částice. Kinetická energie se mění na tepelnou a na elektromagnetickou. Teplota je cca 3000°C

*Sloupec oblouku* – zářivě svítící místo disociovaného a ionizovaného plynu ve formě plazmy mezi elektrodami. Teplota je zde 4000 až 6000°C.

*Katodová skvrna* – ostře ohraničená skvrna, která vyzařuje prvotní elektrony důležité pro zapálení oblouku a ionizaci plynného prostředí. Teplota skvrny je cca 2500°C

## **2.2 Rozdělení obloukového svařování**

Metody svařování definujeme dle normy ČSN EN 4063 (ČSN 05 0011) [4] a jejich číselné značení pro výkresy nebo zkoušky svářeče dle normy ČSN EN 22553 (ČSN 05 3155) [5] .

V této práci se budeme věnovat pouze metodě svařování v ochranné atmosféře označené jako 135 - Obloukové svařování tavící se elektrodou v ochranné atmosféře aktivního plynu (CO<sub>2</sub>, směsi CO<sub>2</sub>, Ar, O<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>).

## **2.3 Obloukové svařování v ochranném plynu**

Při obloukovém svařování v ochranných atmosférách hoří oblouk obklopen atmosférou ochranného plynu, který je přiváděn hořákem. Elektroda, oblouk i tavná lázeň je chráněna ochranným plynem před účinky okolní atmosféry. Jako ochrana se používá inertní či aktivní plyn.

## **3 Svařování MIG/MAG**

Svařování v ochranných plynech tavící se elektrodou je proces uváděný jako MIG/MAG. Nachází ve výrobě ocelových konstrukcí a jejich opravách široké uplatnění. Svařování MIG se používá pro neželezné kovy a vysokolegované oceli. Svařování MAG se používá pro svařování nízkolegovaných a nelegovaných ocelí.

Proces svařování MIG/MAG lze pomocí automatizace zefektivnit, což má příznivý vliv na jakost svařovaných výrobků, zlepšení pracovních podmínek a hygieny pro obsluhu.

Proto v dnešní době získalo svařování MIG/MAG dominantní postavení mezi metodami obloukového svařování. Vývoj těchto metod je v poslední době zaměřen na zvýšení produktivity, stability procesu hoření oblouku a jakosti provádění svarových spojů. [1,2]

Přednosti této metody oproti jiným jsou:

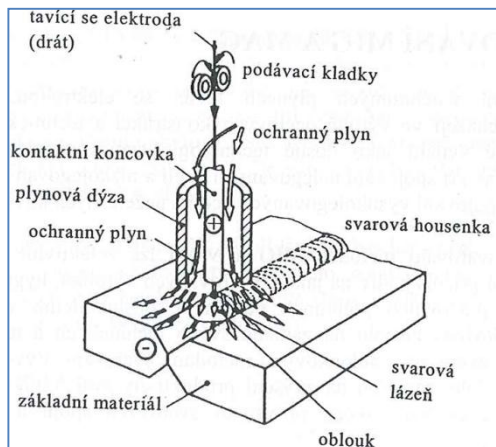
- vysoká produktivita a hospodárnost,
- malé deformace svarových spojů a konstrukcí,
- příznivé podmínky pro uplatnění v praxi,
- vhodnost pro ruční i strojní procesy svařování. [1]

Nedostatky:

- ztráty legujících prvků propalem,
- větší požadavky na obsluhu zařízení. [1]

### 3.1 Princip svařování MIG/MAG

Princip těchto metod je znázorněn na obr. 2. Jde o svařování tavící se elektrodou v plynu. Oblouk hoří mezi drátem a základním materiálem. Drát je na cívce a je podáván pomocí podávacího mechanismu do hořáku. Rychlost podávání je závislá



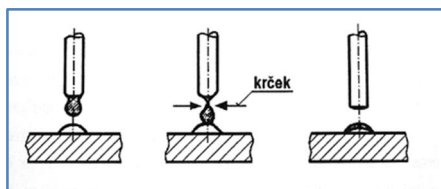
obr. 2 Princip svařování MIG/MAG [1]

na průměru drátu a svařovacím proudem. Jako ochranný plyn se většinou používá oxid uhličitý  $\text{CO}_2$ , popřípadě směsi plynů oxidu uhličitého s argonem ( $\text{CO}_2 + \text{Ar}$ ) pro svařování MAG. U svařování MIG je jako ochranný plyn použit nejčastěji argon (Ar), helium (He) popřípadě Ar+He. Tyto plyny chrání svarovou lázeň a její okolí před vlivem okolní atmosféry, hlavně před kyslíkem ( $\text{O}_2$ ) a dusíkem ( $\text{N}_2$ ). [1,6].

### 3.2 Způsoby přenosu kovu v el. oblouku u MIG/MAG svařování

#### 3.2.1 Zkratový přenos

Přenos kovu v oblouku, při němž jednotlivé kapky tavící se elektrody způsobují zkrat mezi elektrodou a svarovou lázní. Je vhodný pro svařování tenkých plechů a kořenů větších tloušťek materiálu ve všech polohách.



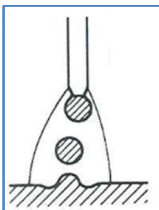
obr. 3 Podstata zkratového přenosu [1]

Používá se svařovací drát malého průměru a svářecího napětí 18-22V a proudem 60-180A.

Často nazýván jako svařování krátkým obloukem obr. 3 [17]

#### 3.2.2 Kapkový bezzkratový přenos

Přenos kovu v kapkách, znázorněný na obr. 4, které se oddělují od elektrody bez způsobení zkratu mezi elektrodou a svarovou lázní. Vhodný pro svařování v poloze vodorovné shora a výplňové a krycí vrstvy.

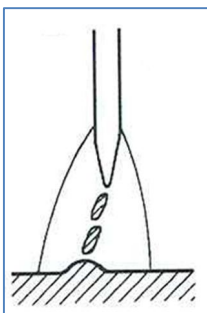


Svařovací drát většího průměru se svařovacím napětím 28-40V a proudem nad 200A [17].

obr. 4 Kapkový bezzkratový přenos [1]

### 3.2.3 Sprchový přenos

Bezzkratový přenos kovu v oblouku, při němž kov elektrody přechází do svarové lázně vícerými jemnými kapkami v ose oblouku, vidíme na obr. 5.



Používá se:

- při svařování ve všech polohách
- svařování s velkými výkony roztavení a minimálním rozstříkem
- pro dosažení hladkého povrchu svaru
- pro vysokou kvalitu svarového kovu

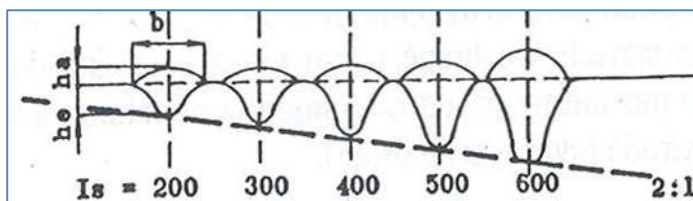
Svařovací napětí je 28-40V a proudu 200-500A, sprchový přenos se v CO<sub>2</sub> nedá dosáhnout. [17]

obr. 5 Sprchový přenos [1]

## 3.3 Volba parametrů při svařování a jejich vliv na formování housenky

### 3.3.1 Svařovací proud a rychlost podávání drátu

Největší vliv na tvar průřezu svarové housenky má svařovací proud. Při vyšším svařovacím proudu se zvyšuje výkon roztavení a hloubka závaru. Svařovací proud je veličina přímo závislá na rychlosti podávání drátu. Podle nastavení rychlosti podávání drátu máme odpovídající proud, ale je nutné jen mírně doregulovat napětím na oblouk. Při vysokém proudu vzrůstá rozstřík a nebezpečí protavení materiálu. Vliv svařovacího proudu  $I_s$  [A] na tvar housenky je vidět na obrázku č. 6 [1]

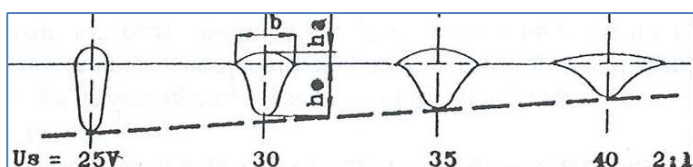


b – šířka housenky  
 $h_e$  – hloubka závaru  
 $h_a$  – převýšení

obr. 6 Vliv svařovacího proudu na tvar housenky [1]

### 3.3.2 Svařovací napětí

Svařovací napětí má vliv na šířku svarové housenky. Nastavuje se na zdroji svařovacího proudu na hodnotu odpovídající podmínkám stabilního hoření oblouku při daném svařovacím proudu. Vliv napětí oblouku  $U_s$  [V] na tvar housenky viz obrázek č. 7 [1]



b – šířka housenky  
 $h_e$  – hloubka závaru  
 $h_a$  – převýšení

obr. 7 Vliv svařovacího napětí na tvar housenky [1]

### 3.3.3 Druh a polarita svařovacího proudu

Elektrický oblouk má značné mechanické a tepelné účinky na své okolí. Platí, že na kladné elektrodě se získá více tepla než na záporné, neboť katoda se ochlazuje termoemisí a anoda se jejich dopadem zahřívá. Je-li na elektrodě pól mínus a na základním materiálu pól plus, jedná se o polaritu přímou.

