



# VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

## FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

## ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

# VLIV SMĚRU SVAŘOVÁNÍ NA HLOUBKU PRŮVARU U MAG METODY

INFLUENCE OF WELDING DIRECTION ON DEPTH OF PENETRATION FOR MAG METHOD

## BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

## AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Radim Šmak

## VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Jaroslav Kubíček

BRNO 2016



# Zadání bakalářské práce

Ústav: Ústav strojírenské technologie  
Student: **Radim Šmak**  
Studijní program: Strojírenství  
Studijní obor: Strojírenská technologie  
Vedoucí práce: **Ing. Jaroslav Kubiček**  
Akademický rok: 2015/16

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

## Vliv směru svařování na hloubku průvaru u MAG metody

### **Stručná charakteristika problematiky úkolu:**

Svařováním tavicí se elektrodou v ochranné atmosféře aktivního plynu je realizován největší objem výroby svařovaných konstrukcí. Každá inovace procesu svařování má velký ekonomický význam. Stanovení přesných podmínek svařování je přínosem pro přípravu technologických postupů svařování - WPS.

### **Cíle bakalářské práce:**

1. Vypracovat literární studii svařování metodou MAG.
2. Vyhodnotit parametry a podmínky svařování, které mají vliv na hloubku průvaru.
3. Navrhnout parametry pro experimentální ověření jednotlivých vlivů na hloubku průvaru.
4. Provést a vyhodnotit experiment.

### **Seznam literatury:**

Ondrejček, P. (2003): Zváranie ocelí v ochrane plynov taviacou sa elektródou. ETERNA PRESS s.r.o. Bratislava.

Pilous, V. (2009): Materiály a jejich chování při svařování. Škola-welding, s.r.o. Plzeň.

Kolektiv autorů. (2011): Materiály a jejich svařitelnost. Škola-welding, s.r.o. Plzeň.

Kolektiv autorů. (2011): Technologie svařování a zařízení. Škola-welding, s.r.o. Plzeň

Kolektiv autorů. (2011): Navrhování a posuzování svařovaných konstrukcí a tlakových zařízení.

Škola-welding, s.r.o. Plzeň

Kolektiv autorů. (2011): Výroba a aplikované inženýrství ve svařování. Škola-welding, s.r.o. Plzeň

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2015/16

V Brně, dne

L. S.

-----  
prof. Ing. Miroslav Píška, CSc.  
ředitel ústavu

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

## **ABSTRAKT**

RADIM ŠMAK: Vliv směru svařování na hloubku průvaru u MAG metody

Tato bakalářská práce pojednává o vlivu směru svařování na hloubku průvaru v ocelovém materiálu S235JR při svařování metodou MAG. První teoretická část práce byla věnována popisu a technologii vybrané metody. Ve druhé – výzkumné části byly navrženy svařovací parametry a podmínky svařování; na základě nich byl proveden experiment. Z experimentu byla zjištěna hloubka průvaru, tepelně ovlivněná oblast a struktura kovu.

## **KLÍČOVÁ SLOVA**

Svařování, MAG, hloubka průvaru, elektrický oblouk, plyny.

## **ABSTRACT**

RADIM ŠMAK: Influence of welding direction on depth of penetration for MAG method

This bachelor thesis deals about Influence of welding direction on depth of penetration in S 235 JR steel for MAG welding. First theoretical part of the thesis was devoted to a description and technology of the chosen method. In the second practical part of the thesis was designed optimal welding parameters and conditions of welding. Based on them was performed an experiment. From the experiment was detected the depth penetration, heat affected zone and structure of the metal.

## **KEY WORDS**

Welding, MAG, depth of penetration, electric arc, gases.

## **BIBLIOGRAFICKÁ CITACE**

ŠMAK, Radim. *Vliv směru svařování na hloubku průvaru u MAG metody*. Brno, 2016. 48s, 2 přílohy, CD. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství. Ústav strojírenské technologie, Odbor technologie svařování a povrchových úprav. Vedoucí bakalářské práce Ing. Jaroslav Kubíček.

## **ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ**

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

V Brně dne 27. 5. 2016

.....  
podpis

## **PODĚKOVÁNÍ**

Děkuji tímto panu Ing. Jaroslavu Kubíčkovi za cenné rady, připomínky a za odborné vedení této bakalářské práce. Dále děkuji paní Jarmile Houdkové za výpomoc při preparaci vzorků.



# OBSAH

Zadání

Abstrakt

Bibliografická citace

Čestné prohlášení

Poděkování

Obsah

	Str.
<b>ÚVOD</b> .....	10
<b>1 ROZDĚLENÍ SVAŘOVÁNÍ, OZNAČOVÁNÍ A POLOHY</b> .....	11
<b>2 SVAŘOVÁNÍ METODOU MAG</b> .....	14
2.1 Technické zařízení .....	14
2.2 Elektrický oblouk.....	16
2.3 Přenosy kovu při svařování MAG.....	17
2.4 Přídavné materiály .....	18
2.5 Ochranné plyny.....	19
2.6 Řízení průběhu svařování .....	20
<b>3 PARAMETRY OVLIVŇUJÍCÍ HLOUBKU PRŮVARU</b> .....	21
<b>4 PARAMETRY EXPERIMENTU</b> .....	23
<b>5 EXPERIMENT</b> .....	24
5.1 Použité vybavení .....	24
5.2 Vlastní provedení experimentu.....	26
<b>6 VYHODNOCENÍ EXPERIMENTU</b> .....	38
<b>7 ZÁVĚRY</b> .....	39
Seznam použitých zdrojů	
Seznam použitých symbolů a zkratk	
Seznam obrázků	
Seznam tabulek	
Seznam příloh	

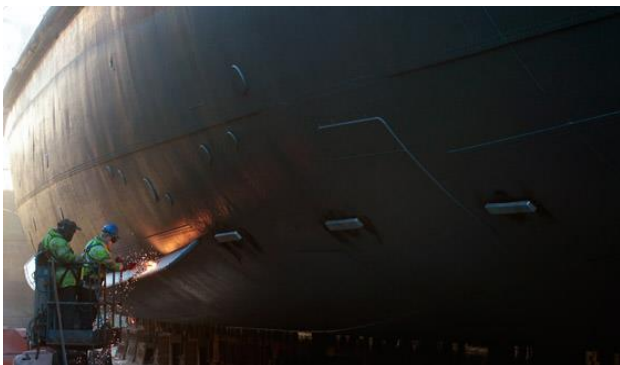
## ÚVOD [1], [2], [8], [17], [20]

Svařování je jednou z technologií, jako jsou tváření, obrábění, slévárenství a podobně. Patří mezi technologie zpracovávající největší objem kovových výrobků, a to obráběných odlévaných i tvářených. K úspěšnému pochopení svařování je nutné zvládnutí metalurgii kovů jak železných tak i neželezných, pochopení sekundární metalurgie, chemie, fyziky a v neposlední řadě nauky o materiálech.

Spojování materiálů svařováním má nezastupitelné místo ve výrobě nejrůznějších součástí, které by bylo neekonomické, nebo mnohdy neproveditelné za daných podmínek vyrábět odléváním, tvářením či obráběním. Uplatnění svařování je téměř ve všech odvětvích průmyslu; od největších konstrukcí mostů, budov a lodí (obr. 1), přes automobilový průmysl (obr. 2) až po svařování pod vodní hladinou (obr. 3) a v kosmických podmínkách.

Mezi hlavní nevýhody patří především ovlivnění struktury a vlastností materiálu v tepelně ovlivněné vrstvě, deformace svařence a obvykle i nutnost dalšího tepelného zpracování např. různých typů žíhání.

Svařování je poměrně dlouho známou technologií. Po dlouhou dobu bylo lidstvu známé pouze kovářské svařování ve výhni (obr. 4) vyhřívané hlavně uhlím. Teprve až v druhé polovině 19. století bylo objeveno svařování nejprve plamenové a poté využitím elektrické energie (elektrického oblouku a odporu). V dnešní době má v největší míře využití svařování elektrickým obloukem ať už tavící se nebo netavící se elektrodou v ochranné atmosféře nebo obalovanou elektrodou.



Obr. 1 Svařování lodního trupu [17]



Obr. 3 Svařování pod vodou [20]



Obr. 2 Uplatnění v automobil. průmyslu [1]



Obr. 4 Kovářské svařování [8]

# 1 ROZDĚLENÍ SVAŘOVÁNÍ, OZNAČOVÁNÍ A POLOHY [2], [10], [19], [21], [23]

Svařování lze definovat jako nerozebíratelné spojování strojních součástí a materiálů. Cílem svařování je vytvoření spoje jednoho či více dílů v požadovaném místě s dosažením předepsané jakosti tak, aby vyhovoval podmínkám pozdějšího provozu.

Rozdělení metod s pomocí kterých lze vytvořit svarový spoj jsou založeny především na zdrojích tepla nebo jiných faktorů, které umožňují splynutí svařovaných materiálů. Hlavní dvě skupiny metod jsou tavné a tlakové svařování.

## I Rozdělení metod svařování

Tavné svařování lze rozdělit na:

- a) Svařování elektrickým obloukem
  - svařování tavící se obalenou elektrodou
  - svařování tavící se elektrodou obloukové
  - gravitační obloukové svařování obalovanou elektrodou
  - obloukové svařování plněnou elektrodou bez ochranné atmosféry
  - svařování pod tavidlem
  - obloukové svařování s ochranným plynem
  - **svařování elektrickým obloukem v tavící se elektrodou v aktivním plynu MAG**
  - svařování elektrickým obloukem v tavící se elektrodou v inertním plynu MIG
  - svařování elektrickým obloukem v netavící se elektrodou v inertním plynu TIG (WIG)
- b) Svařování elektrostruskové
- c) Plazma
- d) Plazmový MIG
- e) Svařování elektrickým obloukem magneticky ovládaným
- f) Svařování elektronovým paprskem
- g) Svařování plamenem:
  - spalování kyslík + acetylén
  - spalování kyslík + vodík
- h) Slévárenské svařování
- i) Svařování světlem
- j) Svařování laserovými paprsky
- k) Svařování aluminotermickou reakcí
- l) Svařování elektroplynové
- m) Svařování indukční

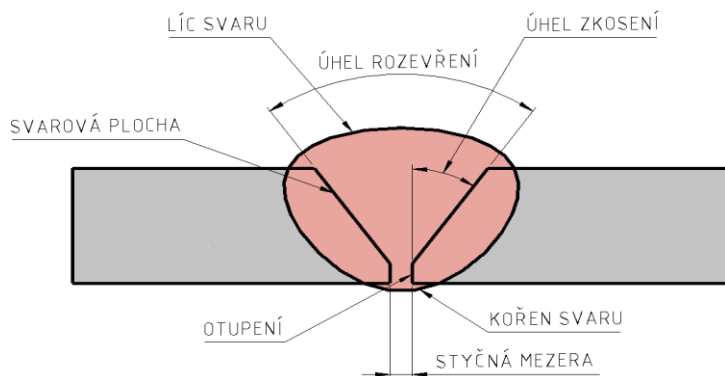
Tavné svařování lze rozdělit na:

- a) Difúzní svařování za studena
- b) Svařování elektrickým odporem
  - stykové
    - + stlačovací svařování
    - + odtavovací svařování
  - s přeplátováním
    - + odporové svařování bodové
    - + odporové svařování švové
    - + odporové svařování výstupkové
    - + odporové svařování vysokofrekvenční
- c) Indukční svařování

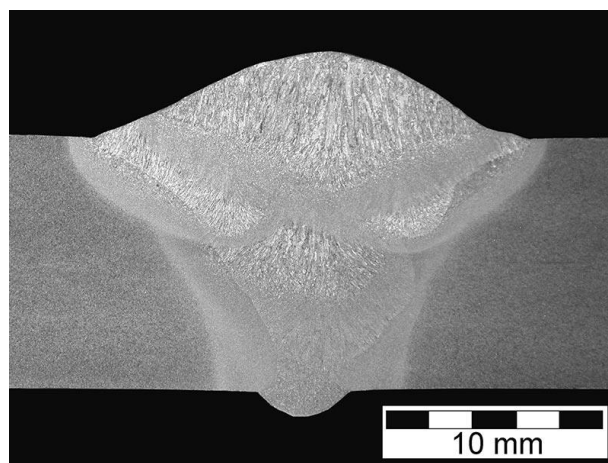
- d) Svařování v ohni
  - kovářské svařování
  - tlakové plamenové svařování
- e) Svařování třením
- f) Svařování ultrazvukem
- g) Svařování výbuchem

## II Názvosloví a uspořádání svarového spoje

Plochy svařovaného materiálu musí být tvarově přizpůsobeny pro provedení konkrétního svaru. Tvarem svařovaných ploch lze korigovat velikost deformace vzniklé při tepelném smrštění tavné lázně a zajistit ideální hloubku závaru. Na obr. 5 je předvedeno základní názvosloví svarového spoje s provedenou jedinou svarovou housenkou. Další možností je postupné navařování mnoha housenek, postupně jednu přes druhou až do vyplnění prostoru svaru. Tento způsob je používán při svařování zvláště tlustých materiálů, které by nebylo možné efektivně svařit jedinou housenkou. Při této metodě mohou mít různé vrstvy housenek odlišné parametry, např. rychlost podávání drátu, tepelný příkon či svařovací proud. Toto uspořádání je předvedeno na obr. 6.



Obr. 5 Názvosloví svarového spoje [19]



Obr. 6 Vícevrstvý svar [10]

### III Označování svarů

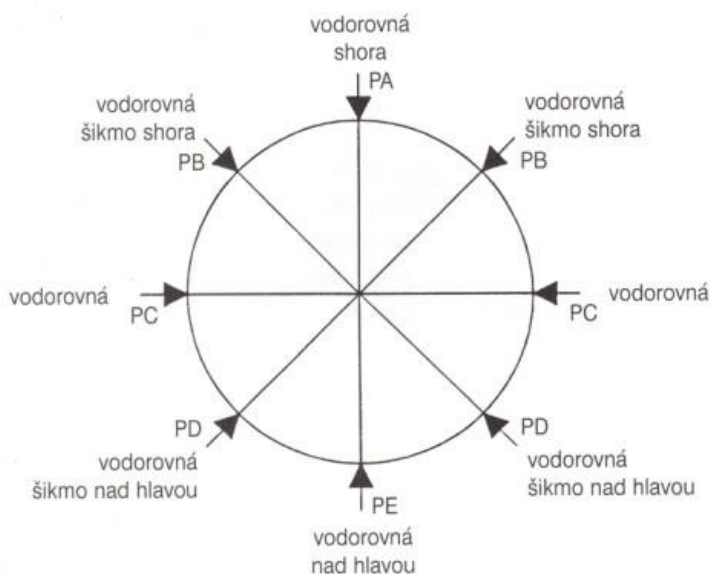
Označování svarů vyplývá z polohy, tvaru a opracování spojovaných ploch u svařovaných materiálů. V tabulce č. 1 jsou uvedeny nepoužívanější svary včetně značek a schématického zobrazení.

Tab. 1 Značení svarových spojů [23].

