



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

ÚSTAV STROJÍRESKÉ TECHNOLOGIE

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

## SVAŘOVACÍ PŘÍPRAVEK PRO ROBOTICKÉ SVAŘOVACÍ PRACOVISTĚ

WELDING CLAMPING DEVICE FOR THE ROBOT CELL

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

Bc. JAKUB DOLEŽEL

AUTHOR

VEDOUCÍ PRÁCE

Ing. JAROSLAV KUBÍČEK

SUPERVISOR

BRNO 2014

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav strojírenské technologie

Akademický rok: 2013/14

## ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

student(ka): Bc. Jakub Doležel

který/která studuje v magisterském studijním programu

obor: **Strojírenská technologie (2303T002)**

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 diplomové práce:

### **Svařovací přípravek pro robotické svařovací pracoviště**

v anglickém jazyce:

#### **Welding clamping device for the robot cell**

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Robotické svařování je na výrazném vzestupu aplikací i pro relativně malou seriovost produkce svařenců. Návrhy a konstrukce přípravků pro svařování je tedy velmi perspektivní oblast inženýrské tvůrčí práce v praxi. Úkolem práce je návrh a praktické ověření modulárního svařovacího přípravku.

Cíle diplomové práce:

1. Rozbor možných způsobů výroby svařence
2. Návrh experimentální části, požadavky na přípravek a polohovadlo
3. Charakteristika technologie svařování, rozbor svařovacích poloh, napěťového stavu ve svařenci, požadavků na upínání
4. Vlastní konstrukce přípravku, výroba a provozní ověření
5. Technické vyhodnocení a závěr



Seznam odborné literatury:


1. DVOŘÁK, M. a kol. Technologie II, 2vyd. CERM Brno, 7/2004, 237s. ISBN 80-214-2683-7
2. PILOUS, V. Materiály a jejich chování při svařování, 1vyd. ŠKODA-WELDING, Plzeň, 2009
3. BARTÁK, J. Výroba a aplikované inženýrství, 1vyd. ŠKODA-WELDING, Plzeň, 2009
4. KOLEKTIV AUTORŮ. Materiály a jejich svařitelnost, 1vyd. Zeross, Ostrava 2001, 292s. ISBN 80-85771-85-3
5. KOLEKTIV AUTORŮ. Technologie svařování a zařízení, 1vyd. Zeross, Ostrava 2001, 395s. ISBN 80-85771-81-0
6. KOLEKTIV AUTORŮ. Navrhování a posuzování svařovaných konstrukcí a tlakových zařízení, 1vyd. Zeross, Ostrava 1999, 249s. ISBN 80-85771-70-5
7. KOLEKTIV AUTORŮ. Výroba a aplikované inženýrství ve svařování, 1vyd. Zeross, Ostrava 2000, 214s. ISBN 80-85771-72-1

Vedoucí diplomové práce: Ing. Jaroslav Kubiček

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2013/14.

V Brně, dne 21.11.2013 12:01

L.S.

  
\_\_\_\_\_  
prof. Ing. Miroslav Piška, CSc.  
Ředitel ústavu

  
\_\_\_\_\_  
prof. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc., dr. h. c.  
Děkan

## **ABSTRAKT**

DOLEŽEL Jakub: Svařovací přípravek pro robotické svařovací pracoviště.

---

Tato práce se zabývá konstrukcí svařovacího přípravku pro robotické svařovací pracoviště. Diplomová práce je rozdělena do dvou částí, v teoretické části je popsáno svařování hliníku, metoda MIG a TIG, svařovací roboti a manipulátory. Cílem diplomové práce je navrhnout svařovací přípravek pro robotické svařovací pracoviště. Na závěr byla vyhodnocena návratnost investice do výroby svařovacího přípravku

Klíčová slova: robotické svařování, svařování MIG, svařovací přípravek,

## **ABSTRACT**

DOLEZEL Jakub: Welding clamping device for the robot cell

---

This thesis deals with the construction of the welding clamping device for the robot cell. It is divided into two parts – the theoretical part describes welding of aluminium, MIG and TIG methods, welding robots and manipulators. The goal of the thesis is to design and construct the welding clamping device for the robot cell. In the last part of the thesis the return on investment into production of welding clamping device is evaluated.