Při opačném připojení hovoříme o nepřímé polaritě. Při svařování v ochranné atmosféře tavící se elektrodou se používá stejnosměrný proud a zapojení s *nepřímou polaritou*, tj. +pól na elektrodě (svařovacím drátu). [1]

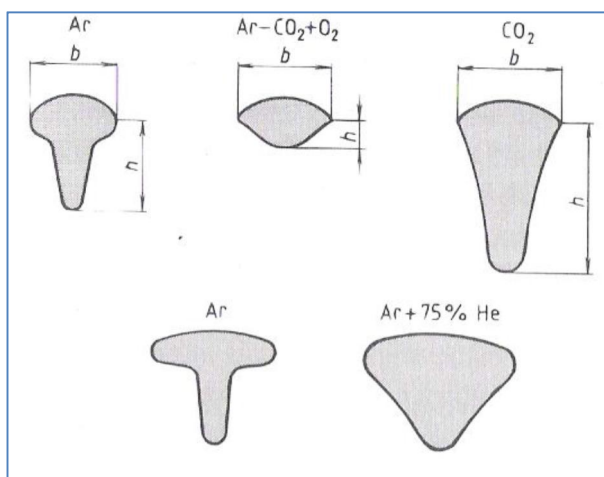
### 3.3.4 Množství a typ ochranného plynu

Množství ochranného plynu závisí na druhu spoje a parametrech svařování. Pro dokonalou ochranu svarové lázně je potřeba nastavit spotřebu ochranného plynu v požadovaném množství litrů za minutu. Volbou ochranného plynu můžeme také ovlivnit přenos kovu do svarové lázně, přenos tepelné energie. Dále ovlivňuje průvar nebo rychlost svařování.

Volbou ochranné atmosféry ovlivníme následující parametry:

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

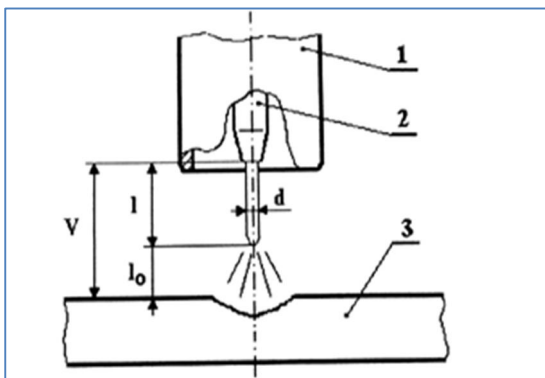
Druh ochranného plynu podstatně ovlivňuje tvar a rozměry, které jsou na obr. 8. Při použití argonu (Ar) jako ochranného plynu, který má nízkou tepelnou vodivost, nedochází k tak intenzivnímu přenosu tepla jako při použití oxidu uhličitého (CO<sub>2</sub>) nebo helia (He) ve směsném plynu.



obr. 8 Vliv čistých a směsných ochranných plynů na tvar svarů [7]

### 3.3.5 Vyložení elektrody (výlet drátu)

Vyložení elektrody je délka volného konce měřená od konce drátu k místu výstupu koncovky přívodu proudu podle obr. 9. Při větším vyložení elektrody roste množství odporového tepla ve volném konci, a tím roste teplota svařovacího drátu v místě



odtavování. Ovlivňuje se i velikost svařovacího proudu a klesá hloubka závaru. Při velkém vyložení elektrody dochází k rozstříku a horší ochraně tavné lázně.

Současně při malém vyložení elektrody hrozí velké namáhání koncovky a zanášení hubice, což způsobí nestabilitu svařovacího procesu. [1,6]

obr. 9 Vyložení drátu (délka volného konce) [1]

1 – plynová hubice, 2 – průvlek, 3 – základní materiál,  $l$  – vyložení drátu  
 $l_0$  – délka oblouku,  $d$  – průměr drátu

Při nastavení výletu elektrody, což je délka od průvleku k základnímu materiálu, se vychází ze vztahu (1)

$$L = 5 + 5d \quad (1)$$

kde  $L$  ... vyložení drátu (mm)  
 $d$  ... průměr drátu

v němž  $d$  je průměr svařovacího drátu. Užívanější je jednodušší vztah (2).

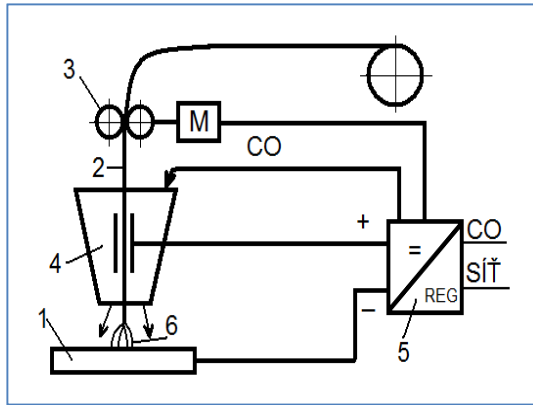
$$L = 10d \quad (2)$$

### 3.4 Zařízení pro svařování MIG / MAG

V praxi se svařování MIG / MAG realizuje jako ruční, poloautomatické a automatické, proto se musí přizpůsobit i konstrukční řešení svařovacích zařízení.

Každé svařovací zařízení se skládá z těchto hlavních částí na obr. 10:

- zdroje svařovacího proudu
- podávacího zařízení svařovacího drátu
- svařovacího hořáku
- zásobník s ochranným plynem
- redukčního ventilu s průtokoměrem

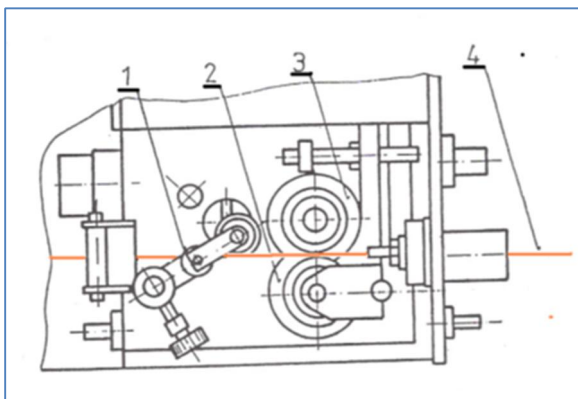


obr. 10 Schéma svařovacího zařízení metodou MIG/MAG

1 – základní materiál, 2 – přídavný drát, 3 – podávací kladky, 4 – svařovací hubice, 5 – zdroj svařovacího proudu, 6 – el. oblouk.

### 3.4.1 Podávací zařízení

Jedná se o samostatnou mechanickou jednotku na obr. 11, umístěnou uvnitř zdroje nebo na zdroji svařovacího proudu, která umožňuje podávání drátu konstantní rychlostí do místa odtavování. Základním předpokladem pro dosažení stabilního procesu hoření oblouku a dobré jakosti svarového spoje je jeho bezvadná funkčnost. Vzhledem ke stále vzrůstajícím rychlostem odtavování drátu při svařování jsou kladeny na toto zařízení stále vyšší a vyšší nároky. [10]



obr. 11 Schéma podávacího zařízení [10]

1. čistič drátu, 2. podávací kladka hnaná, 3. podávací kladka hnací, 4. svařovací drát

### 3.4.2 Svařovací hořáky

Zabezpečují přívod ochranného plynu pomocí plynové trysky (hubic), která je umístěna na konci hořáku, je izolována od průvlaku. Současně slouží jako vymezení vzdálenosti mezi hubicí a základním materiálem.



Dále zabezpečuje přívod svařovacího proudu na tavící se elektrodu (drát) přes průvlak (špičku), který je spotřebním dílem a je zapotřebí časem vyměnit. Použití opotřebované špičky má za následek neklidné hoření oblouku. Nesprávné podávání drátu může vest k dalšímu poškození hořáku.

Hořáky jsou konstrukčně řešeny jako ruční a strojní. Dále se mohou dělit dle proudového zatížení na hořáky chlazené plynem nebo vodou.

### **3.4.3 Plyny pro svařování MAG (tlakové lahve)**

Pro svařování MAG se používají plyny, (oxid uhličitý CO<sub>2</sub>, argon Ar, kyslík O<sub>2</sub> a jejich směsi), které se zapojují do procesu svařování. Dodávány jsou v tlakových lahvích o objemu 40l a s vnitřním přetlakem až 20MPa.

Plyny pro svařování chrání konec tavící se elektrody (drátu), svarovou lázeň a ohřátou oblast základního materiálu vedle svaru před škodlivými účinky vzdušné atmosféry. Dále také vytváří příznivé podmínky pro zapálení a hoření oblouku, přenos kovu v oblouku a stabilitu svařovacího procesu.