Svar	Zobrazení	Značka	Svar	Zobrazení	Značka	Svar	Zobrazení	Značka
I			W		W	Švový		
V		V	U		Y	Bodový		
½V		✓	½U		Ƴ	Děrový		
Y		Y	Lemový			Oblý V		
½Y		Ƴ	Koutový		△	Oblý ½ V		

### IV Polohy svařování

Podle normy ČSN EN ISO 6947 existují základní polohy svařování (viz obr. 7). Polohy jsou pro názornost umístěny na pomyslný kruh plynule zobrazující přechody jednotlivých poloh. Nejvhodnější polohou zajišťující největší komfort a mající nejmenší požadavky na schopnosti svářeče je poloha vodorovná shora označovaná PA. Při této poloze se příznivě utváří tavná lázeň, roztavený kov nemá tendenci stékat ani odkapávat. Naopak nejnáročnější je pro provádění svarů poloha vodorovná nad hlavou označovaná PE. Rizikem této polohy je možné odkapávání roztaveného kovu a nepříznivé utváření tavné lázně.



Obr. 7 Polohy svařování [21]

## 2 SVAŘOVÁNÍ METODOU MAG [2], [9], [16]

Svařování metodou MAG, čili svařování elektrickým obloukem tavící se elektrodou v ochranném aktivním plynu je v dnešní době druhou nejvíce používanou metodou svařování. Oproti jiným metodám jako jsou například svařování obalovanou elektrodou nebo plamenem má metoda MAG (MIG) značné výhody. Významnou předností této metody je možnost automatizace, čehož je využito především při výrobě automobilů na robotizovaných linkách stejně tak je MAG vhodný do běžných dílen pro ruční svařování nepřístupných nebo méně náročných svarů na materiálech od tenkých plechů při karosářských a jiných pracích až po svařování těžkotonážních stavebních konstrukcí. Další předností jsou dobře regulovatelné parametry svařování, možnost řízeného přenosu kovu mezi tavící se elektrodou a svařovaným materiálem. Nevýhodou metody je například možnost ochuzování vrstvy ochranného plynu vlivem povětrnostních vlivů při svařování v drsných podmínkách nebo už samotná nutnost ochranného plynu v tlakových lahvích, což jednak výrazně zvětšuje objem aparatury a v neposlední řadě i zvětšuje náklady svařovací aparatury. Aparatura pro svařování metodou MAG je podrobně popsána v kapitole 2.1 Technické zařízení.

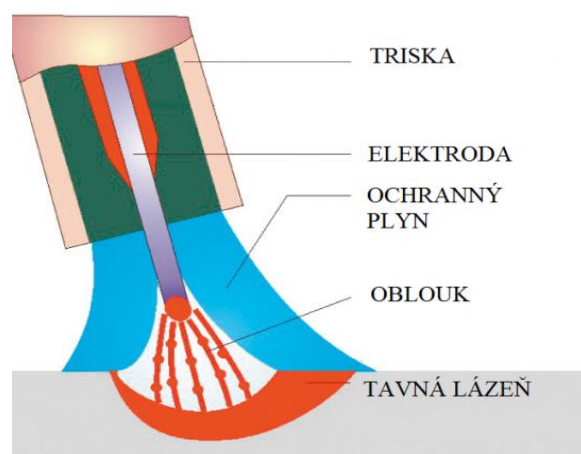
Technologie MAG je založena na principu svařování průběžně se odtavující elektrodou – drátem, který je v podobě cívky umístěn v podavači drátu. Tento drát posléze prochází sdruženou hadicí až ke trysce (hořáku), ve kterém vyústí jako elektroda, tak hadice přivádějící ke sváru a jeho okolí ochranný plyn, který může být jak aktivní (reagující se svařovaným kovem) založený na  $\text{CO}_2$  pro metodu MAG, tak inertní (nereagující se svařovaným kovem) založený např. na argonu pro metodu MIG.

Zdrojem tepla pro MAG je elektrický oblouk hořící mezi odtavující se elektrodou a základním materiálem (viz obr. 8). Přenos kovu může být dle nastavených parametrů zkratový, sprchový, impulzní apod. (Způsoby přenosu kovu jsou podrobněji popsány v kapitole 2.3 Přenos kovu.)

Obvykle se svařuje za použití stejnosměrného proudu při nepřímém zapojení, tj. elektroda (drát) je na kladném pólu a svařovaný materiál je přes uzemňovací kabel připojen na záporný pól.

Hlavními parametry ovlivňujícími jakost svarového spoje a tedy i hloubku průvaru jsou:

- napětí
- proud
- rychlost podávání drátu
- výlet drátu
- rychlost posuvu svařování
- směr svařování.



Obr. 8 Schéma - MAG [16]

### 2.1 Technické zařízení [2], [9], [11], [13]

Hlavní části aparatury pro svařování metodou MAG jsou: zdroj proudu, podavač drátu (elektrody), hořák a lahve na stlačený ochranný plyn. Podle výkonu a parametrů svařování se dále mohou přidávat prvky vybavení, jako různé chladiče hořáku, zařízení pro přepravu

celé aparatury (vozíky apod.) nebo různá zařízení pro automatický chod svařování a ruční dálkové ovládání.

#### a) Zdroje proudu

Jako zdroj elektrického proudu pro svařování metodou MAG se využívají zařízení s nejčastěji stejnosměrným výstupem. Obvykle je použito nepřímého zapojení tj. kladná svorka zdroje je umístěna na svařovací hořák a záporná svorka ke svařovanému materiálu.

Nejpoužívanějšími zdroji jsou usměrňovače nebo inventory s plochou a statickou VA charakteristikou. Častým vybavením jsou také různá zařízení s automatickou schopností regulace a udržování rovnoměrné délky elektrického oblouku. Podmínkou pro samočinnou regulaci je konstantní rychlost podávání elektrody (drátu) z podávacího zařízení. Délka oblouku má zásadní vliv na rychlost odtavování drátu, a tím i na celkové provedení svaru.

Toto jsou hlavní typy zdrojů pro svařování metodou MAG:

- Svařovací aparatury pro svařování nízkými proudovými hodnotami situované do jediné skříně spolu s podávacím zařízením. Svařovací proudy pro tyto aparatury jsou nízké – okolo 200 A. Chlazení hořáku je realizováno průtokem plynu.
- Výkonné zdroje s vlastním chlazením umístěným v jedné skříně. Podávací zařízení je umístěno mimo hlavní skříň. Obvyklý proud je přibližně 500 A.
- Dalším typem aparatury je tzv. stavebnicové uspořádání. Jednotlivé komponenty jsou oddělené z důvodu snadnější výměny nebo vhodnosti použití. Takové uspořádání bývá nejčastěji umístěno na vozíku usnadňujícím manipulaci. Vozík je osazen konzolou pro přepravu tlakových lahví.
- Zdroje po svařování především tenkých hliníkových plechů. V tomto uspořádání je podávací zařízení situováno přímo do hořáku.

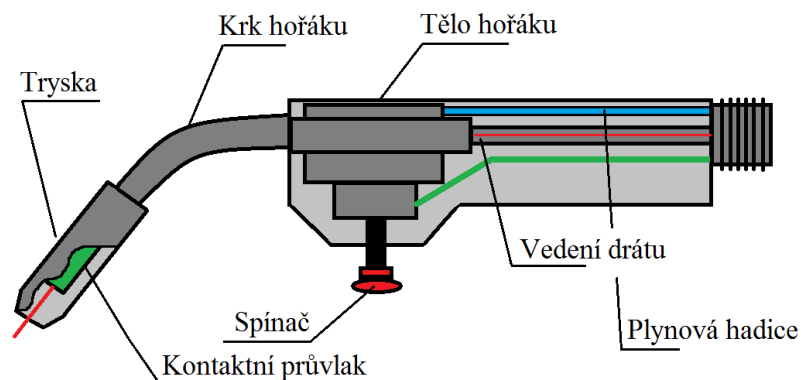
#### b) Podavače drátu

Podavač drátu slouží pro přívod elektrody do místa svaru. Je kladen důraz na plynulost podávání, což má vliv na délku oblouku a celkově na vlastnosti svaru. Podavač musí zabezpečit, aby nedocházelo k deformaci podávaného drátu a jeho poškození. Z konstrukčního hlediska jsou používány konstrukce dvou, tří nebo čtyřkladkové, v závislosti na použitém drátu. Pro potřeby této bakalářské práce byl použit čtyřkladkový podavač.

#### c) Svařovací hořáky

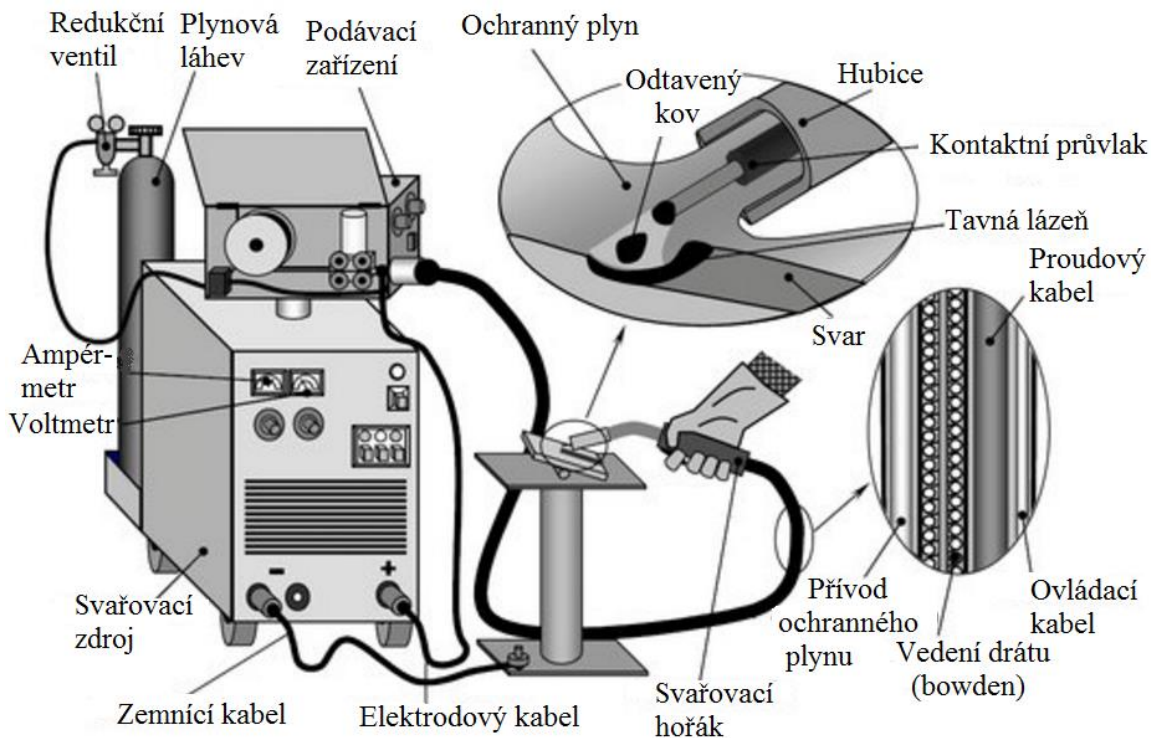
Svařovací hořák je zařízení pro přivádění ochranného plynu a drátu do bezprostředního okolí svaru. Drát je v hořáku napájen za pomoci kontaktního průvlastku vyrobeného z mědi obohacené chromem, který vyúsťuje v trysku, kterou laminárně proudí ochranný plyn. Pro hořáky s menšími výkony se chlazení zajišťuje pouze průtokem plynu. U větších výkonů jsou hořáky nuceně chlazeny proudící destilovanou vodou v uzavřeném okruhu.

Z hlediska konstrukce jsou upínací části hořáků přizpůsobeny buď ručnímu nebo strojnímu svařování, které má zpravidla válcovou upínací plochu. Schématické znázornění hořáku pro ruční svařování je na obr. 9.



Obr. 9 Schéma hořáku - MAG [13]

Celková aparatura pro svařování metodou MAG je pro lepší názornost uvedena na obr 10.



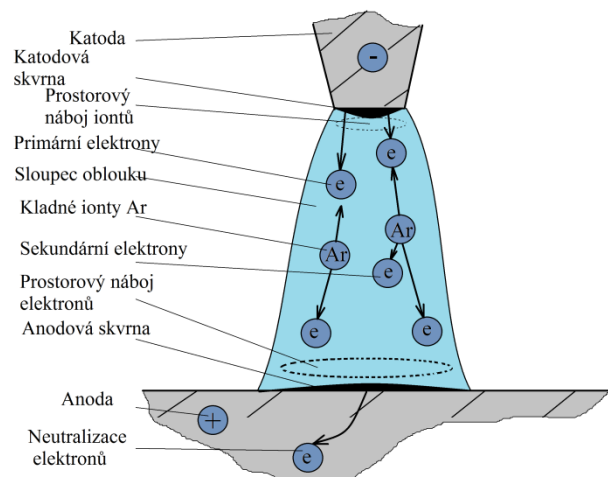
Obr. 10 Aparatura MAG [11]

## 2.2 Elektrický oblouk [2], [7], [9]

Elektrický oblouk je zdrojem tepla nutného pro roztavení elektrody a svařovaného materiálu. Vzniká jako nízkonapěťový elektrický výboj hořící mezi elektrodou a svařovaným materiálem v prostředí přehřátého ionizovaného plynu. Předpoklady pro stabilní hoření el. oblouku jsou: dostatečně vysoké napětí, aby docházelo k ionizaci vzduchu a dostatečně vysoký proud pro udržení plazmatického výboje.

Elektrický oblouk se skládá z těchto částí (schématické znázornění el. oblouku je i s popisem na obr. 11):

- Katodová skvrna:** je jasně vymezená oblast, která uvolňuje prvotní elektrony, které jsou využívány k zapálení elektrického oblouku a dále ionizuje plynné prostředí. Neutrální atomy plynu jsou těmito elektrony ionizovány na kladné ionty díky své velmi vysoké kinetické energii. Katodová skvrna může dosáhnout teploty až 2 600 °C.
- Anodová skvrna:** záporné částice, které dopadají na anodovou skvrnu jsou touto neutralizovány a odváděny mimo oblouk. Anodová skvrna může dosáhnout teploty až 3 000 °C.



Obr. 11 Elektrický oblouk [9]



- c) **Sloupec oblouku:** je výrazně zářivý, uvolňující UV záření oblast disociovaného a ionizovaného plynu, který se ve formě plazmy nachází mezi elektrodou a svařovaným materiálem, která může dosáhnout teploty až 7 000 °C.