Keywords: robotic welding, welding MIG/MAG, welding clamping

---

## **BIBLOGRAFICKÁ CITACE**

DOLEŽEL, J. *Svařovací přípravek pro robotické svařovací pracoviště*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav strojírenské technologie, Odbor technologie svařování a povrchových úprav, 2014. 76 s. Vedoucí diplomové práce Ing. Jaroslav Kubiček.

## **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 29. 5. 2014

Podpis .....

## **PODĚKOVÁNÍ**

Tímto děkuji panu Ing. Jaroslavu Kubíčkovi za cenné připomínky a rady týkající se zpracování diplomové práce. Dále bych chtěl poděkovat panu Vlastimilovi Doleželovi za pomoc při konstrukci a výrobě přípravku. Ještě bych rád poděkoval slečně Marii Cedivodové za podporu a cenné postřehy při zpracování závěrečné diplomové práce.

# OBSAH

Titulní list

Zadání

Abstrakt

Bibliografická citace

Čestné prohlášení

Poděkování

Obsah

ÚVOD .....	13
1. Rozbor svařovaného výrobku .....	14
2. Teoretická část – Hliníkový materiál .....	16
2.2. Výroba hliníku .....	17
2.2. Použití hliníku ve strojírenství .....	17
2.3. Rozdělení hliníkových slitin .....	18
2.3.1. Vytvrditelné slitiny.....	19
2.3.2. Nevytvrditelné slitiny.....	19
2.3.3. Slévárenské slitiny .....	20
2.3.4. Značení a přehled slitin hliníku .....	20
2.4. Problematika svařování hliníku a jeho slitin .....	21
2.4.1. Pórovitost .....	21
2.4.2. Povrchová vrstva $Al_2O_3$ .....	23
2.4.3. Trhliny ve svaru .....	23
2.4.4. Pokles pevnosti v TOO .....	24
3. Metoda MIG .....	25
3.1. Způsoby přenosu kovu v oblouku .....	26
3.1.1. Krátký oblouk se zkratovým přenosem.....	27
3.1.2. Krátký oblouk se zrychleným zkratovým přenosem.....	28

3.1.3.	Přechodový dlouhý oblouk s nepravidelnými zkraty.....	28
3.1.4.	Dlouhý oblouk se sprchovým bezzkratovým přenosem .....	28
3.1.5.	Impulsní bezzkratový přenos .....	28
3.2.	Ochranné plyny metody MIG .....	29
3.2.1.	Argon – Ar .....	30
3.2.2.	Helium – He .....	30
3.2.3.	Směsi Ar + He.....	30
3.2.4.	Směsi Ar + H.....	30
3.3.	Přídavné materiály .....	31
3.4.	Podmínky a technologické parametry procesu svařování .....	32
3.4.1.	Svařovací proud .....	32
3.4.2.	Svařovací napětí .....	33
3.4.3.	Proudová hustota .....	33
4.	Metoda TIG .....	35
4.1.	Druhy svařovacích proudů .....	36
4.1.1.	Svařování stejnosměrným proudem .....	36
4.1.2.	Svařování střídavým proudem .....	36
4.1.3.	Svařování impulsním proudem .....	36
4.3.	Svařovací hořák .....	37
4.4.	Netavící se wolframové elektrody .....	38
4.5.	Ochranné inertní plyny .....	39
4.5.1.	Argon.....	39
4.5.2.	Helium.....	39
4.5.3.	Směsi argonu a helia .....	39
4.5.4.	Směs argonu a vodíku .....	39
4.5.5.	Směsi argonu a dusíku .....	40
4.6.	Přídavný materiál .....	40

5.	Svařovací roboty a manipulátory .....	42
5.1.	Úvod do automatizace a robotizace v procesech svařování .....	42
5.2.	Průmyslové roboty a manipulátory ve svařování .....	42
5.3.	Rozdělení průmyslových robotů a manipulátorů .....	43
5.4.	Kinematika pohybu robotických ramen určených k svařování .....	45
5.5.	Pohony průmyslových robotů .....	46
5.5.1.	Hydraulické pohony .....	46
5.5.2.	Pneumatické pohony .....	46
5.5.3.	Elektrické pohony .....	47
5.6.	Snímače.....	47
5.7.	Řídicí systémy průmyslových robotů .....	47
5.8.	Programování robotických průmyslových ramen.....	49
5.9.	Podmínky pro uplatnění robotických ramen v procesu svařování .....	50
	Experimentální část.....	51
6.	Rozbor technologičnosti svařence .....	51
7.	Rozbor robotického svařovacího pracoviště .....	53
7.1.	Svařovací robot .....	53
7.2.	Polohovací zařízení.....	54
7.3.	Svařovací zdroj .....	55
8.	Návrh svařovacího přípravku.....	55
8.1.	Vlastní návrh svařovacího přípravku .....	57
8.1.1.	První varianta návrhu svařovacího přípravku.....	57
8.1.2.	Druhá varianta návrhu svařovacího přípravku.....	58
8.1.2.	Třetí varianta návrhu svařovacího přípravku .....	59
8.1.3.	Výběr finální varianty přípravku.....	60
8.2.	Výroba svařovacího přípravku.....	61
8.3.	Ověření dostupnosti svařovacího přípravku .....	65