Jednokomponentní ochranné plyny nezaručují při svařování MAG některých kovů a slitin požadovaný stabilní svařovací proces a pravidelný přenos kovu v oblouku. Také formování svaru a jeho celistvost není vždy na požadované jakostní úrovni. Proto se jednokomponentní plyny nahrazují dnes převážně vhodnými směsmi plynů na bázi argonu. Do Ar se z důvodu zlepšení stability oblouku přidávají oxidační plyny CO<sub>2</sub> a O<sub>2</sub>, pro zvýšení tepelného výkonu oblouku se přidává He.

Optimálním složením směsi a vhodným podílem jednotlivých složek je možné zvýšit stabilitu procesu, snížit rozstřík, zlepšit formování svaru a zvýšit produktivitu svařování MAG. Pro jednotlivé materiály a jejich tloušťky je třeba vždy zvolit optimální složení směsných plynů.

### **3.4.4 Přídavné materiály**

Přídavné materiály pro MIG/MAG jsou v podobě drátu nebo trubiček shodného chemického a mechanického složení, dodávaných v cívkách a ve vhodných obalech, které brání poškození.

Plní tyto funkce:

- vyplňují svarovou lázeň do požadovaného tvaru a průřezu
- nahrazují prvky, které se vypálily nebo snížily svoji koncentraci
- dodávají vhodné legovací přísady do svaru
- součástí svařovacího elektrického obvodu

Pro svařování jsou drátové elektrody uvedeny a rozříděny například dle normy ČSN EN 440 [8] a trubičkové elektrody dle ČSN EN 758 [9].

Větší průměr drátu vyžaduje větší svařovací proud. Při konstantním svařovacím proudu a zmenšujícím se průměru svařovacího drátu dosahujeme většího součinitele roztavení.

Pro splnění těchto funkcí a dalších technologických požadavků musí mít tyto vlastnosti: vhodné chemické složení, vhodný průřez, vysokou čistotu a hladkost povrchu, přiměřenou tvrdost a tuhost i požadované rozměrové a tvarové tolerance. Drátové elektrody pro svařování ocelí jsou dodávány v průměrech: 0,6; 0,8; 1,0; 1,2 a 1,6 mm [1].

## 4 Základní pojmy

S následujícími definicemi se setkáváme v odborných publikacích:

*Svařování* – proces, při kterém vznikají nerozebíratelná spojení

*Svarek* – výrobek zhotovený svařováním

*Svar* – část svarového spoje, která byla při svařování roztavena

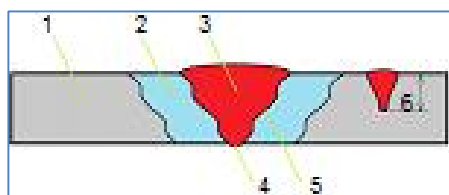
*Navařování* – nanášení vrstvy kovu na povrch součásti (výrobku) pomocí tavného svařování

*Tavné svařování* – svařování součástí bez použití tlaku

*Přídavný materiál* – materiál podobných nebo lepších chemických a mechanických vlastností v podobě drátu, trubičky nebo tyčinky [3].

### 4.1 Názvosloví svarového spoje

Názvosloví svarového spoje a svarů je normalizované. Příklad názvosloví pro tupý svar je podle normy ČSN EN 29 692 [11] uveden na obr. 12.



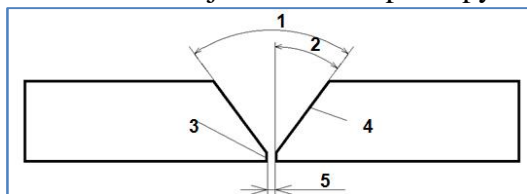
obr. 12 Popis svarového spoje

1 - základní materiál, 2 - teplem ovlivněná oblast, 3 – svar, 4 - kořen svaru,  
5 – hranice natavení, 6 – hloubka závaru

1. *Základní materiál* – materiál svařovaných částí
2. *Teplem ovlivněná oblast* – část základního materiálu, která nebyla roztavená, ale jejíž struktura a vlastnosti se v důsledku ohřevu při svařování změnily
3. *Svar* – část svarového spoje, která vznikne po roztavení a následné krystalizaci základního a přídavného materiálu ze svarové lázně
4. *Kořen svaru* – část svaru, která je nejdál od povrchu
5. *Hranice natavení* – hranice mezi svarem a teplem ovlivněnou oblastí základního materiálu
6. *Hloubka závaru* – největší hloubka provaření do základního materiálu

## 4.2 Příprava materiálu ke svařování

Materiál před svařováním musí být připraven dle normy ČSN EN 29 962. Na obrázku 13. je názvosloví pro tupý svar.



obr. 13 Názvosloví pro tupý svar

1-úhel otevření, 2-úhel zkosení, 3-otupení, 4-svarové plochy, 5-svarová mezera

1. Úhel otevření – úhel mezi zkosenými částmi svarových ploch
2. Úhel zkosení – úhel mezi úkosem a plochou čela
3. Otupení – nezkosená část svarové plochy
4. Svarové plochy – části povrchu základního materiálu, které se zúčastní svařování
5. Svarová mezera – nejkratší vzdálenost mezi svarovými plochami částí připravených pro svařování

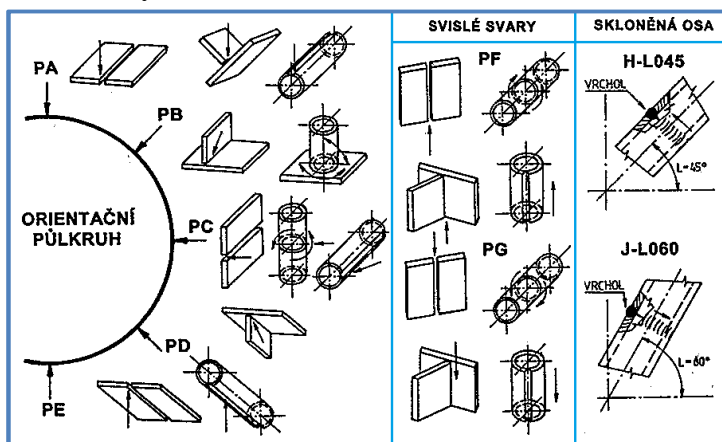
## 4.3 Svařitelnost

Svařitelnost definuje komplexní charakteristiku vlastnosti materiálu, kterou lze jen těžce definovat a nelze ji jednoznačně vyhodnotit. Jedna z nejdůležitějších vlastností, kterou musíme znát pro vytvoření svarového spoje. Má vliv na kvalitu, spolehlivost a pevnostní vlastnosti svarových spojů.

Podle normy ČSN 05 000 je svařitelnost definována jako komplexní charakteristika materiálu, která za určitých technologických podmínek svařování určuje jeho technickou vhodnost pro spoje předepsané jakosti a kvality. [1,12]

## 4.4 Svařovací polohy

Definovány normou ČSN EN ISO 6947 na obrázku č. 14



Obr. 14 Polohy svařování [13]

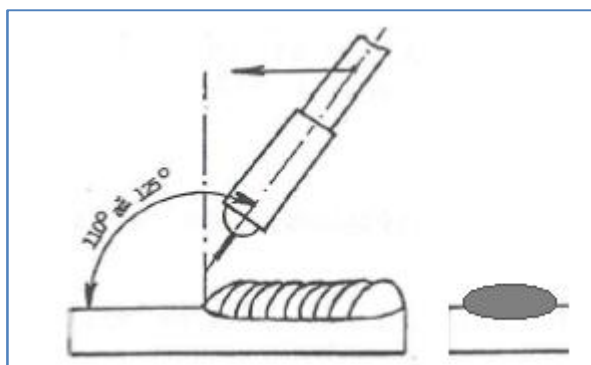
Pojmenování jednotlivých poloh: PA – vodorovná shora, PB – vodorovná šikmo shora, PC – vodorovná na svislé stěně, PD – vodorovná šikmo nad hlavou, PE – vodorovná nad hlavou, PF – poloha svislá zdola nahoru, PG – poloha svislá shora dolů, H-L045 – svařování nahoru k vrcholu svaru, J-L060 – svařování od vrcholu svaru dolů.