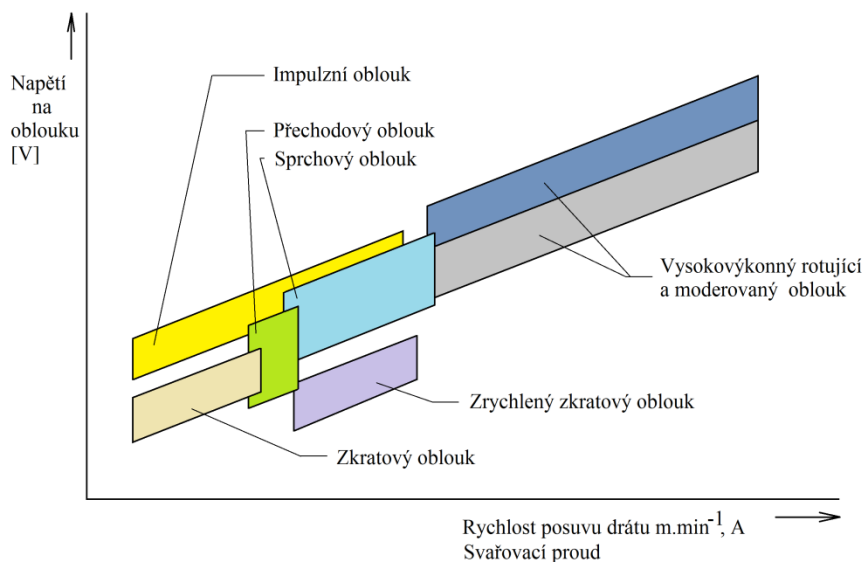
### 2.3 Přenosy kovu při svařování MAG [2], [6], [9]

V závislosti na svařovacím proudu, napětí a dalších parametrech (způsob svařování, ochranný plyn apod.) se také odlišuje přenos kovu v elektrickém oblouku. Jednotlivé typy přenosu

svarového kovu jsou graficky znázorněny na obrázku č. 12

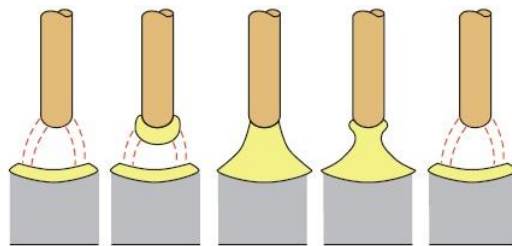
a podrobněji rozepsány níže. Přenos kovu také výrazně ovlivňuje tvar svaru, hloubku průvaru a převýšení housenky. Při určitých

přenosech kovu jsou také zvýšeny požadavky na podavače drátu.



Obr. 12 Přenosy kovu [2]

- a) **Krátký oblouk se zkratovým přenosem** (viz obr. 13): tento způsob přenosu se vyznačuje relativně malým svařovacím proudem (do 18 A) a napětím okolo 20 V. V průběhu svařování je oblouk opakovaně zhasen a právě v tomto okamžiku probíhá přechod kovu z elektrody do tavné lázně. Rychlost odlučování kapek je ovlivněna především napětím. S vzrůstajícím napětím se snižuje rychlost oddělování kapek z elektrody, která se pohybuje v řádu jednotek za sekundu. Průvodním jevem je značný rozstřík svarového kovu. S klesajícím napětím vzrůstá frekvence kapek až na stovky za sekundu. Tato metoda je vhodná pro svařování spíše tenkých plechů a kořenových vrstev.

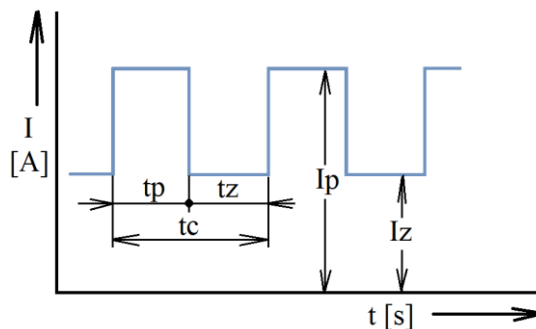


Obr. 13 Zkratový přenos kovu [6]

- b) **Krátký oblouk se zrychleným zkratovým přenosem:** pro tento typ přenosu jsou charakteristické průměrné hodnoty napětí i proudu. Drát se vlivem proudu taví a na konci elektrody tak narůstá jakási kulička z roztaveného kovu, která se vlivem fyzikálních sil posune mimo osu drátu. V určité fázi se tato oddělí od konce elektrody a je prudce vržena do tavné lázně. Frekvence kapek je malá v řádu desítek za sekundu. Průvodním jevem je opět značný rozstřík a hrubá housenka.
- c) **Sprchový bezzkratový přenos:** přenos kovu probíhá při vyšších hodnotách napětí i proudu. Podmínkou je ochranná atmosféra ze směsného ochranného plynu (oxid uhličitý a argon). V atmosféře z čistého oxidu uhličitého mají jednotlivé kapky kovu příliš vysoké povrchové napětí, což zabraňuje tvoření dostatečně malých kapek pro realizaci sprchového přenosu.

Oblouk při sprchovém přenosu nezhasíná, a tudíž se do okolí svaru uvolňuje značné množství tepla, což může zapříčinit deformace svařence. Tvar housenky je pravidelný, čistý a vyznačuje se plynulým přechodem do základního materiálu.

d) **Impulzní bezkratový přenos:** při využití impulzního přenosu je kov dopravován do tavné lázně elektronicky řízeným obloukem. Oblouk je ovládán pravidelným kolísáním proudu vysílaného řídicí jednotkou. Tvar proudové křivky může být pravoúhlý nebo u novějších zařízení může být tato křivka ještě různě upravována v závislosti na svařovaném materiálu. Frekvence se musí přizpůsobit zvolenému proudu. Se zvyšujícím se proudem vzrůstá i frekvence uvolňování kapek. Křivka se skládá z impulzního ( $I_p$ ) a základního ( $I_z$ ) proudu a časů: impulzního ( $t_p$ ) a základního ( $t_z$ ). Součtem těchto 2 časů je získán cyklus ( $t_c$ ) = frekvence svařovacího cyklu. Křivka je uvedena na obrázku č. 14.



Obr. 14 Průběh impulzního přenosu [9]

## 2.4 Přídavné materiály [2], [9], [12], [18]

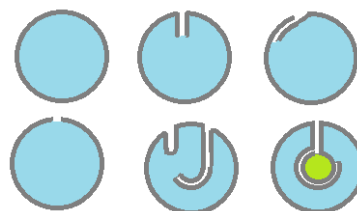
Pro svařování MAG, které se používá pro rozličné materiály a typy svarů se vyrábí velké množství druhů přídavných materiálů - drátů. Každý materiál a typ svaru vyžaduje jiný drát nebo typ drátu.

Z hlediska konstrukce jsou vyráběny dráty plné nebo plněné. Od výrobce je drát dodáván na plastových nebo z drátu vyrobených cívkách. Zákazník si může zvolit z široké řady hmotností cívek, jejichž hmotnost se pohybuje v řádu kilogramů, a to od 5 do 30 kg. Obvyklá hmotnost cívky je 15 kg. Pro potřeby robotizované výroby např. v automobilních výrobních linkách lze použít až 200 kg vážící cívky. Takto rozměrné cívky umožňují maximálně prodloužit časové intervaly pro výměnu cívek ve stroji.



Obr. 15 Cívka drátu

a) **Plné dráty:** jsou nejčastěji používané a méně finančně nákladné než dráty plněné. Vyrábí se v široké řadě průměrů: 0,6; 0,8; 1,0; 1,2; 1,6; 2,0 a 2,4. Drát je dodáván na cívkách (viz obr. 15), za pomoci kterých je upevněn v podavači. Při uskladňování je nutné dbát, aby nebyl drát vystaven nepříznivým podmínkám pro zamezení oxidace. Všeobecně se doporučuje nevystavovat cívky drátu vlhkosti nad 50 % a teplotě pod 10 °C. Cívky jsou částečně chráněny zatavením v plastových fóliích. Každá cívka je označena štítkem obsahujícím všechny potřebné informace o materiálu, označení výrobce, hmotnosti apod.



Obr. 16 Plněné dráty [18]

b) **Plněné dráty:** jsou přídavné materiály se specifickými vlastnostmi a výrazně měnící vlastnosti svařování. Z hlediska konstrukce se plněné dráty rozdělují na bezešvé trubičky a na tvarově uzavřené profily. Jednotlivé typy jsou předvedeny na obr. 16.

## 2.5 Ochranné plyny [2], [7], [9], [12]

Oproti svařování obalovanou elektrodou, kde je role ochrany a obalení tuhajícího svarového kovu realizovaná pomocí obalu elektrody, je při svařování metodou MAG (MIG, TIG) použito ochranného média ve formě plynu.

Hlavním úkolem ochranné atmosféry je ochrana roztaveného a tuhajícího svarového kovu před vlivy okolního prostředí, konkrétně kyslíku a dusíku obsaženého ve vzduchu. Předně je to zabránění oxidace a nitridace, což značně poznamenává mechanické vlastnosti kovu. Dalším požadavkem je vytvoření vhodného ionizačního prostředí pro stabilní hoření oblouku, vytvořit prostředí pro vhodné uvolňování kapiček odtavovaného kovu z elektrody a svou měrnou hmotností umožnit vytvoření dostatečného tlaku proudu plazmatu pro realizování požadovaného průvaru.

Pro svařování metodou MAG jsou používány aktivní plyny na bázi  $\text{CO}_2$  (oxidu uhličitého). Čistý oxid uhličitý je v současnosti méně používaný, pro dnešní požadavky se více zapojují směsné plyny, obsahující oxid uhličitý ve směsi s jinými plyny, nejčastěji argonem, argon + helium, argon + helium + kyslík apod.

- a) **Oxid uhličitý:** je základním aktivním plynem pro svařování MAG. Jedná se o snadno dostupný nehořlavý plyn s vysokou měrnou hmotností  $1,98 \text{ kg}\cdot\text{m}^3$ . Tento se díky své hustotě dobře osvědčuje při svařování poloh PA, PB a PC. Má vynikající tepelnou vodivost a při tepelném účinku vyvolaném elektrickým obloukem a exotermickou reakcí má tento plyn předpoklady pro vytvoření hlubokého průvaru a dobrému přechodu svarové housenky do základního materiálu. Atmosféra z  $\text{CO}_2$  díky své vysoké hustotě vytváří značné povrchové napětí svarového kovu opouštějícího elektrodu a má snahu vytvářet velké kuličky tohoto kovu, což má za následek značný rozstřík do okolí svaru a může způsobit problémy při nastavení optimálních parametrů svarového procesu. Plyn je dodáván v lahvích o objemu 20 a 40 l. Čistota plynu je většinou 99,5 % a obsah vodních par nesmí přesáhnout 0,04 %, jinak je zvýšené riziko nadměrné oxidace svaru.
- b) **Kyslík:** plyn těžší než vzduch, podporuje oxidační hoření kovu. Nejvíce se používá jako složka směsného plynu k argonu v koncentraci od 0,03 % až 3 %. Kyslík výrazně přispívá ke zvýšení povrchového napětí a zvýšení tekutosti tavné lázně. Výhodou je zlepšení povrchu housenky a dobré odplynění svarového kovu.
- c) **Směs Argon + 15 až 25 %  $\text{CO}_2$ :** plyn vhodný pro svařování nelegovaných konstrukčních uhlíkových ocelí. Nejpoužívanější směsí je Ar + 18 %  $\text{CO}_2$ . Tato směs má dobré vlastnosti při tvorbě elektrického oblouku, ideální hloubky průvaru a je vhodná pro různé přenosy kovu jako jsou zkratový, impulzní a sprchový.
- d) **Směs Argon + 8 %  $\text{CO}_2$ :** díky své nižší měrné hmotnosti má tento plyn větší předpoklady pro realizaci přenosů kovu, kde je vyžadováno vytvoření drobných kapiček odtavovaného kovu, jako jsou sprchový a impulzní přenos. Plyn vhodný pro automatizaci svařování, dosahující minimálního rozstříku, vysoké rychlosti svařování a dobré jakosti housenky.
- e) **Směs Argon + 5 až 13 %  $\text{CO}_2$  + 5 %  $\text{O}_2$ :** při použití tohoto plynu jako ochranného média je tvořen měkký elektrický oblouk, svarová housenka má hladký povrch a tavná lázeň je velmi dobře tekutá a odplyněná díky příměsi kyslíku. Tento plyn je tedy vhodný pro zařazení do automatizovaného provozu.

## 2.6 Řízení průběhu svařování [2], [7], [9]

Svařovací hořáky se z hlediska pouštění a uzavírání přívodu ochranného plynu a svařovacího proudu v závislosti na spouštění a ukončování svařování rozdělují na dvoutaktní, čtyřtaktní a speciální čtyřtaktní režim. Řídící jednotka bývá obvykle osazena v jedné skříni se zdrojem a je ovládána stiskáním spínače na svařovacím hořáku.

- a) **Dvoutaktní režim:** dva takty tohoto režimu jsou definovány takto: 1. takt je stisknutí spínače a druhý takt je uvolnění tohoto spínače na hořáku. Po stisknutí (a následné držení) spínače na svařovacím hořáku se nejprve pustí přísun ochranného plynu a po přibližně 2 sekundách se teprve spustí posuv drátu a svařovací proud. Tento „předfuk“ je vhodný pro zabezpečení, že ochranný plyn bude při zahájení svařování již v plné koncentraci a dostatečně pokryje místo svařování. Po celou dobu stisknutého spínače probíhá svařování. Po uvolnění spínače se nejprve odpojí přívod proudu a ustane posuv drátu a po určitém časovém úseku se odpojí i přívod plynu (jedná se o tzv. „dofuk“). Svařování dvoutaktním režimem je vhodné pro stehovací a krátké svary a je vhodné i pro automatické svařování na robotizovaných linkách.
- b) **Čtyřtaktní režim:** oproti svařování dvoutaktním režimem je režim čtyřtaktní velmi vhodný pro svařování dlouhých svarů. Často je využíváno i regulování proudu při využití moderních zdrojů. Čtyři takty tohoto režimu jsou definovány takto: 1. takt je stisk spínače, 2. takt je uvolnění stisku, 3. je opětovný stisk a 4. takt je uvolnění stisku. První stisk spínače (1. takt) pustí do okolí svaru ochranný plyn. Při povolení stisku (2. takt) je spuštěn posuv drátu a po krátkém časovém úseku i proud. Nyní, při uvolněním spínače probíhá svařování. Po opětovném sepnutí spínače (3. takt) dojde k přerušení dodávky svařovacího proudu a posuvu drátu. Dodávka plynu je přerušena až posledním uvolněním spínače (4. takt). I u čtyřtaktního režimu je přívod plynu odpojen až po dofuku.
- c) **Speciální čtyřtaktní režim:** je režim využívající řízení svařovacího zdroje. Při prvním stisknutí a držení spínače se vygeneruje vyšší proud, což umožňuje výhodné „nastartování“ oblouku, tzv. horký start. Při uvolnění stisku spínače se proud sníží na požadovanou nastavenou hodnotu, která již přetrvá až do ukončení svařování. Další změna proudu je provedena opětovným stiskem a přidržetím spínače, kdy proud klesne na další nastavenou úroveň pro vhodné vyvaření koncového kráteru, a tím je svar vhodně ukončen. Svařovací proces je ukončen po konečném povolení stisku spínače.

### 3 PARAMETRY OVLIVŇUJÍCÍ HLOUBKU PRŮVARU [2], [7], [12]

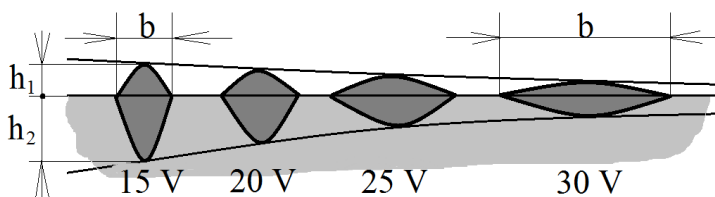
Vytvoření kvalitního a hlubokého závaru je jedním ze základních požadavků kladených na každou metodu svařování. Nicméně při svařování specifických materiálů, např. tenkých plechů je vyžadován naopak průvar mělký, aby nedošlo k propalování plechu. Níže uvedené požadavky budou však směřovány k vytvoření co možná největšího průvaru.