8.4.	Rozbor napětového stavu svařence .....	66
8.4.1.	Teoretický rozbor napětového stavu svařence.....	66
8.4.2.	Výpočet napětí ve svařenci .....	68
8.5.	Volba technologických parametrů a přídavného materiálu .....	70
9.	Ekonomické zhodnocení .....	71
9.1.	Celkové náklady na výrobu svařovacího přípravku .....	71
9.1.1.	Náklady na materiál .....	71
9.1.2.	Náklady na technickou přípravu výroby .....	72
9.1.3.	Výrobní náklady .....	72
9.1.4.	Náklady na nakupované položky .....	73
9.1.5.	Celkové náklady na výrobu modulárního svařovacího přípravku .....	73
9.2.	Finanční úspora a návratnost investice .....	74
10.	Závěr .....	76
	Seznam použité literatury:.....	77
	Seznam použitých symbolů a značek: .....	80
	Seznam příloh: .....	81

## ÚVOD [1], [10],[24], [26],[27]

Technologie svařování je jednou ze základních odvětví strojírenské technologie, kde se zpracovávají především polotovary vyrobené technologií obrábění nebo tváření. Technologie svařování umožňuje zpracovávat materiály různých jakostí a zároveň je možné svařovat materiály různých tloušťek do 300 mm.

Základní rozdělení technologie svařování je na tavné a tlakové anebo na svařování ruční nebo strojní. V posledních 20 letech je celosvětově na vzestupu strojní svařování, kde se využívá robotických ramen především pro velkosériovou výrobu. Díky zdokonalování počítačových systémů a zjednodušení programování robotických ramen je v poslední době také na vzestupu robotické svařování kusové výroby. Na obrázku 1 je zobrazeno ruční svařování a na obrázku číslo 2 a 3 můžete vidět fotografie z robotického svařovacího pracoviště.

Výhody technologie svařování jsou především ve zjednodušení konstrukce, které mají za následek snížení hmotnosti výrobku a tím snížení výrobních nákladů. Díky tomu dochází k nahrazování výrobků vyrobených kováním anebo odléváním a to vše z důvodu mechanizace a automatizace svařovacích procesů.



Obr. 1 Ruční svařování [27]