## 4.5 Způsoby postupu svařování MAG

Dle sklonu svařovacího drátu (elektrody) ve směru svařování rozeznáváme dva způsoby svařování: svařování vpřed a vzad

### 4.5.1 Svařování vpřed

Definuje se jako obloukové svařování, při němž osa hořáku svírá se směrem svařování, znázorněném šipkou na obrázku č. 15, tupý úhel (110-125°). Při svařování vpřed má svářeč dokonalý výhled do svarové mezery, ale hubice mu brání ve



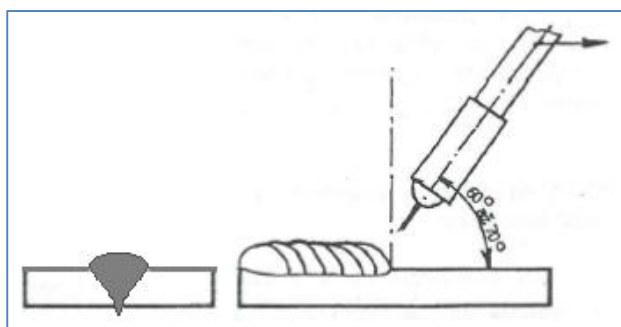
výhledu na formování svarové housenky. Teplo oblouku působí na větší plochu základního materiálu, tím je větší šířka housenky, menší hloubka závaru a hladší povrch.

obr. 15 Postup svařování vpřed a hloubka závaru [1]

Používá se pro dosažení provařeného kořene v polohách PB a PF, svařování tenkých plechů a běžné svářečské práce. Vysoká rychlost tuhnutí může vést k pórovitosti. Možnost nebezpečí předbíhání svarové lázně a tím vzniku studeného spoje. [1,10]

### 4.5.2 Svařování vzad

Obloukové svařování, při němž osa hořáku svírá se směrem svařování ostrý úhel (60-75°). Při svařování vzad zakrývá hubice pohled do svarové mezery, ale umožňuje



pozorování formování povrchu svaru. Svarová housenka je užší, s větším převýšením a s větším závarem, ale s hrubší kresbou housenky, jak je uvedeno na obrázku č. 16. Svarová lázeň je dokonale chráněna ochranným plynem.

obr. 16 Postup svařování vzad a hloubka závaru [1]

Používá se pro kladení dalších vrstev u větší tloušťky materiálu v polohách PB, PC a PG. Nevhodné pro svařování kořene svaru z důvodu nebezpečí propadnutí svarové lázně. Při koutovém svaru se vyskytují velká převýšení a vruby.

## **5 Vady svarů, příčiny jejich vzniku**

Za vadu svaru se považuje jakákoliv odchylka od předepsaných vlastností daných technickou normou ČSN EN ISO 6520-1, technickými podmínkami nebo smluvním vzorkem. Každá vada ve svaru je jaké si nebezpečí, které nepříjemně ovlivňuje vlastnosti svařovaného materiálu.

Vady svaru mohou být zjevné (vnější - póry, trhliny a povrchové vady), které zjistíme pouhým pohledem, nebo skryté (vnitřní – plynové dutiny, vměšky, studené spoje a trhliny), které zjistíme obvykle pomocí přístrojů a laboratorními testy.

Dle stanovených předpisů rozdělujeme vady na:

*Vady přípustné* - jsou takové odchylky svarů, které normy dovolují a jejich odstranění není nutné.

*Vady nepřípustné* - jsou takové, které neodpovídají povoleným hodnotám, které lze opravit jen v případech, kdyby nebyla oprava proti technickým podmínkám.

*Vady opravitelné* - odchylky, které lze dovoleným způsobem, normami případně technickými podmínkami opravit na přípustnou míru nebo zcela odstranit.

*Vady neopravitelné* - odchylky, které nelze vhodným zásahem dovolenými normami případně technickými podmínkami opravit na přípustnou míru nebo zcela odstranit. [14]

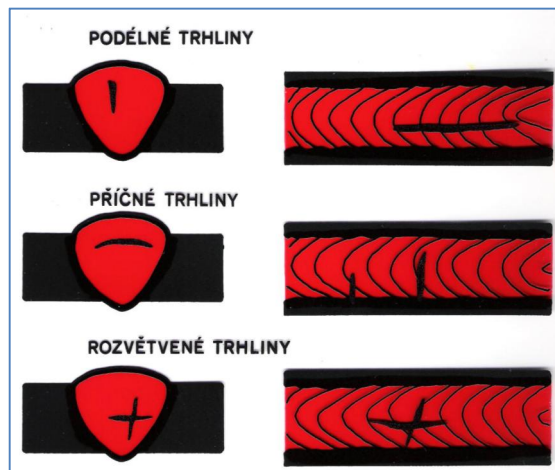
### **5.1 Vnitřní vady svarů**

Dělení a označování vad ve svaru je dáno normou ČSN EN ISO 6520-1. V této normě jsou svary klasifikovány v šesti skupinách:

1. Trhliny
2. Dutiny
3. Pevné vměšky
4. Studené spoje a neprůvary
5. Vady tvaru a rozměru
6. Jiné vady

### 5.1.1 Trhliny

Trhliny jsou definovány jako vady způsobené místním přerušením v tuhém stavu, které vzniknou vlivem ochlazování nebo namáhání. Jsou řazeny mezi nepřípustné vady. Tyto vady jsou na obr. 17. [18]



*Podélná trhlina* – prasklá místa uvnitř nebo na povrchu svaru orientovaná podél svaru.

*Příčná trhlina* - prasklá místa uvnitř nebo na povrchu svaru orientována napříč svarem.

*Rozvětvená trhlina* – prasklá místa uvnitř nebo na povrchu svaru vycházející z jednoho místa a šířící se v různých směrech.

obr. 17 Vady svarů - trhliny [7]

Příčiny vzniku:

- vysoké vnitřní pnutí
- velká tuhost konstrukce
- rychlé ochlazování svaru
- nedodržení pracovního postupu

### 5.1.2 Dutiny

Jsou to dutiny vytvořené plynem, který po vytvoření svaru zůstal ve svarovém kovu, nebo vystupují napovrch svaru. Vyskytují-li se bubliny ojedinele, i když mají větší rozměr, jsou jen málo nebezpečnou vadou viz. obrázek č. 18.

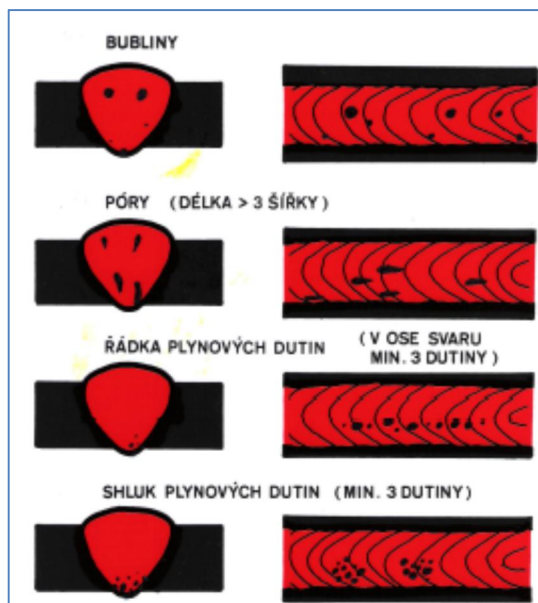
Naproti tomu shluky plynových dutin jsou škodlivé a pro kvalitní svar nepřípustné. Plynové dutiny obsahují  $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{N}_2$  a  $\text{H}_2$ .

*Bubliny* – plynové dutiny kulového tvaru

*Póry* – plynové dutiny, jejichž délka je větší než 1,5násobek jejich šířky

*Řádka plynových dutin* – bubliny nebo póry uspořádané v řádce, vyskytující se zpravidla v kořeni svaru

*Shluk plynových dutin* – bubliny nebo póry nahromaděné v jednom místě



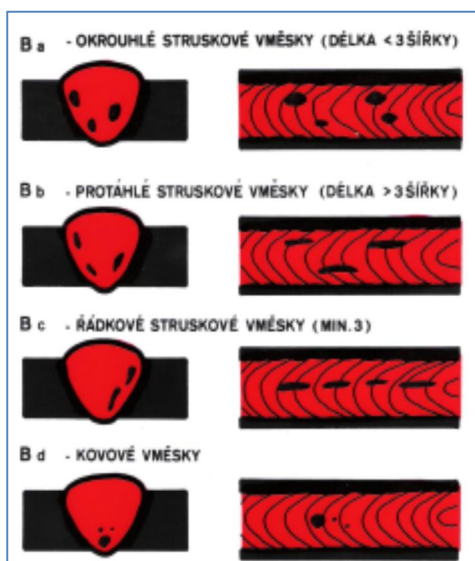
Příčiny vzniku: - rychlé chladnutí svarové lázně vlivem malého svařovacího proudu, vlhkost v plynu, znečištěný základní materiál, příliš dlouhý oblouk, vysoká rychlost svařování, nesprávná polarita. [18]

obr.18 Vnitřní vady svarů – bubliny a póry [7]

### 5.1.3 Vměstky

Jedna z nejčastějších vad svarů, které dělíme na struskové, oxidační a kovové. Jsou to cizí látky nebo tělíška zachycené ve svarovém kovu. Vměstky mají ostré okraje, a proto jsou na rozdíl od bublin značně nebezpečné, zvláště u svarů namáhaných na únavu. Vyskytují se buď ojediněle, nebo vytvářejí tzv. řádky, které jsou seřazeny v přímce rovnoběžné s osou svaru. Vidíme je na obrázku č. 19.

*Struskové vměstky* - nepravidelné útvary strusky různých tvarů zavařeny, ve svarovém kovu, jejichž délka je menší než 3násobek jejich šířky.



*Oxidické vměstky* - částice oxidů, zpravidla kruhového tvaru, nalézající se ve svarovém kovu.