#### a) Tlak proudu plazmatu

Nejvýznamnější vliv na hluboký závar má **tlak proudu plazmatu**, který je vyvolán vysokou rychlostí plazmatu. Rychlost vytékající plazmy může dosahovat až  $100 \text{ m.s}^{-1}$ . Dalším významným parametrem ovlivňujícím tlak je hustota použitého ochranného plynu. Nejlepších výsledků se dosahuje použitím plynu s největší hustotou tj. oxidu uhličitého. Naopak nejnižší tlak je získán při použití helia.

#### b) Svařovací napětí

Svařovací napětí je rozdíl potenciálu mezi elektrodou a svařovaným materiálem a mění se s délkou oblouku. Napětí nejvíce ovlivňuje šířku housenky ( $b$ ), což je schematicky naznačeno na obr. č. 17. S rostoucím napětím se housenka rozšiřuje, s klesajícím se zužuje. Na hloubku průvaru ( $h_2$ ) nemá napětí přílišný vliv.



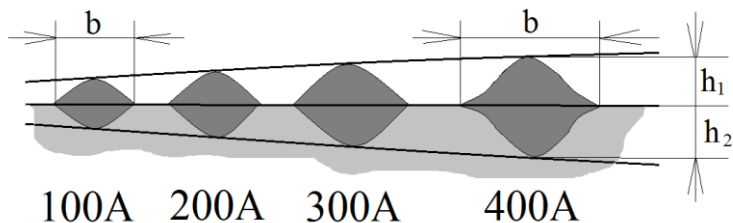
Obr. 17 Vliv napětí na průvar [2]

Další významný vliv na svařování má napětí na způsob přenosu kovu mezi drátem a tavnou lázní. Při nízkých proudech - přibližně 14 V se uskutečňuje zkratový přenos. Při přibližně 25 V se uskutečňuje přenos bezzkratový, v atmosféře z oxidu uhličitého se tvoří velké kapky a svár se vyznačuje značným rozstříkem. Za použití vysokého napětí je značné riziko propalu legujících prvků. Další nevýhodou je špatné udržování tavné lázně v méně přístupných nucených polohách. Nevhodné je také nízké napětí, při němž vzniká vysoké převýšení svarové housenky a u vyplňovacích housenek často dochází ke vzniku studených spojů.

#### c) Svařovací proud

Na rozdíl od svařovacího napětí má proud velmi výrazný vliv na hloubku průvaru. Se zvyšujícím se proudem se zvětšuje průvar, dochází ke zvýšení tekutosti tavné lázně a k jejímu prohloubení, roste proudová hustota a odtavovací výkon. S rostoucím proudem roste frekvence kapek a při nepozměněném napětí roste hloubka průvaru bez výraznějšího rozšíření housenky nebo jejího převýšení viz obr. 18.

Proud výrazně ovlivňuje způsob přenosu kovu v el. oblouku. Vyšší proud spolu s vhodným ochranným plynem umožňuje tvorbu drobnějších kapek opouštějících elektrodu. Tento efekt může být ještě podpořen použitím tenšího drátu, což výrazně zlepšuje kvalitu povrchu housenky. Z finančního hlediska je ale vhodnější použít drát s větším průměrem, protože je z důvodu jednodušší výroby méně finančně nákladný. Další



Obr. 18 Vliv proudu na průvar [2]

nevýhodou tenkého drátu je sklon k měnění směrové stability výletu drátu ovlivňující oblouk.

#### d) Výlet drátu (volná délka)

Výlet drátu je vzdálenost drátu od opuštění kontaktního průvlastku napájející drát až po el. oblouk. Drát pouštějící kontaktní průvlastek je odporovým účinkem ohříván a výrazně se mění vlastnosti odtavování elektrody a způsob přenosu kovu obloukem. Délka výletu drátu je pro svařování v ochranné atmosféře z oxidu uhličitého určena dle vztahu 3.1:

$$L = 5 + 5 \cdot d \text{ [mm]} \quad 3.1$$

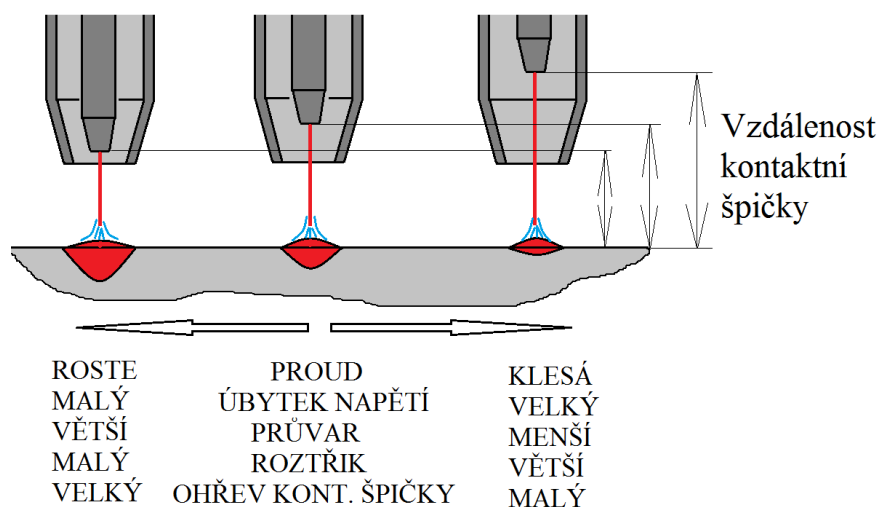
L ..... výlet drátu [mm]  
d ..... průměr drátu [mm]

Délka výletu drátu pro svařování v ochranné atmosféře ze směsných plynů je určena dle vztahu 3.2:

$$L = 7 + 5 \cdot d \text{ [mm]} \quad 3.2$$

L ..... výlet drátu [mm]  
d ..... průměr drátu [mm]

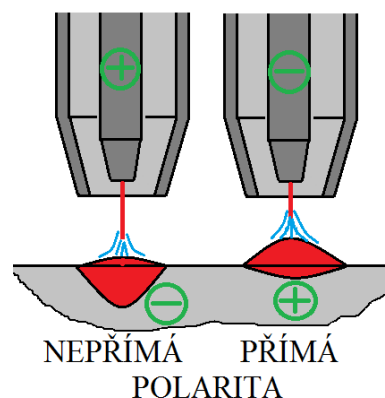
Výrazný vliv má výlet drátu na svařovací proud. Se zvyšující se vzdáleností kontaktní špičky od svařovaného materiálu se snižuje svařovací proud, a tím klesá i hloubka průvaru. Při prodloužení oblouku je měřitelný rozdíl v napětí přibližně 10 A. Konkrétní změny jsou předvedeny na obr. 19.



Obr. 19 Důsledky nevhodného výletu drátu [2]

#### e) Druh proudu a polarita

Rozhodujícím činitelem ovlivňující hloubku průvaru je polarita zapojení svařovacího hořáku a zemnicí svorky. Při svařování metodou MAG se pro oceli nejčastěji používá stejnosměrného proudu, střídavý proud se nejvíce používá při svařování hliníku a jeho slitin. Pro hluboký závar s malým převýšením se pro MAG používá nepřímé zapojení, při kterém je hořák připojen na kladnou svorku zdroje. Při přímém zapojení je hořák připojen na zápornou svorku zdroje. Toto zapojení se vyznačuje nízkou hloubkou průvaru, vysokém převýšením a výrazně širší housenkou. Celá situace je předvedena na obr. 20. Další nevýhodou přímé polarity je vytvoření stabilní kapky roztaveného kovu na konci elektrody, což způsobuje výrazný roztrhik. Pro použití plněných drátů je naopak přímé zapojení vhodné. Náplň drátů může být kyselá, rutilová nebo bazická. Použití plněného drátu je vhodné na svařování v úzkých úkosech.



Obr. 20 Vliv polarity na tvar závaru

## 4 PARAMETRY EXPERIMENTU

Experiment byl proveden ve školní svařovně C1 206, která je vybavena kompletním zázemím pro realizaci experimentu. Svařování proběhlo na zdroji Fronius TransPlusSynergic 4000 s pojezdovou jednotkou Fronius Automation – FTV 20.

- a) **Napětí:** bylo voleno spíše vyšší. Dle zkušenosti vedoucího bylo napětí nastavováno pro svařování proudem 120 A na přibližně 18 V a pro proud 200 A bylo nastaveno napětí přibližně 23 – 25 V.
- b) **Proud a polarita:** svařování probíhalo při zapojení do nepřímé polarity, tj. hořák byl připojen na kladné svorce zdroje a svařovaný materiál na svorce záporné.  
Při impulzním přenosu kovu byl proud pro experiment zvolen 120 a 200 A. Pro zkratový přenos byl proud nastaven na 120 A a při sprchovém přenosu byl proud 200 A.
- c) **Ochranný plyn:** jako ochranný plyn byl použit plyn STARGON C18 o obsahu 18 % oxidu uhličitého a 82 % argonu, dodávaný společností SIAD. Plyn vykazuje dobré vlastnosti pro tvorbu hlubokého průvaru a tvoří hladký povrch housenky.
- d) **Množství plynu:** pro použitý drát o průměru 1 mm byl zvolen průtok ochranného plynu na  $14 \text{ dm} \cdot \text{min}^{-1}$ .
- e) **Rychlost pojezdu:** byla pro běžné svařování nastavena na  $500 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$ .
- f) **Přídavný materiál:** byl použit ESAB Autrod 12.51, o průměru 1 mm, kterým byl již zdroj osazen. Materiálový list tohoto drátu je uveden v příloze č. 1.
- g) **Výlet drátu:** byl nastaven na 15 mm. Je to ideální vzdálenost, při které ještě nedochází k nadměrnému přehřívání kontaktního průvlaku a ztráty proudu nejsou příliš vysoké.
- h) **Svařovaný materiál:** jako svařovaný materiál byla použita nelegovaná konstrukční ocel S235JR. Jedná se o běžnou dobře svařitelnou ocel. Materiálový list této oceli je uveden v příloze č. 2.
- ch) **Přenosy kovu:** byly zvoleny v průmyslu nejpoužívanější impulzní (120 a 200 A), zkratový (120 A) a sprchový (200 A).
- i) **Směry svařování:** experimentálně byly ověřeny směry vpřed pod úhlem  $25^\circ$  od svislice, vzad pod úhlem  $25^\circ$  od svislice a směr kolmý od podložky.

V kapitole 5.1 jsou některé parametry rozepsány podrobněji dle potřeb experimentu.

## 5 EXPERIMENT [4], [5], [7], [22]

Cílem experimentu bylo zjistit hloubku průvaru při rozdílném úhlovém nastavení hořáku a různých proudových a napěťových hodnotách.

### 5.1 Použité vybavení

#### a) Svařovací zdroj

Samotné svařování bylo zahajováno z ovládací skříňky FRC 4.

Jako svařovací zdroj byl použit Fronius TransPlusSynergic 4000 s pojezdovou jednotkou Fronius Automation – FTV 20. Svařovací sestava je na obr. č. 21 s ovládacím panelem

na obr. 22. Parametry svařovacího zdroje jsou popsány v tabulce č. 2.



Obr. 22 Ovládací panel



Obr. 21 Svařovací zdroj

Tab. 2 Parametry zdroje Fronius TransPlusSynergic 4000. [5]

Svařovací zdroj	TransPlusSyn. 4000	
Síťové napětí 50/60 Hz	3x400 V	
Cos φ	0,99	
Rozsah proudu MIG/MAG	3 – 400 A	
Napětí na prázdko	68 – 78 V	
Pracovní napětí	14,2 – 34,0 V	
Chlazení	AF	
Hmotnost	35,2 kg	
Rozměry	palce d x š x v	24,61 x 11,42 x 18,70
	mm d x š x v	625 x 290 x 475



### b) Pojezdová jednotka

Držák hořáku byl umístěn na pojezdovou jednotkou Fronius Automation – FTV 20 s nastavenou rychlostí posuvu  $50 \text{ cm}\cdot\text{min}^{-1}$  a posuvem elektrody = délkou housenky nastavenou na 90 mm.

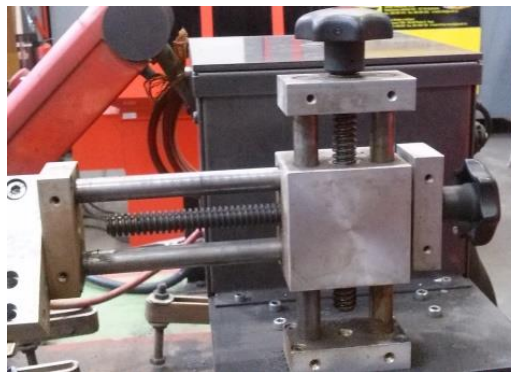
### c) Pracovní stůl

Základní materiál byl uchycen na pracovním stole svařecí sestavy za pomoci univerzální upínky (viz obr. 23), aby bylo zajištěno, že při provádění svarů se základní materiál nebude nechtěně pohybovat, a tím zkreslovat výsledky pokusu, hlavně by tímto byla ovlivněna rychlost posuvu, což má na zjišťovanou hloubku průvaru značný vliv.

Hořák byl na svařovacím zařízení upevněn za pomoci držáku s ručně ovládaným posuvem (viz obr. 24) s jak příčným, tak vertikálním, s jehož pomocí byla nastavována poloha hořáku pro svařování jednotlivých housenek. Vertikálním posuvem držáku se nastavovala délka výletu drátu, což má značný vliv na parametry elektrického oblouku. Za účelem prováděného pokusu byla zvolena délka výletu drátu na 15 mm od výstupu drátu z hořáku až po elektrický oblouk.



Obr. 23 Upnutí na pracovním stole



Obr. 24 Držák hořáku

### d) Základní materiál

Jako základní materiál byla zvolena běžná konstrukční ocel S235JR, což je neušlechtilá konstrukční ocel obvyklé jakosti vhodná ke svařování s přibližným chemickým složením: 0,19 % uhlíku; 0,35 % křemíku; 1,5 % manganu; 0,014 % dusíku a s uhlíkovým ekvivalentem  $CE = 0,40 \%$ . Rozměry svařovaného materiálu byly 300 mm na délku, 150 mm na šířku o tloušťce 8 mm.

### e) Elektroda

Jako elektroda byl zvolen drát ESAB Autrod 12.51 o průměru 1 mm, číslo tavby Lot: PV2460204 s hmotností cívky 15 kg. Cívka byla umístěná v podavači drátu Fronius VR 4000.

### f) Ochranný plyn

Jako ochranné médium byl použit směsný plyn STARGON C18 o obsahu 18 % oxidu uhličitého a 82 % argonu, dodávaný společností SIAD. Pro potřeby experimentu byl nastaven průtok ochranného plynu na přibližně  $14 \text{ dm}^3\cdot\text{min}^{-1}$ .