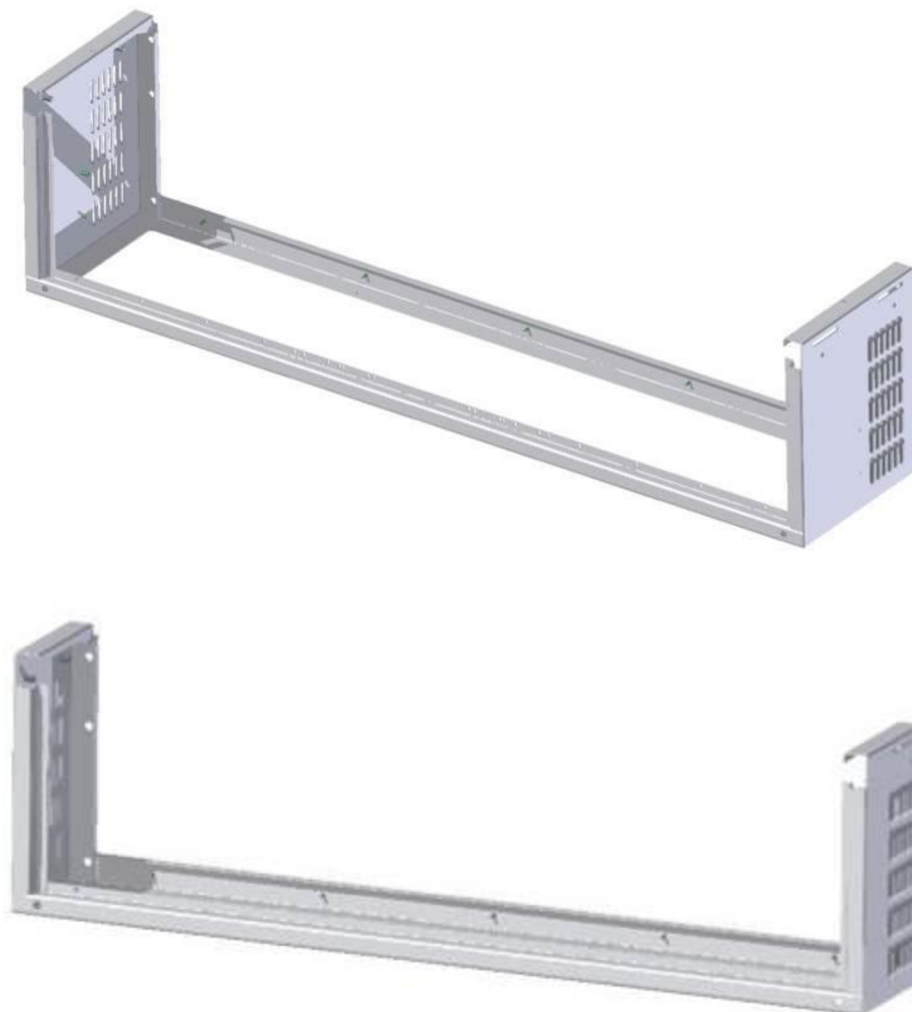
Obr. 2 Robotické svařování [24]



Obr. 3 Robotické svařování více roboty [26]

## 1. Rozbor svařovaného výrobku

Svařenec je vyráběn ve společnosti Hestego a.s., kde slouží jako jeden z montážních prvků pro outdoorový kabinet. Tento kabinet je využíván pro telekomunikační rozvody a je touto společností dodáván ve dvou různých velikostech. Tato práce se bude zabývat výrobou právě jednoho komponentu dvou různých velikostí. Na obrázku číslo 1.1 můžete vidět 3D model obou svařenců a na druhém (obr. 1.2) můžete vidět finální svařenec ve skutečné velikosti připravený na montážní pracoviště. Sériovost výroby je zhruba 1000 až 1500 kusů ročně pro obě dvě varianty.



Obr. 1.1 3D model svařenců



Obr. 1.2 Finální reálný výrobek

Rozměry menšího svařence jsou po svaření 1627 x 248 x 470 mm (délka x výška x hloubka) a většího 1927 x 398 x 470 mm (délka x výška x hloubka). Celý svařenec je vyráběn z hliníkového materiálu tloušťky 3 mm a jakosti AlMg3, dle normy EN AW 5754 H111. V tabulce číslo 1.1 můžete vidět základní chemické složení tohoto materiálu a následně v tabulce číslo 1.2 si můžete prohlédnout jeho mechanické vlastnosti. V příloze číslo 1 je oskenovaný atest od dodavatele materiálu.

Tab. 1.1 Chemické složení materiálu jakosti AlMg3

Chemické složení [hm. %]											
Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	Mn+Cr	Ti	ostatní		Al
									jednotl.	celkem	
0,4	0,4	0,1	0,5	2,6-3,6	0,3	0,2	0,1-0,6	0,1	0,05	0,15	zbytek

Tab. 1.2 Mechanické vlastnosti materiálu AlMg3

$R_m$ [MPa]	$R_{p0,2}$ [MPa]	A [%]
190	80	30

Stávající postup výroby ve firmě Hestego je následující - první operací je dělení materiálu, která probíhá na CNC vysekávacím stroji TC 5000 R od firmy Trumpf. Zde dochází i k výrobě větracích otvorů, které jsou vidět na obrázku číslo 1.1. Další operací je provedení zámečnických prací, kde dochází k řezání závitů a lisování šroubů. Po těchto operacích přechází svařenec na pracoviště ohraňovacích lisů, kde dojde k ohraňování a následně pokračuje díl do svařovny. Stávající výroba svařence probíhá pomocí ručního svařování metodou MIG. Po svaření se na svařenci zabrousí pohledové plochy, následuje kontrola před lakem a převoz svařence do lakovny, kde dochází k lakování dílce barvou IGP Duracryl. Po nalakování se provede závěrečná kontrola po laku a následně balení a expedice svařence na montážní linku.