*Protáhlé struskové vměstky*

- nepravidelné útvary strusky různých tvarů zavařeny, ve svarovém kovu, jejichž délka je větší než 3násobek jejich šířky.

*Řádkové struskové vměstky*

- nepravidelné útvary strusky zavařeny ve svarovém kovu a uspořádané v řádce nebo dvojřádce anebo struska, jejíž délka je větší než 3násobek její šířky.

obr. 19 Vnitřní vada svarů - vměstky [7]

*Kovové vměsky* – nežádoucí kovové částice, zpravidla kruhového tvaru, zavařené ve svarovém kovu.

Příčiny jejich vzniku - špatné odstranění strusky při napojování, malá tekutost tavné lázně, nedostatečné očištění návarových ploch, příliš velký průměr přídavného materiálu, malý úhel otevření, nedostatečné očištění od okují.[18]

#### 5.1.4 Studené spoje a neprůvary

Jsou zapříčiněny nedokonalým tavným spojením svarového kovu se základním materiálem nebo navařenou housenkou viz. obrázek č. 20.



*studený spoj na svarové ploše*

– nedokonalé tavné spojení svarového kovu se základním materiálem

*studený spoj mezi vrstvami*

- nedokonalé tavné spojení mezi jednotlivými vrstvami.

obr. 20 Vnitřní vady svarů - studený spoj a neprůvar [7]

*Neprůvary* – defekty vznikající v důsledku neúplného natavení základního materiálu nebo přilehlých svarových housenek.

Příčiny jejich vzniku:

- malé svařovací proudy
- nedostatečné natavení návarových ploch
- velká rychlost svařování
- nepravidelná spára v kořeni
- nadměrná tavná lázeň zalije nenatavené svarové plochy
- nesprávný sklon hořáku a špatné vedení

#### 5.1.5 Vady tvaru a rozměru

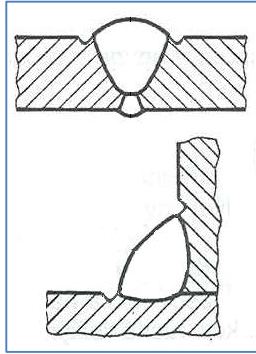
Jedná se o nesprávný tvar vnějších povrchů svaru nebo nepřístupná geometrie svarového spoje daná normou ČSN EN ISO 5817.

#### Povrchové vady

##### Zápaly a vruby

Povrchové vady na okrajích svarové housenky obrázek č. 21. Zmenšují průřez základního materiálu a svým tvarem v podobě ostrého naříznutí povrchu základního materiálu snižují odolnost svařované konstrukce proti dynamickému namáhání.





Vruby a zápaly jsou místem koncentrace napětí a počátkem vzniku trhlin.

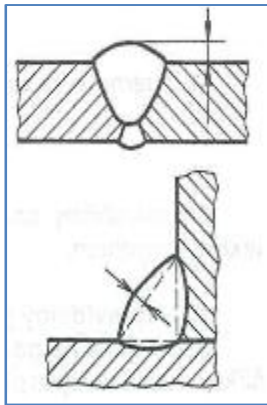
Příčiny jejich vzniku:

- velký svařovací proud
- velké natavení základního materiálu
- nesprávné vedení hořáku

obr. 21 Vruby a zápaly [15]

### Nadměrné převýšení svaru

Přebytek svarového kovu vyčnívající nad povrch základního materiálu a nebo u koutového svaru proti jeho požadované výšce vidíme na obrázku č. 22.



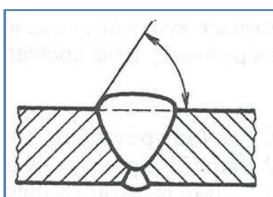
Příčiny jeho vzniku:

- u jednovrstvého svaru jsou díly slícovány s malou svarovou mezerou
- u vícevrstvých jsou svarové plochy příliš vyplněny svarovou vrstvou
- malá postupová rychlost, velký průměr přídavného materiálu

obr. 22 Nadměrné převýšení svaru [15]

### Strmý přechod svaru

Jedná se o úhel mezi tečnou k povrchu krycí vrstvy v okraji svaru a rovinou základního materiálu přesahující 15° viz obr. 23.

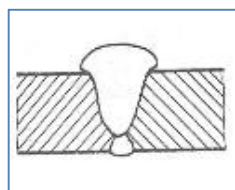


Možné příčiny - souvisejí s nadměrným převýšením svaru.

obr. 23 Strmý přechod svaru [15]

### Přeteklý povrch svaru

Místo, kde svarový kov není na povrchu spojen se základním materiálem a povrch svaru je nadměrně převýšen se známkami přetečení. Vyskytuje se u svarů v poloze PC. Obrázek 24.

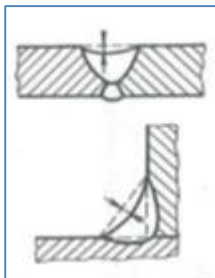


Možné příčiny – velká tavná lázeň, chybný sklon hořáku, velká výplňová vrstva svaru.

obr. 24 Přeteklý povrch svaru [15]

### **Proláklý svar na povrchu**

Místo povrchu koutového nebo tupého svaru, kde krycí housenka je propadlá proti úrovni povrchu základního materiálu nebo u koutového svaru proti jeho požadované výšce, vidíme na obrázku č. 25

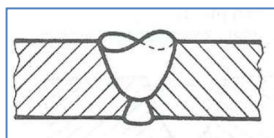


Možné příčiny – nadměrná svarová mezera, krycí vrstva provedena malým průměrem přídavného materiálu, vyšší postupová rychlost.

*obr. 25 Proláklý svar na povrchu [15]*

### **Nepravidelný povrch svaru**

Místa na povrchu svaru, kdy krycí housenka má nepravidelnou šířku s různými převýšeními a prohloubeními viz obrázek č. 26.

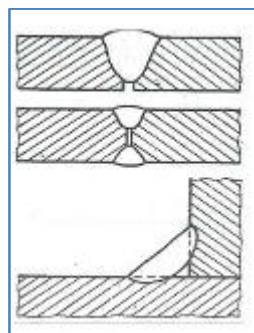


Možné příčiny – špatná postupová rychlost, nesprávné vedení přídavného materiálu, nestejněměrné udržování tavné lázně, nesprávné napojení svaru.

*obr. 26 Nepravidelný povrch svaru [15]*

### **Kořenové vady**

#### **Neprovařený kořen**



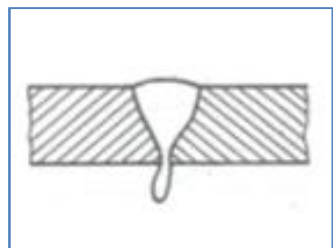
Neúplně provařené svarové plochy v kořeni tupého svaru jednostranného, oboustranného a koutového svaru vidíme na obrázku č. 27.

Možné příčiny – nevhodný sklon hořáku, malá intenzita plamene nebo proudu, nadměrná postupová rychlost, nesprávně připravený základní materiál (svarová mezera, otupení, přesazený materiál, příliš velký úkos).

*obr. 27 Neprovařený kořen [15]*

#### **Nadměrný průvar – krápník**

Místa nadměrných převýšení z proteklého a ztuhlého svarového kovu v kořeni svaru viz obr. č. 28. Svary musí být provedeny úplně všude dle technické dokumentace, v požadované velikosti s dodržáním délek a mezer u přerušovaných svarů. Povrch musí být očištěn od strusky a rozstříku.



Možné příčiny – velká svarová mezera, velké nastavení svařovacího proudu, malá postupová rychlost při provádění kořenové housenky.

*obr.28 Nadprůměrný průvar [15]*

### 5.1.6 Různé vady

Jedná se o vady, které nelze zahrnout do skupin 1. až 5., které najdeme v kapitolách 5.1.1 až 5.1.5

Do této skupiny patří například:

*Rozstřík* – kapky svarového kovu nebo přídavného materiálu vznikající během svařování, zůstávají na povrchu základního materiálu nebo tuhnutího svarového spoje.

*Vytržení povrchu* - poškození povrchu způsobené při odstranění dočasně přivařených pomocných prvků

*Stopy po broušení a sekání* – místa poškozená při broušení a sekání nebo jiným nástrojem

*Podbroušení* – nedostatečná tloušťka svarku způsobená nadměrným broušením svářečem.

## 5.2 Stupně jakosti svarových spojů

Při zhotovování svarů je nutné zajistit takovou jakost, která zaručí spolehlivost a bezporuchovost dané konstrukce, tj. schopnost plnit požadovanou funkci nepřetržitě po stanovenou dobu za daných provozních podmínek.

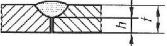

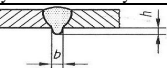
V současnosti se posuzování jakosti odklání od systému „nejvyšší jakosti“ k požadavkům „vhodnosti pro daný účel“, nebo „kvalita pro daný účel“.

Pro určování stupně jakosti pro svarové spoje oceli zhotovené svařováním platí norma ČSN EN ISO 5817. Tato norma slouží jako podklad pro vytvoření pravidel a norem výrobků.