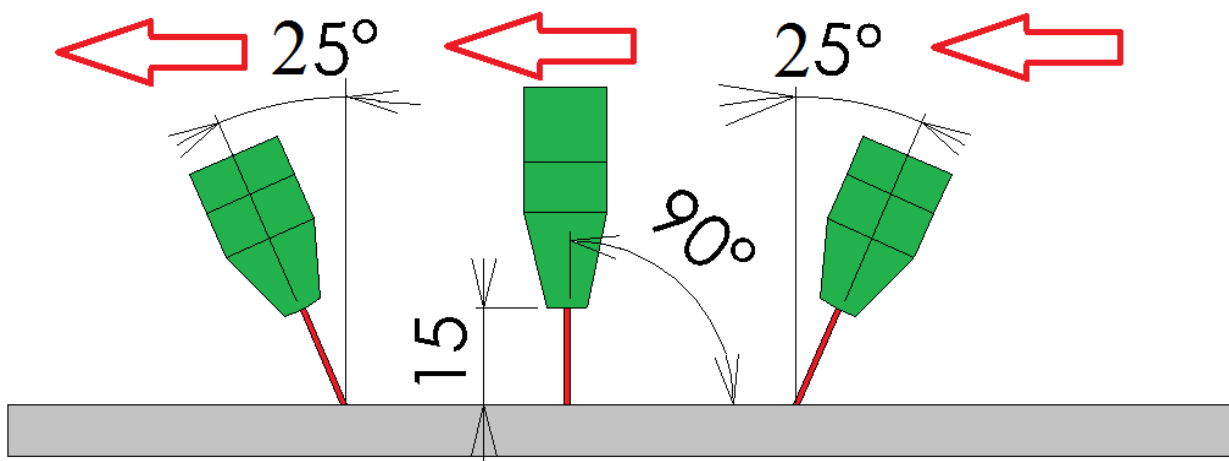
## 5.2 Vlastní provedení experimentu

Záměrem experimentu bylo vytvořit 12 svarových housenek v délce 90 mm, pokaždé čtyři od každého směru svařování. Byly zvoleny tyto směry:

- směr **vpřed** pod úhlem  $25^\circ$  od svislice
- směr **vzad** pod úhlem  $25^\circ$  od svislice
- **kolmo** na svařovaný materiál.

Pro názornost jsou tyto směry schematicky naznačeny na obrázku 25.

V každém směru byly aplikovány různé přenosy kovu mezi elektrodou a základním materiálem a různé proudové a napěťové hodnoty. Přenosy kovu byly zvoleny vzhledem ke svařovacímu proudu zkratový, impulzní a sprchový (přechodový). Housenky byly navařeny v jiném pořadí, než budou uvedeny v této práci. Důvodem je jisté zjednodušení provedení experimentu. Pokud byl nastaven sklon hořáku na  $25^\circ$ , tak v tomto nastavení byly navařeny všechny housenky, které se lišily pouze způsobem přenosu kovu mezi elektrodou a základním materiálem a proudovými hodnotami. Na toto úhlové nastavení se provedlo navaření housenek jak ve smyslu vpřed, tak vzad. Toto bylo umožněno možností pojezdového mechanismu pohybovat se na obě strany (v obrázku je směr svařování znázorněn šipkou).



Obr. 25 Směry hořáku při svařování

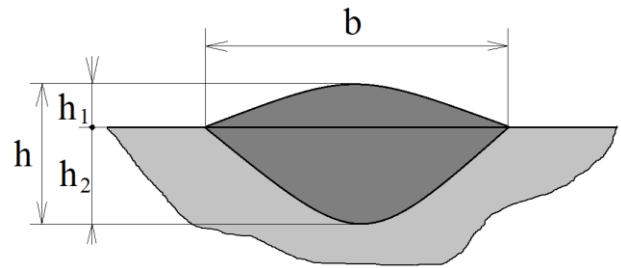
Po vyhotovení veškerých svarů se deska nechala na vzduchu dochladiť na pokojovou teplotu. Poté byla deska očištěna od nečistot vzniklých při svařování ocelovým drátěným kartáčem a byly do ní vyraženy čísla pro příští identifikaci. Následně byla deska rozřezána na plazmové řezačce ESAB LPH 50 v dostatečné vzdálenosti od navařených housenek, aby nedošlo k jejich tepelnému ovlivnění (viz obr. 26). Ořepy po plazmovém řezání byly odstraněny kladivem. Očištěné a hrubě nařezané vzorky byly dále jemněji nařezány kolmo na směr svařování na speciální kapalinou chlazené pile. Ostré hrany byly pro zpříjemnění práce a zabránění pořezání zaobleny na kotoučové brusce. Takto připravené vzorky byly poté předány paní Jarmile Houdkové, která provedla makroskopický výbrus na brusných papírech o zrnitostech 100 až 400 grid. Vybrusovaný materiál byl následně vyleptán pro zviditelnění makrostruktury a speciálním optickým zařízením nafocen. Pro uchování kvality byly vzorky ošetřeny nástřikem



Obr. 26 Plazmové řezání

bezbarvého laku.

V průběhu experimentu byl vyhodnocován poměr  $b/h$ , což ukazuje poměr mezi výškou svaru a jeho šířkou. Při  $b/h$  větším než 1 je svár široký, při hodnotě menší než 1 je velmi vysoký. Další zkoumaný parametr je poměr  $h_1/h_2$ , který ukazuje polohu svaru vzhledem k povrchu materiálu. Umístění jednotlivých rozměrů je znázorněno na obr. 27.



Obr. 27 Parametry svaru

## I) SMĚR VPŘED

Ve směru vpřed byly provedeny housenky číslo 1, 4, 5 a 8. V následujících kapitolách uvedu každou housenku, tj. její parametry, nastavené hodnoty proudu a napětí, dále průměrné hodnoty proudu a napětí, které vygeneroval svařovací zdroj při svařování housenek, rozměry tavné lázně, vzhled housenek, hloubku průvaru a tvar průvaru.

### a) Housenka č. 1

V tabulce č. 4 jsou uvedeny hlavní parametry provedeného svaru. Na obr. 28 je fotografie 1. svaru. Jakost housenky je průměrná s velmi mírným rozstříkem svarového kovu. Tavná lázeň je oválná, není propadlá ani převýšená.

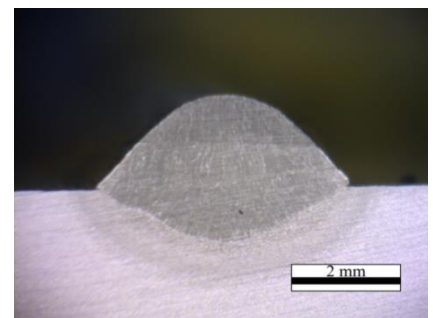
Tab. 3 Parametry housenky č. 1.

Housenka č. 1	Svařovací proud I [A]	Svařovací napětí U [V]	Tavná lázeň $l_1 \times l_2$ [mm x mm]	Přenos kovu	Poměr $b/h$	Poměr $h_1/h_2$
Nastavené hodnoty	121	17,8	10,3 x 4,9	zkratový	1,64	1,80
Skutečné hodnoty	116	18,4				



Obr. 28 Housenka č. 1 – směr vpřed zkratový přenos

Průvar housenky č. 1 (viz obr. 29) je symetrický, hloubka průvaru  $h_2$  vzhledem k povrchu materiálu je 1,04 mm. Převýšení housenky je vyšší, než hloubka průvaru. Oblast průvaru je pravidelná bez výraznějších změn tvaru. V porovnání se závarem provedeným směrem vzad je hloubka průvaru nižší a i přechod do základního materiálu je vhodnější. Na přechodu housenky do základního materiálu jsou vidět ostré přechody, které jsou nejvýraznější ze všech směrů, proudů 120 A a zkratového přenosu. Struktura materiálu je jemnozrná, bez výrazných hranic zrn.



Obr. 29 Tvar průvaru 1. housenky

#### b) Housenka č. 4

V tabulce č. 4 jsou uvedeny hlavní parametry provedeného svaru. Na obr. 30 je fotografie 4. svaru. I při zvýšeném proudu je jakost housenky průměrná s občasným rozstříkáním kovu a je na první pohled patrné, že je housenka výrazně širší, než při svařovacím proudu  $I = 121$  A, které bylo použito u housenky č. 1. Také je patrné, že má housenka na začátku svařování větší šířku, než na konci. Tavná lázeň je značně prodloužená s ostrým okrajem.

Tab. 4 Parametry housenky č. 4.

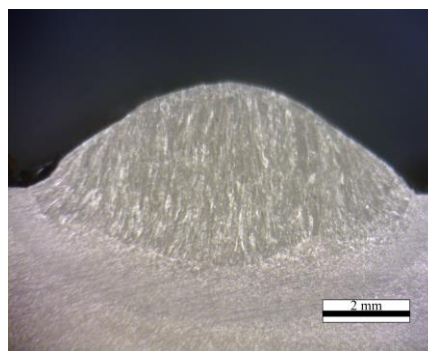
Housenka č. 4	Svařovací proud I [A]	Svařovací napětí U [V]	Tavná lázeň $l_1 \times l_2$ [mm x mm]	Přenos kovu	Poměr b/h	Poměr $h_1/h_2$
Nastavené hodnoty	201	23,5	22,9 x 9,7	přechodový	2,11	1,37
Skutečné hodnoty	206	23,8				



Obr. 30 Housenka č. 4 – směr vpřed, přechodový přenos

Průvar housenky č. 4 (viz obr. 31) je pravidelný, hloubka průvaru je 1,79 mm. Housenka má vynikající přechod do základního materiálu a v porovnání s ostatními housenkami sprchového přenosu, 200 A

a v ostatních směrech má tato housenka nejnižší převýšení. Ve struktuře jsou patrná výrazně hrubá zrna a i hranice zrn jsou ostře ohraničeny. Tepelně ovlivněná oblast je relativně úzká. Toto může být zapříčiněno občasnými zkraty, které způsobují zhasnutí oblouku, a tím zmenšují množství přeneseného tepla do základního materiálu.



Obr. 31 Tvar průvaru 4. housenky

#### c) Housenka č. 5

V tabulce č. 5 jsou uvedeny hlavní parametry provedeného svaru. Na obr. 32 je fotografie 5. svaru. Při svařovacím proudu  $I = 200$  A je jakost housenky lepší s nižším výskytem rozstříkání svarového kovu a je na první pohled patrné, že je housenka také výrazně širší, než při svařovacím proudu  $I = 121$  A, které bylo použito u housenky č. 1. Při porovnání šířek č. 4 a č. 5 je zřejmé, že jsou téměř shodné. Celkově lze říct, že při impulzním přenosu kovu je při téměř shodných parametrech dosaženo lepší kvality svaru a hladší housenky.

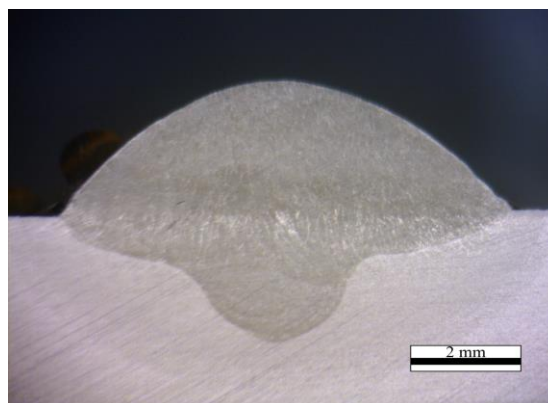
Tab. 5 Parametry housenky č. 5.

Housenka č. 5	Svařovací proud I [A]	Svařovací napětí U [V]	Tavná lázeň $l_1 \times l_2$ [mm x mm]	Přenos kovu	Poměr b/h	Poměr $h_1/h_2$
Nastavené hodnoty	200	24,8	20,0 x 8,8	impulzní	1,43	0,85
Skutečné hodnoty	183	25,0				



Obr. 32 Housenka č. 5 – směr vpřed, přechodový přenos

Tvar průvaru housenky č. 5 (viz obr. 33) značně zdeformovaný a ve svém středu značně prohloubený. Tento stav je pravděpodobně vyvozen příliš vysokým napětím a směrem svařování; u ostatních housenek impulsního přenosu a použitím svařovacího napětí 200 A se také vyskytují deformace tvaru průvaru, ne však v takové míře jako ve směru vpřed. Naproti tomu svár vykazuje vynikající přechod do základního materiálu, struktura svarového kovu je velmi jemnozrná téměř bez viditelných hranic zrn. Z hlediska kvality celého svaru je kvůli tvaru průvaru tento svar pro reálné použití nevhodný.



Obr. 33 Tvar průvaru 5. housenky

#### d) Housenka č. 8

V tabulce č. 6 jsou uvedeny hlavní parametry provedeného svaru. Na obr. 34 je fotografie 8. svaru. I při zvýšeném proudu je jakost housenky průměrná s velmi nízkým rozstříkem svarového kovu. Na povrchu svaru jsou patrná lokální porušení souvisle hladkého povrchu. Dále je tato housenka širší než housenka č. 1, i přes to, že byl použit téměř shodný proud. Nárůst šířky housenky je patrně způsoben vyšším nastaveným napětím než u č. 1. Rozměry tavné lázně jsou přiměřené velikosti a tvaru svaru.

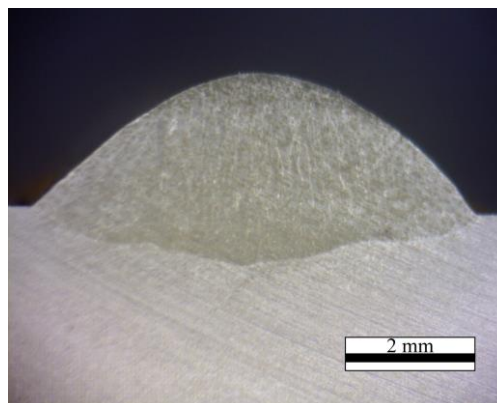
Tab. 6 Parametry housenky č. 8.

Housenka č. 8	Svařovací proud I [A]	Svařovací napětí U [V]	Tavná lázeň $l_1 \times l_2$ [mm x mm]	Přenos kovu	Poměr b/h	Poměr $h_1/h_2$
Nastavené hodnoty	121	21,5	15,5 x 7,2	impulzní	2,29	2,13
Skutečné hodnoty	116	21,5				



Obr. 34 Housenka č. 8 – směr vpřed, přechodový přenos

Průvar housenky č. 8 (viz obr. 35) je velmi mělký pouze 0,96 mm, zato šířka svaru je na poměry použitého proudu značně velká. Tvar průvaru je lehce vlnitý. Přechod do základního materiálu je velmi dobrý bez jakýchkoli náznaků zápalů. Tepelně ovlivněná vrstva je úzká a špatně viditelná. Impulzní přenos kovu je v ohledu tepelně ovlivněné oblasti vhodný, protože je proces regulovaný a po určité časové úseky je svařovací proud utlumen. Jsou viditelné hranice zrn a zrnitost materiálu je také na dobré úrovni a je podobná v porovnání s ostatními sváry používajícími proud 200 A. Toto uspořádání by bylo vhodné pro navařování, kdy je nízký průvar a nízké promísení se základním materiálem vyžadováno.



Obr. 35 Tvar průvaru 8. housenky

## II) SMĚR VZAD

Ve směru vzad byly provedeny housenky číslo 2, 3, 6, a 7. V následujících kapitolách bude uvedena každá housenka, tj. její parametry, nastavené hodnoty proudu a napětí, dále průměrné hodnoty proudu a napětí, které vygeneroval svařovací zdroj při svařování jednotlivých housenek, rozměry tavné lázně, vzhled housenek, hloubku průvaru, tvar průvaru a popřípadě různé anomálie vzniklé při svařování.

### e) Housenka č. 2

V tabulce č. 7 jsou uvedeny hlavní parametry provedeného svaru. Na obr. 36 je fotografie 2. svaru. Při nízkém proudu a zkratovém přenosu je jakost housenky průměrná s nízkým výskytem rozstříku svarového kovu. Na povrchu svaru jsou patrné nerovnosti vytvořené pomalým tuhnutím tavné lázně ohřívané vzad proudícím elektrickým obloukem. Tato housenka je, co se týče tvaru svaru téměř totožná jako č. 1 při stejných nastavených parametrech svařování a při použití zkratového přenosu kovu. Rozměry tavné lázně jsou přiměřené velikosti a tvaru svaru a mají opět téměř totožné rozměry jako č. 1. Průměrné hodnoty svařovacího napětí a proudu zjištěné v průběhu svařování na rozdíl od housenky č. 1 vzrostly oproti nastaveným hodnotám.