## 2. Teoretická část – Hliníkový materiál [5],[10],[16]

V této kapitole se budeme zabývat výrobou hliníkových materiálů. Hliník jakožto prvek byl objeven roku 1825 dánským fyzikem Hansem Christianem Oerstedem. V roce 1890 byla roční celosvětová produkce hliníku 5700 t/rok zatímco dnes je produkováno 40 mil. tun hliníku a jeho slitin za rok. Z toho porovnání je patrné, že hliník se stal velmi oblíbeným konstrukčním prvkem a to převážně proto, že trendem dnešní doby je snižování hmotnosti konstrukce. Hliník je přibližně 3x lehčí než ocel.

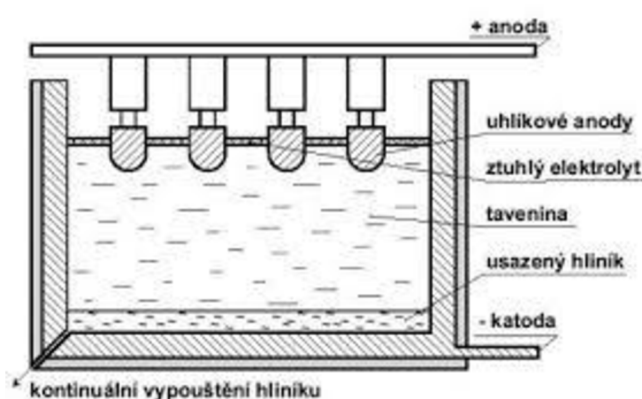
Tento materiál, který má šedo stříbrnou barvu a je nejrozšířenějším prvkem v zemské kůře. Dle posledních měření je zastoupen 7,3 – 8,5 % právě v zemské kůře. Ve volné přírodě nacházíme hliník převážně ve formě sloučenin a to z toho důvodu, že hliník je velmi reaktivním prvkem. Tyto sloučeniny se následně zpracovávají při výrobě hliníku. Mezi základní vlastnosti hliníku a jeho slitin patří velmi dobrá tepelná a elektrická vodivost. Z pohledu zpracování má hliník a jeho slitiny výborné tvárné vlastnosti, dobrou svařitelnost a především vysokou korozivzdornost. Hliník je zároveň i velmi pevný materiál v porovnání se svojí měrnou hmotností. V tabulce číslo 2.1 můžete vidět základní mechanické a fyzikální vlastnosti tohoto materiálu.

Tab. 2.1 Fyzikální a mechanické vlastnosti hliníku a jeho slitin

	<b>Čistý hliník</b>	<b>Hliníkové slitiny</b>
Teplota tavení	660 °C	480 – 660 °C
Hustota	2700 kg.m <sup>-3</sup>	
Souč. délkové roztažnosti	23,6.10 <sup>-6</sup> K <sup>-1</sup>	
Tepelná vodivost	223 W.m <sup>-1</sup> .K <sup>-1</sup>	
Měrné teplo	2,45 MJ.m <sup>-3</sup> .K <sup>-1</sup>	
Skupenské teplo tání	396 kJ.kg <sup>-1</sup>	
Měrná tepelná kapacita	0,9 kJ.kg <sup>-1</sup> .K <sup>-1</sup>	
Elektrická vodivost	34 – 35,5 S	
Krystalová mřížka	Kubická plošně středěná	
Modul pružnosti – E	70 000 MPa	
Pevnost v tahu R <sub>m</sub>	< 100 MPa	až 380 MPa
Tvrдость	20 a 30 HB	60 – 110 HB
Tažnost	30 – 40 %	

## 2.2. Výroba hliníku [16], [18]

Hliník je materiál, který není možné metalurgicky vyredukovat ve vysoké peci, tak jako železo pomocí koksu, tudíž se hliník začal vyrábět až v 19. století, kde byla objevena výroba hliníku pomocí elektrolýzy. Proces elektrolýzy hliníku je velmi složitý technologický děj, který probíhá v elektrolyzérech, resp. v elektrolyzních pecích, které můžete vidět na obr. číslo 2.1. Tato pec je tvořena ocelovou vanou o délce 9 – 14 m a šířce 3 – 4 m a výšce 1 až 1,2 m, která je zevnitř obložena žáruvzdorným izolačním materiálem a uhlíkovou vyzdívkou. V horní části jsou umístěny uhlíkové anody a dno pece je tvořeno uhlíkovou katodou. Mezi katodou a anodou se nachází roztavený kryolit, který má teplotu zhruba 940 – 960 °C. Do této taveniny se v pravidelných intervalech přidává přesné množství vyčištěného bauxitu, který se právě vlivem elektrického proudu rozkládá na čistý hliník, který se následně shromažďuje na dně u katody a kyslík, který oxiduje na uhlíkové anodě při vzniku CO.