Zavedené tři stupně jakosti se vztahují na jednotlivé svary, ne na celý výrobek nebo jeho část. Pro jednotlivé svarové spoje na jednom výrobku lze předepsat různé stupně jakosti. Označení se volí tak, aby stupně mohly být rozšířeny.

V tabulce 1 jsou některé mezní rozměry chyb vybraných vad

Tabulka 1. Mezní rozměry chyb vybraných vad

| Číslo                     | Odkaz na ČSN EN ISO 6520-1 | NÁZEV CHYBY       | POZNÁMKY   | t<br>[mm]  | Mezní rozměry chyb pro stupně kvality         |                                |                                 |
|---------------------------|----------------------------|-------------------|--|------------|---|--------------------------------|---------------------------------|
|                           |                            |                   |  |            | D (nízký)                                     | C (střední)                    | B (vysoký)                      |
| <b>1. Povrchové chyby</b> |                            |                   |  |            |   |                                |                                 |
| 1.1                       | 100                        | Trhlina           | -  | $\geq 0,5$ | nedovolené                                    | nedovolené                     | nedovolené                      |
| 1.6                       | 4021                       | Neprovařený kořen | <br>jen pro jednostranné tupé svary | $\geq 0,5$ | krátké chyby:<br>$h \geq 0,2t$ , ale max. 2mm | nedovolené                     | nedovolené                      |
| 1.7                       | 5011                       | Souvislý zápal    |                                     | 0,5 až 3   | krátké chyby:<br>$h \geq 0,2t$                | krátké chyby:<br>$h \geq 0,1t$ | nedovolené                      |
| 1.8                       | 5012                       | Přerušovaný zápal | Požaduje se plynulý přechod<br>Toto se nepovažuje za systematickou chybu   | $> 3$      | $h \geq 0,2t$ , ale max. 1mm                  | $h \geq 0,1t$ , ale max. 0,5mm | $h \geq 0,05t$ , ale max. 0,5mm |
| 1.11                      | 504                        | Přetečený kořen   |                                     | 0,5 až 3   | $h \geq 1mm + 0,6b$                           | $h \geq 1mm + 0,3b$            | $h \geq 1mm + 0,3b$             |

V normě ČSN EN ISO 5817 jsou uvedeny pro jednotlivé stupně mezní hodnoty vad. V této normě se mimo jiné používají termíny krátké a dlouhé vady.

*Krátké vady* – označují takové vady, kdy jedna nebo více vad má celkovou délku menší než 25mm na 100mm délky svaru, nebo největší naměřená délka vady je rovna max. 25% celkové délky svaru kratšího než 100mm.

*Dlouhé vady* – jsou takové, kdy jedna nebo více vad má celkovou délku větší než 25mm na 100mm délky svaru, nebo přesahuje-li naměřená délka vady 25% celkové délky svaru kratšího než 100mm.

## 6 Kontrola jakosti svarových spojů

Kontrola jakosti svarových spojů by už měla být posuzována při návrhu svarku z hlediska technologičnosti a z hlediska svařování, abychom zamezili výskytu vad, popřípadě co nejrychlejší odstranění.

Proto můžeme kontrolu rozdělit na kontrolu před zahájením, během svařování, kontrolu po ukončení svařování a na kontrolu po určité době provozu svarku.

Kontrola před zahájením svařování by měla zajistit použití předepsaných základních a přídatných materiálů, správné sestavení svarku, jeho geometrii, tvary a rozměry, čistotu svarových ploch a v neposlední řadě svářeče s požadovanou kvalifikací svářeče.

Při svařování se provádí kontrola svařovacích parametrů (velikost hořáku, postupová rychlost), dodržování předepsaného předehřevu a dohřevu.

Po ukončení svařování se mohou provádět zkoušky destruktivní nebo nedestruktivní.

## 6.1 Nedestruktivní zkoušky svarových spojů

Základní nedestruktivní metody používané pro kontrolu jakosti svarů dělíme podle toho, jestli zjišťujeme vady na povrchu nebo uvnitř svaru.

Ke zjišťování vad svaru na povrchu použije metody:

- vizuální
- magnetické práškové
- penetrační (kapilární)

pro vnitřní vady:

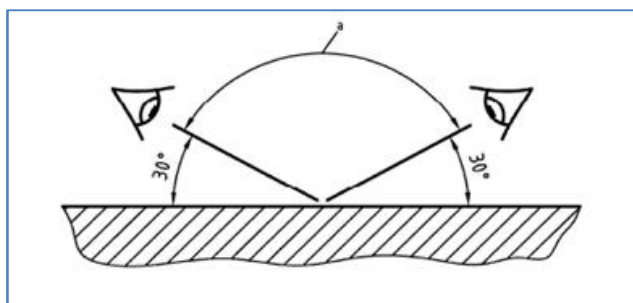
- prozáření
- ultrazvuk

### 6.1.1 Vizuální kontrola

Vizuální kontrola daná normou ČSN EN ISO 17637 slouží k předběžnému posouzení kvality svaru a zručnosti svářeče. Patří mezi nejjednodušší defektoskopické kontroly, které slouží pro zjišťování povrchových vad. Povrchovou kontrolu provádíme pomocí volného oka nebo lupy, popřípadě dalších pomůcek. Zjistíme tak povrchové a kořenové vady, jako jsou: neprovařený kořen, vady v napojení, krápníky, vpichy, zápaly, převýšení nebo nerovnoměrná kresba svaru.

Tuto kontrolu provádí pouze kvalifikovaná a způsobilá osoba. Doporučuje se, aby osoba byla kvalifikována dle ISO 9712. [19]

Pro přímou kontrolu musí být osvětlení minimálně 350lx doporučuje se však 500lx. Při kontrole má být vzdálenost očí od vzorku do 600mm a to pod úhlem ne menším než je 30° (viz. obrázek č. 29)



obr. 29 Pohled na vzorek svaru [19]

Pro nepřímou kontrolu je zapotřebí zvažovat použití zrcadel, optických vláken popřípadě kamer. V případě, kdy není možno dobře rozlišit vady od pozadí, můžeme pro zvýšení kontrastu použít doplňkový zdroj světla.

Pokud je výsledek vizuální kontroly nepřesvědčivý, doporučuje se kontrolu doplnit jinou metodou nedestruktivní zkoušky pro kontrolu povrchu.

Vizuální kontrolu můžeme provádět před svařováním, kam patří kontrola tvaru a rozměru svaru, dále opracování povrchu a správnost sestavení svaru dle dokumentace. Následně při svařování, kdy kontrolujeme jednotlivé housenky popřípadě vrstvy svarového kovu jejich očištění, zda nejsou viditelné vady, dále přechody mezi svarem a základním materiálem. Nakonec po dokončení svaru kontrolujeme, zda splňuje veškeré požadavky.

Pro kontrolu svaru je zapotřebí, aby svar byl zbaven všech nečistot, které by zakrývaly svar (struska, rozstřík).

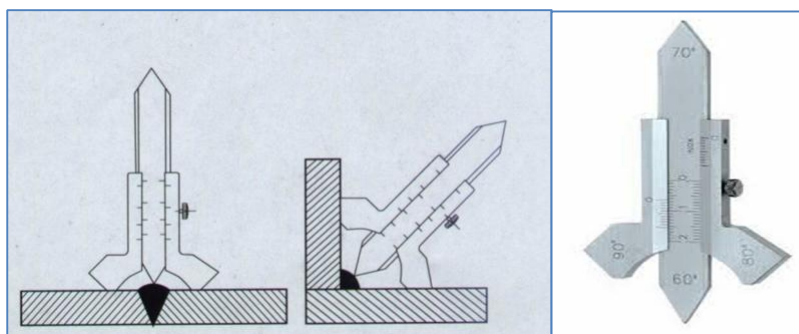
Pomůcky pro vizuální kontrolu:

**Jednoduchá měrka svaru** s možností kontroly tloušťky koutových svarů (od 3mm do 15mm, měrka se umístí zakřivenou částí tak, aby se dotýkala ve třech bodech dílů) a měrka tupých svarů pro měření převýšení obě měrky jsou na obr. 30.



obr. 30 Jednoduchá měrka svaru

**Měrka svaru s noniem** na obrázku 31 se používá ke kontrole jak koutových, tak i tupých svarů. Ramena měrky jsou provedena tak, že umožňují u V-svaru měření úhlu otevření 60°, 70°, 80° a 90°. Nepatrné odchylky od těchto úhlů vedou k významným vadám.



obr. 31 Měrka svaru s noniem

### 6.1.2 Metalografické zkoušky

Ověřování a kontrola struktury materiálu se provádí na řezu materiálu nebo svarového spoje. Řezná plocha se pečlivě obrousí a vyleští, nejprve brusnými papíry, pak kotouči s plstí a leštícím práškem. Upravený výbrus se naleptá vhodným leptadlem (nital, kyselina solná apod.). Takto nerovnoměrně naleptaná struktura se pozoruje při šikmém osvětlení.