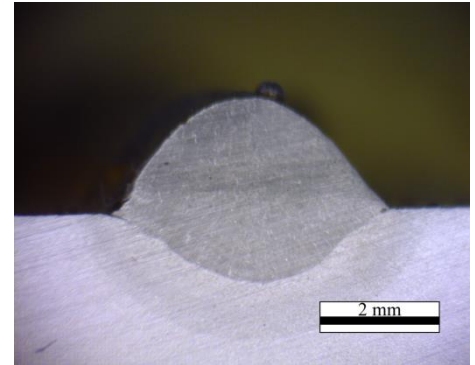
Tab. 7 Parametry housenky č. 2.

Housenka č. 2	Svařovací proud I [A]	Svařovací napětí U [V]	Tavná lázeň $l_1 \times l_2$ [mm x mm]	Přenos kovu	Poměr b/h	Poměr $h_1/h_2$
Nastavené hodnoty	121	17,8	11,23 x 5,00	zkratový	1,49	1,60
Skutečné hodnoty	123	18,4				



Obr. 36 Housenka č. 2 – směr vzad, zkratový přenos

Průvar housenky (viz obr. 37) je oproti impulznímu přenosu zpět relativně hluboký (1,2 mm), avšak v přechodu mezi housenkou a základním materiálem se na obou stranách vyskytují studené spoje v délce přibližně 0,3 mm. Struktura svarového kovu je velmi jemnozrná s málo patrnými hranicemi zrn. Tepelně ovlivněná oblast je opět poměrně široká; podobný tvar TOO při proudu 120 A má zkratový přenos směr kolmo. V případě použití tohoto svaru na reálné součásti by bylo velké riziko defektu, protože ve studeném spoji nejsou materiály nijak spojeny, ale studené spoje jsou také koncentrátoři napětí a představují riziko iniciace únavových lomů.



Obr. 37 Tvar průvaru 2. housenky

#### f) Housenka č. 3

V tabulce č. 8 jsou uvedeny hlavní parametry provedeného svaru. Na obr. 38 je fotografie 3. svaru. Při nastaveném proudu 201 A a sprchovém přenosu je jakost housenky vysoká, má v porovnání s ostatními svary celistvý povrch s nízkým výskytem rozstříku svarového kovu. Tavná lázeň je v tomto případě velmi dlouhá, oválná a s přední částí začínající pod povrchem svařovaného materiálu. Šířka tavné lázně není ovlivněna. Průměrné hodnoty svařovacího napětí a proudu zjištěné v průběhu svařování vzrostly oproti nastaveným hodnotám.

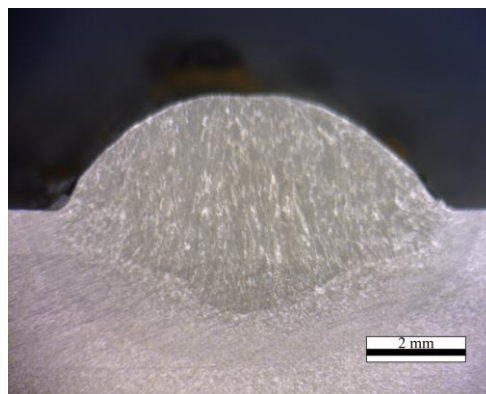
Tab. 8 Parametry housenky č. 3.

Housenka č. 3	Svařovací proud I [A]	Svařovací napětí U [V]	Tavná lázeň $l_1 \times l_2$ [mm x mm]	Přenos kovu	Poměr b/h	Poměr $h_1/h_2$
Nastavené hodnoty	201	23,5	26,6 x 7,9	sprchový	1,78	1,07
Skutečné hodnoty	206	23,8				



Obr. 38 Housenka č. 3 – směr vzad, sprchový přenos

Housenka č. 3 se podobně jako č. 5 s impulzním přenosem vyznačuje nepravidelným tvarem průvaru (viz obr. 39). Naproti tomu je přechod do základního materiálu kvalitní, bez zápalů, či studených spojů. Na vrcholu housenky je viditelný mírný propad. Struktura svarového kovu je podobná jako u ostatních housenek provedených sprchovým přenosem a proudem 200 A. Na snímku obr. 19 je vidět poměrně úzká tepelně ovlivněná vrstva, menší než u housenek provedených impulzním přenosem. Tento rozdíl je pravděpodobně způsoben směrem svařování, protože impulzní přenos předává základnímu materiálu méně tepla.



Obr. 39 Tvar průvaru 3. housenky

### g) Housenka č. 6

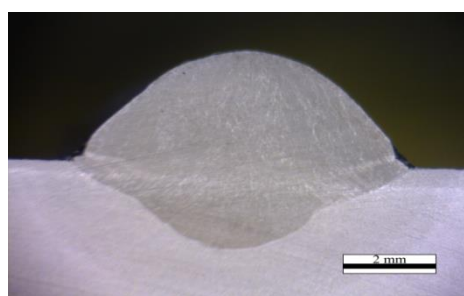
V tabulce č. 9 jsou uvedeny hlavní parametry provedeného svaru. Na obr. 40 je fotografie 3. svaru. Při nastaveném proudu 201 A a impulsním přenosu je jakost housenky spíše horší, má celistvý povrch s téměř nulovým výskytem rozstřiku svarového kovu. Tavná lázeň je v tomto případě také velmi dlouhá, nepravidelného tvaru a s přední částí tavné lázně začínající velmi hluboko pod povrchem svařovaného materiálu – situace je znázorněna na obr č. 42. Šířka tavné lázně není výrazně ovlivněna. Průměrná hodnota svařovacího proudu zjištěná v průběhu svařování klesla o 10 A oproti nastaveným hodnotám, naopak napětí se nepatrně zvýšilo.

Tab. 9 Parametry housenky č. 6.

Housenka č. 6	Svařovací proud I [A]	Svařovací napětí U [V]	Tavná lázeň $l_1 \times l_2$ [mm x mm]	Přenos kovu	Poměr b/h	Poměr $h_1/h_2$
Nastavené hodnoty	201	24,9	24,82 x 8,10	impulzní	1,22	1,11
Skutečné hodnoty	191	25,1				



Obr. 40 Housenka č. 6 – směr vzad, impulzní přenos



Obr. 41 Tvar průvaru 6. housenky



Obr. 42 Tvar tavné lázně



Průvar housenky č. 6 (viz obr. 41) není zcela oválného tvaru a vykazuje (i když v menší míře) podobné deformace jako housenka impulsního přenosu směrem vpřed – obě vykazují značné prohloubení tavné lázně pod osou svaru. Přejít do základního materiálu není zcela čistý a jsou zde vidět zvláštní útvary s viditelnými změnami na hranicích zrn. Při použití tohoto svaru na reálném svařenci by právě tyto změny mohly působit jako iniciátory trhlin při únavovém lomu.

#### h) Housenka č. 7

V tabulce č. 10 jsou uvedeny hlavní parametry provedeného svaru. Na obr. 43 je fotografie 3. svaru. Při nastaveném proudu 121 A a impulsním přenosu je jakost housenky kritická, má velice necelistvý povrch s nízkým výskytem rozstříku svarového kovu a častým výskytem studených spojů a souvislým zápalem. Pro svařování konstrukcí je toto uspořádání zcela nevyhovující. Tavná lázeň je v tomto případě dlouhá, obtížně měřitelná, nepravidelného tvaru a s přední částí tavné lázně začínající velmi hluboko pod povrchem svařovaného materiálu – situace je znázorněna na obr. 45.

V porovnání s housenkou č. 8, která se odlišuje pouze směrem svařování, je rozdíl obou svarů markantní. Enormní změny byly zaznamenány jak ve tvaru housenky, tak hloubce a tvaru průvaru.

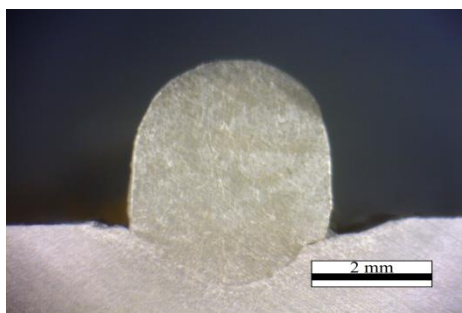
Průměrná hodnota svařovacího proudu zjištěné v průběhu svařování klesla o 7 A oproti nastaveným hodnotám, naopak napětí se opět nepatrně zvýšilo.

Tab. 10 Parametry housenky č. 7.

Housenka č. 7	Svařovací proud I [A]	Svařovací napětí U [V]	Tavná lázeň $l_1 \times l_2$ [mm x mm]	Přenos kovu	Poměr b/h	Poměr $h_1/h_2$
Nastavené hodnoty	121	21,5	20,8 x 5,60	impulzní	0,71	2,35
Skutečné hodnoty	114	22,1				



Obr. 43 Housenka č. 7 – směr vzad, impulsní přenos



Obr. 44 Tvar průvaru 7. housenky



Obr. 45 Tvar tavné lázně

Průvar housenky č. 7 (viz obr. 44) je za použitých podmínek svařování naprosto nevyhovující. Už při předchozím svaru č. 6 a při 200 A byl zaznamenán nevhodný tvar průvaru a přechod do zákl. materiálu. Při sníženém napětí vady eskalovaly do značných rozměrů. Prakticky celá pravá strana průvaru není spojená se základním materiálem – studený spoj. Přechod do zákl. mat. je také nevyhovující. Struktura kovu je jemnozrná, téměř bez viditelných hranic zrn. Pro reálné využití je naprosto nevyhovující.

### III) SMĚR KOLMÝ

Ve směru kolmém k podložce byly navařeny housenky číslo 9, 10, 11, a 12. V následujících kapitolách bude uvedena každá housenka, tj. její parametry, nastavené hodnoty proudu a napětí, dále průměrné hodnoty proudu a napětí, které vygeneroval svařovací zdroj při svařování jednotlivých housenek, rozměry tavné lázně, vzhled housenek, hloubku průvaru, tvar průvaru a popřípadě různé anomálie vzniklé při svařování.

V této části se již neprováděly směry vpřed nebo vzad, protože jsou při tomto nastavení totožné.

#### ch) Housenka č. 9

V tabulce č. 10 jsou uvedeny hlavní parametry provedeného svaru. Na obr. 46 je fotografie 9. svaru. Při nastaveném proudu 121 A a impulzním přenosu kovu s občasným zkratem je jakost housenky dobrá. Má v porovnání s ostatními svary s použitím impulzního přenosu a 121 A (č. 7 a 8) tato housenka nejcelistvější povrch s velmi nízkým výskytem rozstříku svarového kovu. Tavná lázeň je v tomto případě normálně dlouhá a kapkovitá. Šířka tavné lázně je v porovnání s č. 7 a 8 největší. Průměrné hodnoty svařovacího napětí zjištěného v průběhu svařování kleslo oproti nastaveným hodnotám, naopak napětí vykazuje nepatrný nárůst.

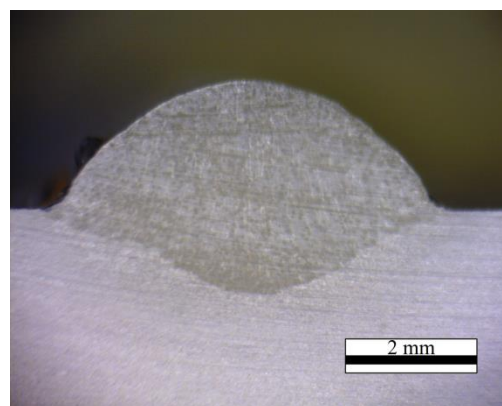
Tab. 11 Parametry housenky č. 9.

Housenka č. 9	Svařovací proud I [A]	Svařovací napětí U [V]	Tavná lázeň $l_1 \times l_2$ [mm x mm]	Přenos kovu	Poměr b/h	Poměr $h_1/h_2$
Nastavené hodnoty	121	21,6	13,8 x 7,20	impulzní	1,79	1,48
Skutečné hodnoty	113	22,2				



Obr. 46 Housenka č. 9 – směr kolmý, impulzní přenos

Průvar housenky č. 9 (viz obr. 47) je nesrovnatelný s předchozím svarem č. 7. Tvar průvaru se více blíží eliptickému tvaru a přechod do základního materiálu je také výrazně lepší. Struktura materiálu je jemnozrná bez viditelných hranic zrn. V porovnání se stejným nastavením a směrem vpřed má tato housenka výraznější převýšení. Tepelně ovlivněná oblast je úzká a málo výrazná, což je průvodní jev u impulsního přenosu a nastavenému svařovacímu proudu 120 A.



Obr. 47 Tvar průvaru 9. housenky

#### i) Housenka č. 10

V tabulce č. 11 jsou uvedeny hlavní parametry provedeního svaru. Na obr. 48 je fotografie 10. svaru. Při nastaveném proudu 121 A a zkratovém přenosu kovu je jakost housenky velmi dobrá. V porovnání s ostatními svary s použitím zkratového přenosu a 121 A (č. 1 a 2) má tato housenka nejcelistvější povrch s nízkým rozstříkáním svarového kovu. Tavná lázeň je v tomto případě normálně dlouhá a kapkovitá s přední částí situovanou lehce pod povrchem svařovaného materiálu. Nejvhodnější tavnou lázeň z těchto tří má housenka č. 1. Šířka tavné lázně je v porovnání s č. 1 a 2 opět největší. Průměrné hodnoty svařovacího napětí zjištěného v průběhu svařování kleslo oproti nastaveným hodnotám, naopak napětí vykazuje nepatrný nárůst.

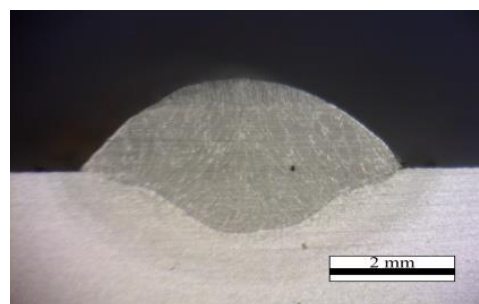
Tab. 12 Parametry housenky č. 10.

Housenka č. 10	Svařovací proud I [A]	Svařovací napětí U [V]	Tavná lázeň $l_1 \times l_2$ [mm x mm]	Přenos kovu	Poměr b/h	Poměr $h_1/h_2$
Nastavené hodnoty	121	17,9	10,4 x 5,17	zkratový	1,69	1,60
Skutečné hodnoty	118	18,6				



Obr. 48 Housenka č. 10 – směr kolmý, zkratový přenos

Průvar housenky č. 10 (viz obr. 49) je pravidelný, vykazující mírné prohloubení pod osou svaru. Přechod do základního materiálu je na levé straně svaru vyhovující, ale na pravé straně je patrný mírný ostrý přechod do základního materiálu a studený spoj. Struktura je jemnozrná s viditelnými hranicemi zrn. Tepelně ovlivněná oblast je na zkratový přenos a 120 A poměrně široká, velmi podobná jako u ostatních svarů při těchto nastavených parametrech.