### ***Makroskopické zkoušky***

Makrostrukturu je možno pozorovat pouhým okem, nebo jen s malým zvětšením. Sleduje se výskyt vad (zejména studených spojů), uložení jednotlivých vrstev svarového spoje a rozsah ovlivněného pásma. Příprava vzorků není náročná a naprostá rovinnost vzorku není zpravidla nutná, více však záleží na tom, aby vzorek nebyl při přípravě tepelně ovlivněn nebo plasticky deformován. Velikou pozornost je třeba věnovat odmaštění a vysušení vzorku.

### ***Mikroskopické zkoušky***

Pro sledování mikrostruktury je třeba použít světelný mikroskop, se zvětšením 100 až 2000krát, kdy je možno pozorovat jednotlivá zrna a rozložení všech součástí struktury. Dokumentace struktur se provádí fotograficky.

## **6.2 Destruktivní zkoušky**

Destruktivní zkoušky jsou takové, při kterých dojde ke zničení daného svaru (rozřezáním, rozlomením, leptáním atd.). Na lomových nebo řezných plochách můžeme sledovat všechny druhy vnitřních vad a podle jejich výskytu ohodnotit svar.

Nejpoužívanější destruktivní zkoušky:

- zkouška tahem (ČSN EN 895)
- zkouška rázem v ohybu (ČSN EN 875)
- zkouška lámavosti (ČSN EN 910)
- zkouška tvrdosti (ČSN EN 1043-1)
- makroskopická kontrola svaru (ČSN EN 1321)
- zkouška rozlomením (ČSN EN 1320)

## **7 Experimentální analýza vad svarů**

Základem experimentální práce bylo navržení postupů a způsobů svařování vedoucích ke vzniku vad, které vznikají při základním kurzu svařování v ochranné atmosféře se zaměřením na vznik vad u I svaru.

### **7.1 Výchozí podmínky pro experiment**

Pro experiment byl zvolen I svar, při němž se dá popsati několik druhů vad svaru při změně jednotlivých parametrů, jako jsou napětí, proud a průtok ochranného plynu. Změnou těchto parametrů se hodnotil jejich vliv na vznik jednotlivých vad svaru. Pro jednotlivé parametry byly stanoveny následující vstupní podmínky pro hodnocení vzniku vad svaru.

#### **Základní materiál**

Jako základní materiál byla použita ocel třídy 11 (11373) předepsaného chemického složení, které je uváděno v materiálových listech výroby oceli. Jednotlivé vzorky byly vyhotoveny o rozměrech 200x50x3mm pro daný postup svařování.

#### **Postup svařování**

Zvolen byl postup vpřed (viz. kapitola 4.5.1).

#### **Poloha a tvar svaru svařování**

Zvolena poloha PA – vodorovná shora, snadno proveditelná a nekladoucí velké nároky na svářeče.

#### **Přídavný materiál**

Přídavným materiálem byl drát s označením OK Autrod 12.56 o průměru 0,8mm pro svařování v ochranné atmosféře, vyráběný firmou ESAB VAMBERK, s.r.o.

#### **Ochranný plyn**

Jako ochranný plyn byl při svařování použit směsný plyn Corgon 18, který obsahuje 82% argonu Ar a 12% oxidu uhličitého CO<sub>2</sub>.

#### **Použité svařovací zařízení**

Použitým svařovacím zařízením byla poloautomatická svářečka Neomig 320 od firmy SELCO s měřicím zařízením pro měření proudu a napětí, které vidíme na obrázku 32. Velikost proudu a napětí se na svařovacím zařízení nastavuje přepínač, které lze nastavit do několika poloh.

Při otočení přepínače do jiných poloh se změní svařovací proud i napětí.





obr. 32 svařovací zařízení

## 7.2 Vyhotovení vzorků pro experiment

Vzorky pro experiment byly zhotoveny zkušeným pracovníkem s dlouholetou praxí a znalostí, jak nastavovat parametry, aby byly dodrženy základní podmínky pro experiment, co se týče sklonu a postupové rychlosti hořáku. Tento pracovník vyučuje na Středním odborném učilišti strojírenském, odštěpný závod Škoda Auto a. s. třída Václava Klementa 869 Mladá Boleslav, kde se provádí základní kurz svařování (ZK 135 1.1 dle normy ČSN 050705) ve studijním programu několika učebních oborů.

### Počet vzorků

Celkem bylo vyrobeno sedm vzorků s rozdílným nastavením svařovacích parametrů (napětí, proud a průtok ochranného plynu)

### Rozměry vzorků

Jednotlivé vzorky měly následující rozměry 200 x 100 x 3

### Označení jednotlivých vzorků

Na vzorky byly vyraženy číslice od 1 do 7, kdy 1 byl vzorek s předepsaným napětím, posuvem a průtokem pro svařování pro všechny experimenty. Dvojka vzorek s nižším napětím, stejným posuvem a průtokem plynu; trojka vzorek s vyšším napětím, stejným posuvem a průtokem plynu; čtyřka vzorek s předepsaným napětím a průtokem plynu, ale menším posuvem drátu; pětka vzorek s předepsaným napětím a průtokem plynu, ale větším posuvem drátu; šestka vzorek s předepsaným napětím a posuvem drátu, ale nižším průtokem plynu a sedmička vzorek s předepsaným napětím a posuvem drátu, ale vyšším průtokem plynu. Jednotlivé vzorky se nachází na obr. 33 - 39 a parametry v tabulce 2.

Tabulka 2. Parametry jednotlivých vzorků

| Vzorek číslo | Napětí U [V] | Proud I [A] | Průtok plynu   |
|--------------|--------------|-------------|----------------|
| 1            | 4 [18,8 V]   | 4 [117 A]   | 12litrů/minutu |
| 2            | 2 [16,1 V]   | 4 [115 A]   | 12litrů/minutu |
| 3            | 6 [21,6 V]   | 4 [111 A]   | 12litrů/minutu |
| 4            | 4 [18,9 V]   | 2 [78 A]    | 12litrů/minutu |
| 5            | 4 [18,4 V]   | 6 [142 A]   | 12litrů/minutu |
| 6            | 4 [18,3 V]   | 4 [109 A]   | 6litrů/minutu  |
| 7            | 4 [18,5 V]   | 4 [112 A]   | 18litrů/minutu |

### 7.3 Zhotovení základního vzorku č.1

Zhotovení základního vzorku č. 1, který sloužil k porovnávání ostatních vzorků, svařovaných s jinými svařovacími parametry. Při svařování vzorku č. 1 byl stabilní oblouk a svar se tavil žádoucím způsobem. Elektrický oblouk dosáhl správné délky a přídavný materiál se přenášel po kapkách formou pravidelných krátkých spojení. Výsledkem byl rovný a hladký svar bez rozstříku a s perfektním spojením se základním materiálem, který je vidět na obrázku 33a (horní část svaru) a na obr. 33b (kořenová část svaru)



obr. 33 a) horní část svaru



b) kořenová část svaru

## 7.4 Svařování vzorků se změnou napětí

U svařování vzorků se změnou napětí se změnilo napětí proti původnímu vzorku č. 1 dle tabulky, a to u vzorku č. 2 byl o 2,7 V nižší a u vzorku č. 3 byl o 2,8 V vyšší.

Svařování vzorku č. 2 probíhalo při nízkém napětí, kdy tepelný efekt oblouku nebyl dostatečný, aby se drát stačil odtavovat. Výsledkem byla příliš malá délka oblouku. Bylo cítit, jako by se přídavný materiál nepatrně odrážel od nenataveného základního materiálu. Nižší teplota způsobila, že se svarová lázeň neroztavila dostatečně. Výsledkem byl vysoko převýšený svar se špatným průvarem, který je vidět na obrázcích 34a,b.



obr. 34 a) horní část svaru



b) kořenová část svaru

U vzorku č. 3 vedlo zvýšené napětí k tomu, že podavač nestíhal podávat drát dostatečně rychle. Oblouk se příliš prodloužil a stal se nestabilním, nastala krátká nepravidelná spojení a vytvořil se rozstřík, svar se příliš snížil a vznikly zápaly na okraji svarové housenky. Vše je vidět na obrázcích 35a,b



obr. 35 a) zápaly na okraji housenky



b) rozstřík

## 7.5 Svařování vzorků se změnou proudu (posuv drátu)

U svařování vzorků se změnou proudu se měnil proud proti původnímu vzorku č. 1 dle tabulky a to tak, že u vzorku č. 4 byl o 39 A nižší a u vzorku č. 5 byl o 25 A vyšší.