Obr. 49 Tvar průvaru 10. housenky

### j) Housenka č. 11

V tabulce č. 12 jsou uvedeny hlavní parametry provedeního svaru. Na obr. 50 je fotografie 11. svaru. Při nastaveném proudu 201 A a sprchovém přenosu kovu je jakost housenky relativně dobrá, v porovnání s ostatními svary s použitím sprchového přenosu a 201 A (č. 3) má tato housenka méně celistvý povrch se značnějším rozstříkem svarového kovu. Tavná lázeň je v tomto případě velmi dlouhá a kapkovitá s přední částí situovanou pod povrchem svařovaného materiálu. Nejvhodnější tavnou lázeň z těchto dvou má housenka č. 3. Šířka tavné lázně je v porovnání s č. 3 opět největší. Průměrné hodnoty svařovacího napětí zjištěného v průběhu svařování kleslo nejvíce z celého měření – a to o 22 A oproti nastaveným hodnotám, naopak napětí vykazuje téměř zanedbatelný nárůst a jeho změna může být zapříčiněna nepřesností svařovacího zdroje. Další zvláštností, které vykazuje i housenka č. 3 je značné rozšíření začátku svařování.

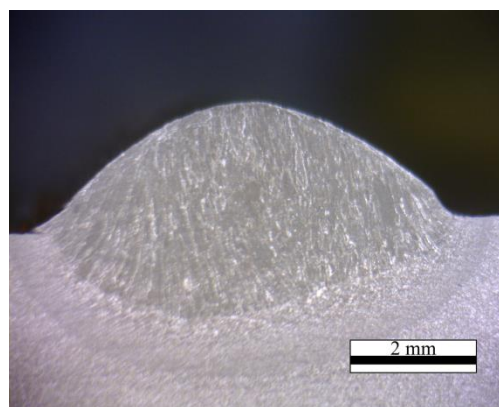
Tab. 13 Parametry housenky č. 11.

Housenka č. 11	Svařovací proud I [A]	Svařovací napětí U [V]	Tavná lázeň $l_1 \times l_2$ [mm x mm]	Přenos kovu	Poměr b/h	Poměr $h_1/h_2$
Nastavené hodnoty	201	23,6	24,00 x 8,30	sprchový	2,01	1,42
Skutečné hodnoty	179	23,7				



Obr. 50 Housenka č. 11 – směr kolmý, sprchový přenos

Průvar housenky č. 11 (viz obr. 51) je asymetrický, v nehlubším místě hluboký 1,73 mm. Přechod do základního materiálu je plynulý, viditelný defekt na pravé straně je pouze lokální vada svaru. Struktura svarového kovu je více hrubozrnná s dobře viditelnými hranicemi zrn. Tepelně ovlivněná oblast je relativně tenká, tenší, než u některých svarů provedených proudem 120 A. Kvalita housenky v kolmém směru je v porovnání s ostatními svary provedenými za stejného nastavení v ostatních směrech nejhorší.



Obr. 51 Tvar průvaru 11. housenky

### k) Housenka č. 12

V tabulce č. 13 jsou uvedeny hlavní parametry provedeního svaru. Na obr. 52 je fotografie 12. svaru. Při nastaveném proudu 201 A a impulzním přenosu kovu je jakost housenky vynikající, v porovnání s ostatními svary s použitím impulzního přenosu a přibližně 201 A (č. 5 a 6) má tato housenka nejcelistvější povrch s velmi nízkým rozstříkem svarového kovu. Tavná lázeň je v tomto případě opět velmi dlouhá. Nejvhodnější tavnou lázeň z těchto dvou má housenka č. 12. Šířka tavné lázně je velmi velká, v porovnání s č. 5 a 6 je největší. Celkově lze říci, že v porovnání s ostatními směry se při kolmém svařování tvoří spíše široké

tavné lázně. Průměrné hodnoty svařovacího napětí kleslo o 11 A oproti nastaveným hodnotám, naopak napětí vykazuje téměř zanedbatelný úbytek. Jedná se o jednu z povrchově nejkvalitnějších housenek z rozsahu experimentu.

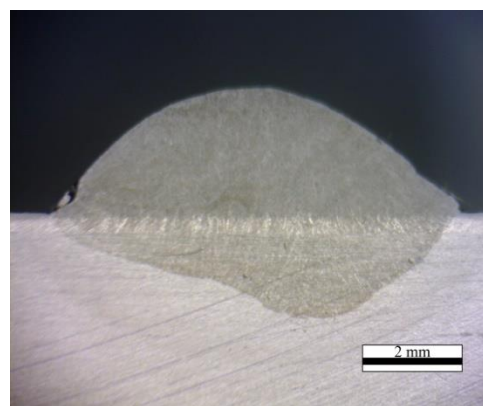
Tab. 14 Parametry housenky č. 12.

Housenka č. 12	Svařovací proud I [A]	Svařovací napětí U [V]	Tavná lázeň $l_1 \times l_2$ [mm x mm]	Přenos kovu	Poměr b/h	Poměr $h_1/h_2$
Nastavené hodnoty	201	24,9	24,10 x 9,40	impulzní	1,85	1,17
Skutečné hodnoty	190	25,1				



Obr. 52 Housenka č. 12 – směr kolmý, impulzní přenos

Průvar housenky č. 12 (viz obr. 53) je opět silně asymetrický, podobně jako při sprchovém přenosu u předchozí housenky. Přechod do základního materiálu není tak plynulý jako při ostatních impulzních přenosech. Celkově lze říct, že při nastavených 200 A a impulznímu přenosu je přechod do základního materiálu nekvalitní. Struktura svarového kovu je velice jemnozrná bez viditelných hranic zrn. V tomto případě je celá levá strana housenky posetá vadami přechodu do základního materiálu. Viditelná světlejší linie procházející svarem na úrovni povrchu základního materiálu je způsobená odleskem světla z osvětlení vzorku na změně tvaru povrchu výbrusu.



Obr. 53 Tvar průvaru 12. housenky

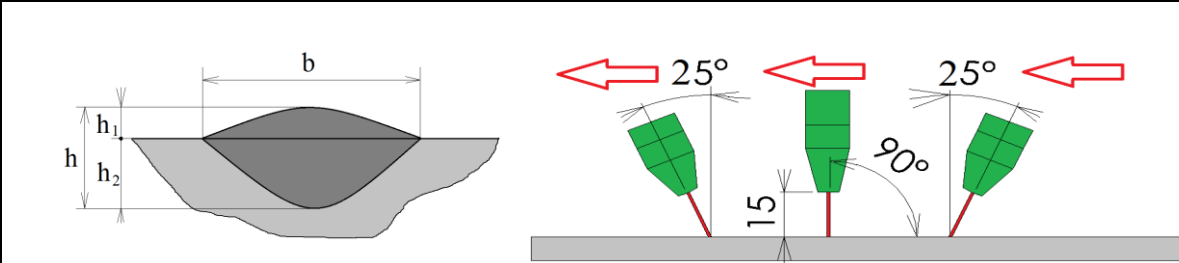
## 6 VYHODNOCENÍ EXPERIMENTU

Z veškerých naměřených dat a rozměrů byla vypracována tabulka č. 15. V tabulce jsou poměry  $b/h$ , naznačující šířku ku výšce housenky. Se zvyšujícím se poměrem  $b/h$  roste šířka svaru, což je pro skutečné použití vhodnější. Z tohoto ohledu je pro impulsní přenos kovu nejvhodnější směr svařování vpřed nebo kolmo. Pro zkratový přenos je nejvhodnější směr vzad a pro sprchový přenos nejvhodnější směr vpřed.

Poměr  $h_1/h_2$  ukazuje poměr převýšení ku hloubce průvaru. Z hlediska kvality svarů je nejvhodnější poměr  $h_1/h_2$  co nejmenší, což vykazuje hluboký průvar. Pro impulsní přenos jsou to směry vpřed nebo kolmo. Pro zkratový přenos je to směr vzad nebo kolmo a pro sprchový přenos kovu je to směr vzad.

Celkově lze říct, že při svařování impulsním přenosem je vhodné zvolit směr svařování vpřed nebo kolmo. Pro zkratový přenos to je opět směr vzad nebo kolmo. U sprchového přenosu je to otázka volby mezi hloubkou průvaru nebo šířkou housenky. Pro hluboký průvar je vhodné zvolit směr vzad a pro širokou housenku je vhodný směr vpřed. U sprchového přenosu mohou být výsledky zkresleny, protože při jedné housence se jednalo spíše o přechodový přenos kovu.

Tab. 15 Srovnání metod.



Přenos kovu	Proud	Poměr	č. h.	VZAD	č. h.	KOLMO	č. h.	VPŘED
IMPULSNÍ	120 A	$b/h$	7	0,71	9	1,79	8	2,29
		$h_1/h_2$		2,35		1,48		2,13
	200 A	$b/h$	6	1,22	12	1,85	5	1,43
		$h_1/h_2$		1,11		1,17		0,85
ZKRATOVÝ	120 A	$b/h$	2	2,49	10	1,69	1	1,64
		$h_1/h_2$		1,60		1,60		1,80
SPRCHOVÝ PŘECHODOVÝ	200 A	$b/h$	3	1,78	11	2,01	4	2,11
		$h_1/h_2$		1,07		1,42		1,37

## 7 ZÁVĚRY

Tato bakalářská práce se zabývala změnami tvaru průvaru v závislosti na poloze svařovacího hořáku a způsobu přenosu kovu. Ve školní laboratoři byl proveden experiment. Bylo navařeno 12 housenek: impulzním přenosem v každém směru pro proudy 120 A a 200 A. Zkratovým přenosem byla navařena v každém směru jedna housenka pod proudem 120 A. Sprchovým přenosem byla opět navařena v každém směru jedna housenka tentokrát pod proudem 200 A. Jedna housenka ze sprchového přenosu vykazovala přenos přechodový, což mohlo ovlivnit výsledky sprchového přenosu.

Vzorky byly ve školních laboratořích nařezány, vybroušeny na makroskopický výbrus a naleptány pro zviditelnění struktury. Tyto byly posléze na speciálním mikroskopu s měřítkem nafočeny a z těchto fotografií byly podle měřítka odečteny výška, šířka svaru, hloubka průvaru a převýšení. Z těchto hodnot se vypočítaly poměry ukazující šířku svaru ku jeho výšce a poměr převýšení ku hloubce průvaru svaru.

Z výsledků poměrů byly zvoleny nejvýhodnější směry z hlediska hloubky průvaru a šířky housenky. Pro impulzní přenos se dle výsledků experimentu ukazuje vhodné zvolit směr svařování vpřed nebo kolmo. Pro zkratový přenos to je opět směr vzad nebo kolmo. U sprchového přenosu je to otázka volby mezi hloubkou průvaru nebo šířkou housenky. Pro hluboký průvar je vhodné zvolit směr vzad a pro širokou housenku je vhodný směr vpřed.

Z výsledků experimentu je také patrné, že směr svařování má také výrazný vliv na převýšení svaru, přechod svaru do základního materiálu a výslednou strukturu ztuhlého svaru. Některé svary jsou z konstrukčního hlediska nepoužitelné, ať už z důvodu neúnosného množství studených spojů, nevhodným přechodem do základního materiálu nebo příliš hrubou výslednou strukturou. Tyto vlastnosti vykazuje housenka č. 7 navařená impulzním přenosem kovu směrem vzad při proudu 120 A. V automatizovaném svařování se nejčastěji používá směr kolmý ke svařovanému materiálu.

## SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

1. 2015 Was Record Year for Robot Sales in North America [online]. 2015 [cit. 2016-02-24]. Dostupné z: [http://www.assemblymag.com/ext/resources/LatestHeadlines/latest\\_headlines2/welding-robot-900.jpg?1428591992](http://www.assemblymag.com/ext/resources/LatestHeadlines/latest_headlines2/welding-robot-900.jpg?1428591992)
2. AMBROŽ, Odřich, Bohumil Kandus a Jaroslav Kubíček. *Technologie svařování a zařízení: učební texty pro kurzy svářečských inženýrů a technologů*. 1. vyd. Ostrava: ZEROSS, 2001. Svařování. ISBN 80-857-7181-0.
3. CITACE PRO. *Generátor citací* [online]. 2016 [cit. 2016-03-18]. Dostupné z: <http://citace.lib.vutbr.cz/info>
4. Feromat: Hutní a spojovací materiál. *Feromat* [online]. [cit. 2016-03-16]. Dostupné z: [http://www.feromat.cz/jakosti\\_oceli](http://www.feromat.cz/jakosti_oceli)
5. Fronius TransPuls Synergic 4000: Technical data. 2016. *Fronius international* [online]. [cit. 2016-05-16]. Dostupné z: [http://www.fronius.com/cps/rde/xchg/SID-D74ADF1E-7849E675/fronius\\_international/hs.xsl/79\\_6273\\_ENG\\_HTML.htm#.Vzn3spGLSM8](http://www.fronius.com/cps/rde/xchg/SID-D74ADF1E-7849E675/fronius_international/hs.xsl/79_6273_ENG_HTML.htm#.Vzn3spGLSM8)
6. KOBELCO: Welding Worldwide. *Short-circuiting transfer* [online]. 2016 [cit. 2016-03-30]. Dostupné z: <http://www.kobelco-welding.jp/education-center/Fundamentals/Fundamentals02.html>
7. KOUKAL, Jaroslav, Drahomír SCHWARZ a Jiří HAJDÍK. *Materiály a jejich svařitelnost*. 1. vyd. Ostrava: Český svářečský ústav, 2009. ISBN 978-80-248-20255.
8. *Kovářské svařování* [online]. [cit. 2016-02-24]. Dostupné z: <http://www.kovarstvi-pernicka.cz/images/pic01.jpg>
9. KUBÍČEK, Jaroslav. *TECHNOLOGIE SVAŘOVÁNÍ: Studijní opory pro výuku v kurzech 5TE, ETV, ETV-K ÚST, odbor svařování a PÚ* [online]. Brno, [cit. 2016-03-30]. Dostupné z: [http://ust.fme.vutbr.cz/svarovani/opory\\_soubory/technologie\\_svarovani\\_\\_5te\\_etv\\_etv-k\\_\\_kubicek.pdf](http://ust.fme.vutbr.cz/svarovani/opory_soubory/technologie_svarovani__5te_etv_etv-k__kubicek.pdf)
10. Metallurgical Lab: Macro of Pipe Butt Weld. 2013. *Greens power limited* [online]. Wakefield [cit. 2016-05-11]. Dostupné z: [http://www.greenspower.co.uk/metallurgical\\_lab.shtml](http://www.greenspower.co.uk/metallurgical_lab.shtml)
11. MIG/MAG (CO<sub>2</sub>). *Automig* [online]. [cit. 2014-05-19]. Dostupné z: <http://automig.cz/o-svarovani/metody/>
12. MIG/MAG (CO<sub>2</sub>). *Migatronic: Welding value* [online]. 2012 [cit. 2016-04-01]. Dostupné z: <http://www.migatronic.com/cs/cz/welding%20academy/welding%20process/mig%20mag>
13. MIG welding or Stick welding?: Typical torch. *HUGH Gibson: Engineering service Ltd* [online]. [cit. 2016-03-30]. Dostupné z: <http://www.hgcodedwelding.com/Articles/mig-welding-or-stick-welding>
14. OK AUTROD 12.51. *Okweld.cz* [online]. Česká republika [cit. 2016-04-24]. Dostupné z: [http://www.okweld.cz/PDF/draty-mig-mag/nelegovane/OK\\_AUTROD\\_12\\_51.pdf](http://www.okweld.cz/PDF/draty-mig-mag/nelegovane/OK_AUTROD_12_51.pdf)