Svařování vzorku č. 4 probíhalo při malém proudu, kdy tepelný efekt oblouku nebyl dostatečný, aby se drát stačil odtavovat. Výsledkem byla příliš malá délka oblouku. Bylo vidět, jak se tvoří velké kapky, které dopadaly do svarové lázně a do nenataveného základního materiálu. Nižší teplota způsobila, že se svarová lázeň neroztavila dostatečně. Výsledkem byl mírně převýšený svar se špatným průvarem, který je vidět na obrázcích 36a,b.



obr. 36 a) mírně převýšený svar



b) neprůvar svaru

Svařování vzorku č. 5 probíhalo při velkém proudu, kdy docházelo k rychlému roztavení a minimálnímu rozstříku. Tepelný efekt oblouku byl příliš velký. Dosáhlo se hladkého povrchu svaru a vysoké kvality svarového kovu. Výsledkem, ale byl mírně propadlý svar s velkým průvarem v kořeni svaru viz obrázky 37a,b.



obr. 37 a) horní část svaru



b) kořen svaru

## 7.6 Změna průtoku ochranného plynu

U svařování vzorků se změnou průtoku ochranného plynu se měnil průtok proti původnímu vzorku č. 1 dle tabulky a to tak, že u vzorku č. 6 byl o 6 litrů/minutu nižší a u vzorku č. 7 byl o 6 litrů/minutu vyšší.

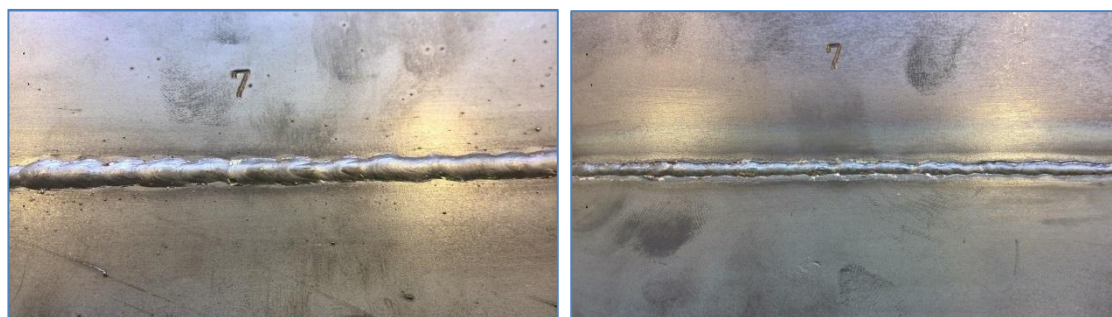
Při svařování vzorku č. 6 byl stabilní oblouk a svar se taval žádoucím způsobem. Elektrický oblouk dosáhl také správné délky a přídavný materiál se přenášel po kapkách formou pravidelných krátkých spojení. Výsledkem byl rovný a hladký svar bez rozstříku a s perfektním spojením se základním materiálem, který je vidět na začátku svaru, poté došlo ke snížení průtoku ochranného plynu. Po snížení plynu na 6 litrů za minutu se okamžitě projevilo, že se svařuje s nižším průtokem ochranného plynu. Došlo k tvorbě bublin a pórů, kořen svaru je neprovařen. Vše vidíme na obrázcích 38a,b.



obr. 38 a) horní část svaru

b) kořen svaru

Při svařování vzorku č. 7 byly stejné hodnoty napětí i proudu. Stabilní oblouk a svar se taval žádoucím způsobem. Svar byl rovný a hladký, bez rozstříku a s perfektním spojením se základním materiálem, který je vidět na obrázkách 39a (horní část svaru) a 39b (kořenová část svaru). Při svařování nedocházelo k žádným viditelným vadám svaru.



obr. 39 a) horní část svaru

b) kořenová část svaru

## 8 Závěr

Smyslem této práce bylo zjistit, jaký vliv mají jednotlivé základní parametry, jako jsou napětí, proud (posuv drátu) a průtok ochranného plynu, na tvorbu jednotlivých vad při svařování v základním kurzu. Vzorčky byly zkontrolovány dle předepsaných zkoušek a příslušných norem, které jsou uvedeny v textu.

Při vizuální zkoušce, která byla dostatečná pro získání svářečského oprávnění pro svařování v ochranné atmosféře, bylo zjištěno, že při změně jednotlivých parametrů dochází k hrubým chybám, které nevyhovují předepsaným normám. I přes velkou snahu svářeče zamezit vzniku vad, došlo k minimálním výkyvům u jednotlivých vzorků, které byly zapříčiněny lidským faktorem, jako jsou svařovací rychlost, sklon hořáku, vzdálenost hořáku od základního materiálu.

Dále je v práci popsáno, jak jednotlivé parametry ovlivňují daný svar a jaké vady svaru vznikají. Proto je zapotřebí správně nastavit základní parametry, které vedou ke vzniku kvalitního spojení základního materiálu.

Svařování je složitý proces, jehož zvládnutí vyžaduje sladění všech faktorů, které tento proces ovlivňují, aby byla zabezpečena požadovaná jakost a správné fungování koncového výrobku. Díky tomu je pouze vizuální zkouška nedostatečná. Pro opravdu kvalitní svar by bylo zapotřebí provést i některé z další zkoušek, poté bude mít svar dobrý předpoklad pro bezpečnost, spolehlivost a správnou funkci těchto výrobků.

Vzhledem k neustále se zvyšujícím požadavkům na jakost svarů a boji o zákazníky uspějí pouze ti nejlepší, šance ostatních se v tomto boji snižují. Proto firmy zabývající se svařováním hledají nové postupy, které by vedly ke zvyšování kvality daných svarů při snížení vstupních nákladů na konstrukci svařovacího zařízení, snížení spotřeby napětí, proudu, ochranného plynu a přídavného materiálu.

## Použitá literatura

- [1] BARTÁK, J., KOVAŘÍK, R., PILOUS, V., a kolektiv.: *Učební texty pro evropské svářečské specialisty, praktiky a inspektory*. Ostrava, ZEROSS 2002
- [2] MINAŘÍK, V.: *Obloukové svařování*. Praha, Scientia 1998
- [3] TMĚJ, J., a kolektiv: *Teorie svařování*. Liberec, Vysoká škola strojní a textilní 1990
- [4] ČSN EN ISO 4063.: *Svařování a příbuzné procesy – přehled metod a jejich číslování*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2011. třídící znak 05 00 11
- [5] ČSN EN 22 553.: *Svarové a pájené spoje – Označování na výkresech*. Praha, Český normalizační institut, 1998.
- [6] SAMEK, E., STRINKA, R.: *Zváranie v ochrannej atmosfére taviacou sa elektrodou*. Bratislava, ALFA 1982
- [7] HLUCHÝ, M., KOLOUCH, J., PAŇÁK, R.: *Strojírenská technologie 2 – 1.díl. 2. vydání*. Praha, Scienta, spol. s r.o., Pedagogické nakladatelství, 2001. ISBN 80-7183-244-8
- [8] ČSN EN 440.: *Svařovací materiály – Dráty a svarové kovy pro obloukové svařování nelegovaných a jemnozrnných ocelí tavící se elektrodou v ochranném plynu*. Praha, Český normalizační institut 1997. třídící znak 05 5311
- [9] ČSN EN 758.: *Svařovací materiály – Plněné pro obloukové svařování s přívodem nebo bez přívodu ochranného plynu nelegovaných a jemnozrnných ocelí*. Praha, Český normalizační institut 1999, třídící znak 05 5501
- [10] Ing. Malina Z., *Učebnice pro základní kurz svařování tavící se elektrodou (MIG/MAG svařování), 5. Vydání Ostrava, ZEROSS 2000*
- [11] ČSN EN ISO 9692-1.: *Svařování a příbuzné procesy - Doporučení pro přípravu svarových spojů - Část 1: Svařování ocelí ručně obloukovým svařováním obalenou elektrodou, tavící se elektrodou v ochranném plynu, plamenovým svařováním, svařováním wolframovou elektrodou v ochranné atmosféře inertního plynu a svařováním svazkem* Praha, Český normalizační institut 2014, třídící znak 05 0025
- [12] ČSN 05 0000.: *Zváranie, Zváranie kovov, základní pojmy*. Bratislava 1987
- [13] ČSN EN ISO 6947.: *Svařování a příbuzné procesy- Polohy svařování*. Praha, Český normalizační institut 2011, třídící znak 05 0024
- [14] ČSN EN ISO 6502-1.: *Svařování a příbuzné procesy – Klasifikace geometrických vad kovových materiálů – Část 1: Tavné svařování*. Praha, Český normalizační institut 2008, třídící znak 05 0005

- [15] ČSN EN ISO 5817, *Svařování – Svarové spoje oceli, niklu, titanu a jejich slitin zhotovené tavným svařováním (kromě elektronového a laserového svařování) – Určování stupňů kvality*. Praha, Český normalizační institut 2014, třídící znak 05 0110
- [16] Doc. Dr. Ing. Němec, J., *Fyzikální a metalurgické základy obloukového svařování*. Praha, SNTL-Nakladatelství technické literatury 1977
- [17] Minařík, V., *Obloukové svařování*. Praha, Scientia, spol. s r. o., pedagogické nakladatelství 2003
- [18] Bartoš, J., ing. Bernas, J., Weinberg, J., *Obloukové svařování*. Ostrava, Zeross 1994
- [19] ČSN EN ISO 17637.: *Nedestruktivní zkoušení svarů - Vizuelní kontrola tavných svarů*. Praha, Český normalizační institut 2011, třídící znak 05 1180