15. Přehled vlastností oceli S235JR. *Bolzano.cz: 20 let ocel v pohybu* [online]. Kladno [cit. 2016-04-24]. Dostupné z: <http://www.bolzano.cz/cz/technicka-podpora/technicka-prirucka/tycove-oceli-uhlikove-konstrukcni-a-legovane/nelegovane-konstrukcni-oceli-podle-en-10025/prehled-vlastnosti-oceli-s235jrdrive-s235jrg2>
16. SCHEISSEN: Leistungsgemeinschaft. *MIG/MAG-Schweißen: MIG/MAG-Schweißen* [online]. [cit. 2016-03-23]. Dostupné z: <http://www.lg-schweissen.com/index.php?catId=188>
17. *Shipwelders* [online]. [cit. 2016-02-24]. Dostupné z: <http://www.weldingschoolsguide.com/wp-content/uploads/2013/07/shipwelders>
18. Svařovací technika: Svařování MIG/MAG, MIG svařování, MAG svařování, svařování plněnou elektrodou. *Schinkmann* [online]. 2014 [cit. 2016-04-15]. Dostupné z: <http://www.schinkmann.cz/mig-mag-co2>
19. ŠTĚRBOVÁ, Marcela. 2013. *Technologické a mechanické vlastnosti svarového spoje tlustých plechů*. Plzeň. Bakalářská práce. ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI. Vedoucí práce Doc. Ing. Jan KALOUS, CSc., IWE.
20. Value Statement: Advanced Training Program Fees:. 2013. *Commercial diver program* [online]. [cit. 2016-04-27]. Dostupné z: <https://www.commercialdivingacademy.com/value-statement.cms>
21. Vlasac: Polohy svařování. *Polohy svařování* [online]. 2008 [cit. 2016-03-23]. Dostupné z: [http://vlasac.wz.cz/polohy\\_svarovani.htm](http://vlasac.wz.cz/polohy_svarovani.htm)
22. Volba konstrukčních ocelí pro stavební svařované konstrukce podle významu označení: Nelegované konstrukční oceli. *Konstrukce: Odborný časopis pro stavebnictví a strojírenství* [online]. 2013, (5) [cit. 2016-03-16]. ISSN 1803-8433. Dostupné z: <http://www.konstrukce.cz/clanek/volba-konstrukcnich-oceli-pro-stavebni-svarovane-konstrukce-podle-vyznamu-oznaceni/>
23. Značení svarů a svařovacích metod. *WELDING 24: vše pro svářeče a svařování* [online]. Děčín [cit. 2016-04-24]. Dostupné z: <http://www.welding24.eu/web/soubory-ke-stazeni/file/znaceni-svaru-a-metod.pdf>

## SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

Označení	Legenda	Jednotka
b	Šířka svaru	[mm]
d	Průměr elektrody	[mm]
h	Celková výška svaru	[mm]
$h_1$	Převýšení svaru	[mm]
$h_2$	Hloubka průvaru	[mm]
I	Svařovací proud	[A]
$I_p$	Impulzní proud	[A]
$I_z$	Základní proud	[A]
L	Délka výletu drátu	[mm]
$l_1$	Délka tavné lázně	[mm]
$l_2$	Šířka tavné lázně	[mm]
MAG	Metal Active Gas	[-]
MIG	Metal Inert Gas	[-]
PA	Poloha vodorovná shora	[-]
PB	Poloha vodorovná šikmo shora	[-]
PC	Poloha vodorovná šikmo	[-]
PD	Poloha vodorovná šikmo nad hlavou	[-]
PE	Poloha vodorovná nad hlavou	[-]
t	Čas	[s]
$t_c$	Čas cyklu	[s]
$t_p$	Čas impulzní	[s]
$t_z$	Čas základní	[s]
U	Svařovací napětí	[V]

## SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1 Svařování lodního trupu [17].....	10
Obr. 2 Uplatnění v automobilovém průmyslu [1].....	10
Obr. 3 Svařování pod vodní hladinou [20] .....	10
Obr. 4 Kovářské svařování [8].....	10
Obr. 5 Názvosloví svarového spoje [19] .....	12
Obr. 6 Vícevrstvý svar [10] .....	12
Obr. 7 Polohy svařování [21].....	13
Obr. 8 Schéma - MAG [16] .....	14
Obr. 9 Schéma hořáku - MAG [13] .....	15
Obr. 10 Aparatura MAG [11] .....	16
Obr. 11 Elektrický oblouk [9].....	16
Obr. 12 Přenosy kovu [2].....	17
Obr. 13 Zkratový přenos kovu [6] .....	17
Obr. 14 Průběh impulzního přenosu [9] .....	18
Obr. 15 Cívka drátu .....	18
Obr. 16 Plněné dráty [18] .....	18
Obr. 17 Vliv napětí na průvar [2] .....	21
Obr. 18 Vliv proudu na průvar [2].....	21
Obr. 19 Důsledky nevhodného výletu drátu [2] .....	22
Obr. 20 Vliv polarit na tvar závaru .....	22
Obr. 21 Svařovací zdroj .....	24
Obr. 22 Ovládací panel .....	24
Obr. 23 Upnutí na pracovním stole.....	25
Obr. 24 Držák hořáku .....	25
Obr. 25 Směry hořáku při svařování.....	26
Obr. 26 Plazmové řezání.....	26
Obr. 27 Parametry svaru .....	27
Obr. 28 Housenka č. 1 – směr vpřed, zkratový přenos .....	27
Obr. 29 Tvar průvaru 1. housenky .....	27
Obr. 30 Housenka č. 4 – směr vpřed, přechodový přenos .....	28
Obr. 31 Tvar průvaru 4. housenky .....	28
Obr. 32 Housenka č. 5 – směr vpřed, přechodový přenos .....	29
Obr. 33 Tvar průvaru 5. housenky .....	29
Obr. 34 Housenka č. 8 – směr vpřed, přechodový přenos .....	30
Obr. 35 Tvar průvaru 8. housenky .....	30
Obr. 36 Housenka č. 2 – směr vzad, zkratový přenos .....	31
Obr. 37 Tvar průvaru 2. housenky .....	31
Obr. 38 Housenka č. 3 – směr vzad, sprchový přenos.....	31
Obr. 39 Tvar průvaru 3. housenky .....	32
Obr. 40 Housenka č. 6 – směr vzad, impulzní přenos .....	32
Obr. 41 Tvar průvaru 6. housenky .....	32
Obr. 42 Tvar tavné lázně.....	32
Obr. 43 Housenka č. 7 – směr vzad, impulzní přenos .....	33
Obr. 44 Tvar průvaru 7. housenky .....	33
Obr. 45 Tvar tavné lázně.....	33
Obr. 46 Housenka č. 9 – směr kolmý, impulzní přenos.....	34
Obr. 47 Tvar průvaru 9. housenky .....	35
Obr. 48 Housenka č. 10 – směr kolmý, zkratový přenos.....	35
Obr. 49 Tvar průvaru 10. housenky .....	35

Obr. 50 Housenka č. 11 – směr kolmý, sprchový přenos .....	36
Obr. 51 Tvar průvaru 11. housenky .....	36
Obr. 52 Housenka č. 12 – směr kolmý, impulzní přenos .....	37
Obr. 53 Tvar průvaru 12. housenky .....	37

## SEZNAM TABULEK

Tab. 1 Značení svarových spojů [23].....	13
Tab. 2 Parametry zdroje Fronius Trans Plus Synergic 4000 [5].....	24
Tab. 3 Parametry housenky č. 1.....	27
Tab. 4 Parametry housenky č. 4.....	28
Tab. 5 Parametry housenky č. 5.....	29
Tab. 6 Parametry housenky č. 8.....	29
Tab. 7 Parametry housenky č. 2.....	30
Tab. 8 Parametry housenky č. 3.....	31
Tab. 9 Parametry housenky č. 6.....	32
Tab. 10 Parametry housenky č. 7.....	33
Tab. 11 Parametry housenky č. 9.....	34
Tab. 12 Parametry housenky č. 10.....	35
Tab. 13 Parametry housenky č. 11.....	36
Tab. 14 Parametry housenky č. 12.....	37
Tab. 15 Srovnání metod.....	38

## **SEZNAM PŘÍLOH**

Příloha 1 Materiálový list elektrody [14]

Příloha 2 Materiálový list svařovaného materiálu [15]

## Příloha 1:



# OK AUTROD 12.51

SFA/AWS A 5.18:ER 70S-6  
EN ISO 14341-A: G3Si1

### Použitie:

Na zváranie nelegovaných konštrukčných ocelí s pevnosťou do 530 MPa a jemnozrnných ocelí s medzou klzu do 420 MPa, na výrobu tlakových nádob. Drôt umožňuje zváranie vysokým prúdom (sprchový prenos) aj krátkym oblúkom v polohe vodorovnej aj mimo nej. Priemery 0,8, 1,0 a 1,2 mm sa dodávajú aj vo veľkokapacitnom balení MARATHON PAC™.

### Vhodnosť na zváranie, napr.:

P 235/S 235 až P 420/S 420

### Klasifikácia/certifikácia:

CE EN 13479  
ABS 3YSA  
BV SA 3YM  
DB 42.039.06  
DNV III YMS  
GL 3YS  
LR 3S, 3YS  
TÜV 00899  
ďalšie: PRS, RS

### Ochranný plyn EN ISO 14175:

M21, C1

### Klasifikácia zvarového kovu:

EN ISO 14341-A: G 38 2 C G3Si1  
G 42 3 M G3Si1

### Zvárací prúd:

☐(+)

### Typické chemické zloženie drôtu (%):

C	Si	Mn
0,09	0,90	1,50

### Položky zvárania:



### Typické mechanické hodnoty čistého zvarového kovu:

Podmienky	Stav	Plyn	R <sub>m</sub> MPa	R <sub>eL</sub> (R <sub>p0,2</sub> ) MPa	A <sub>5</sub> /(A <sub>4</sub> ) %	KV (J)/°C			
						+20	-20	-30	-29
EN	TZ 0	M21	560	470	26	130	90	70	
EN	TZ 1	M21	495	370	28	120	90		
EN	TZ 2	M21	455	310	32	100	75		
EN	TZ 0	C1	540	450	25	110	70		
AWS	TZ 0	C1	>480	(>400)	(>22)				>27

TZ 0 - stav po zvarení, TZ 1 - stav po žíhaní 620°C/15 h, TZ 2 - stav po norm. žíhaní 920°C/0,5h.

### Zváracie parametre a orientačné výkonové hodnoty:

Ø d (mm)	Prúd (A)	Napätie (V)	Výťažnosť zvar. kovu g/100g drôtu	Spotreba plynu (l/min)	Rýchlosť podávania (m/min)	Výkon zvárania (kg/h)
0,6	30 - 100	15 - 20	95	12	5,5 - 13,0	0,7 - 1,7
0,8	60 - 200	18 - 24	95	14	3,2 - 13,0	0,8 - 3,0
1,0	80 - 300	18 - 32	96	16	2,7 - 15,0	1,0 - 5,6
1,2	120 - 380	18 - 34	97	18	2,5 - 15,0	1,3 - 8,0
1,6	225 - 550	28 - 38	98	20	2,3 - 12,0	2,1 - 11,4

Balenie: pozri str. C109

## Příloha 2:

Přehled vlastností oceli S235JR						1.0038			
Druh oceli	Nelegovaná jakostní konstrukční ocel								
TDP	ČSN EN 10025-2: 2005								
Dřívější označení	S235JRG2 podle EN 10025: 1990 + A1: 1993; RSt 37-2 podle DIN 17100; 11 375 podle ČSN								
Chemické složení v % hmot. (rozběr tavby)	C max. pro tloušťku v mm			Mn max.	Si max.	P max.	S max.	N max.	
	≤16	>16≤40	>40 <sup>1)</sup>	1,40	-	0,035	0,035	0,012	
Složení hotového výrobku	0,19	0,19	0,23	1,50	-	0,045	0,045	0,014	
Mechanické vlastnosti pro zkoušky v podélném směru	Minimální mez kluzu R <sub>eH</sub> MPa pro výrobky jmenovité tloušťky v mm :								
	≤16	>16≤40	>40≤63	>63≤80	>80≤100	>100≤150	>150≤200	>200≤250	
	235	225	215	215	215	195	185	175	
	Pevnost v tahu R <sub>m</sub> MPa pro výrobky jmenovité tloušťky v mm :								
	≥ 3 ≤ 100			> 100 ≤ 150			> 150 ≤ 250		
	360-510			350-500			340-490		
	Minimální tažnost v % ( L <sub>0</sub> = 5.65√S <sub>0</sub> ) pro výrobky jmenovité tloušťky v mm <sup>5)</sup> :								
	> 3 ≤ 40		> 40 ≤ 63		> 63 ≤ 100		> 100 ≤ 150		> 150 ≤ 250
	26		25		24		22		21
	Minimální nárazová práce KV ( J ) při 20° C pro výrobky jmenovité tloušťky v mm : <sup>4), 5)</sup>								
≤150			>150≤250						
27 <sup>4)</sup>			27 <sup>4)</sup>						
Maximální hodnota CEV <sup>3)</sup>	Pro výrobky jmenovité tloušťky v mm:								
	≤ 30		> 30 ≤ 40		> 40 ≤ 150		> 150 ≤ 250		
0,35		0,35		0,38		0,40			
<b>Technologické vlastnosti</b>									
Svařitelnost	Vhodná ke svařování všemi obvykle používanými způsoby svařování. S rostoucí tloušťkou výrobku a rostoucí hodnotou uhlíkového ekvivalentu se zvyšuje riziko výskytu trhlin za studena v oblasti sváru. Je účelné dbát doporučení stanovující podmínky pro svařování, jak je ku příkladu uvádí ECSC IC 2 ( EN 1011 ).								
Tváření za tepla	Jsou-li dodávané výrobky dále tvářeny za tepla, splňují uvedené mechanické vlastnosti pouze po následném normalizačním žihání.								
Tvařitelnost za studena	Ocel určená pro tváření za studena musí být označena písmenem C ( S235JRC ). To se týká i tažení za studena.								
<sup>1)</sup> pro profily o jmenovité tloušťce nad 100 mm se obsah C stanoví po dohodě. <sup>2)</sup> pro profily o jmenovité tloušťce nad 100 mm je hodnoty nutno dohodnout <sup>3)</sup> hodnota uhlíkového ekvivalentu CEV se vypočte z rozboru tavby podle vzorce : CEV = C + Mn : 6 + ( Cr+Mo+V ) : 5 + ( Ni+Cu ) : 15 CEV je volitelný požadavek. <sup>4)</sup> průměrná hodnota vypočtená z výsledků tří stanovení musí splňovat předepsané požadavky. Jedna hodnota může být nižší, než předepsaná minimální průměrná hodnota za předpokladu, že nebude nižší než 70% této hodnoty. V opačném případě se odeberají ze zkušebního vzorku další 3 zkušební tělesa. Průměrná hodnota ze 6 zkoušek pak nesmí být nižší než předepsaná minimální hodnota, přičemž 2 výsledky mohou být nižší, ale pouze jeden s hodnotou nižší, než 70% předepsané minimální hodnoty. <sup>5)</sup> pro podélný směr zkoušení.									