Obr. 2.1 Schéma elektrolýzy hliníku [18]

Dnešní moderní elektolyzní pece jsou řízeny počítačem, díky kterému se značně zredukovali problémy při výrobě. Počítačový program sleduje celý průběh výroby, při kterém snímá a vyhodnocuje data. Dle vyhodnocených dat průběžně koriguje napětí, složení lázně a vzdálenost elektrod v elektrolytu. V současnosti lze vyrobit až 1 tunu hliníku zhruba ze 4-10 tun bauxitu, u kterého záleží na čistotě.

## 2.2. Použití hliníku ve strojírenství [5],[10],[16]

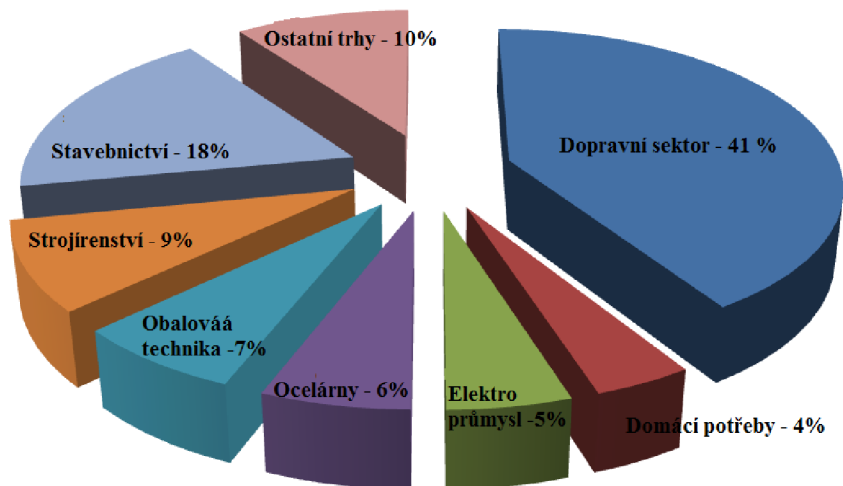
V dnešní době se hliník uplatňuje v celé řadě různých odvětví. Například čistý hliník se používá v elektrotechnickém průmyslu díky své dobré elektrické vodivosti, která dosahuje 60 % vodivosti mědi. Hliník má tedy oproti mědi i své nevýhody, které jsou zvětšování objemu při průchodu proudu. Dále na povrchu dochází ke vzniku nevodivé  $\text{Al}_2\text{O}_3$  vrstvy, která zvyšuje elektrický odpor. Ale i přes tuto nevýhodu se hliník velmi hojně využívá a to především z důvodu nízké ceny, která je oproti mědi nižší zhruba o 60 %.

Hliník je používán také při svařování, kde se využívá jeho afinity ke kyslíku, kde následně vytváří aluminotermickou reakci. Tato reakce se využívá především při aluminotermickém svařování, které využíváme pro svařování velkých průřezů, jako jsou například železniční kolejnice.

Ve strojírenském průmyslu se hliník a jeho slitiny využívají nejvíce ze všech neželezných kovů. Nejvíce používané jsou slitiny, které obsahují hořčík, křemík anebo mangan, které mají dobré mechanické vlastnosti. Tyto slitiny jsou dobře svařitelné,

tvarovatelné a obrobitelné. Používají se například v automobilovém průmyslu pro výlisky a výtazky.

Dále se hliník uplatňuje ve stavebnictví a potravinářském průmyslu (alobalové fólie). Na obrázku číslo 2.2 můžete vidět graf vyjadřující procentuální rozložení výrobků z hliníkových materiálů dle průmyslu.



Obr. 2.2 Graf využívání hliníkových materiálů dle průmyslu [5]

### 2.3. Rozdělení hliníkových slitin [5],[15]

Hliníkové slitiny se rozdělují dle jejich vhodnosti k dalšímu zpracování. V technické praxi se dělí na slitiny:

- Slévárenské slitiny

Tyto slitiny jsou tvořeny převážně Al-Si (Siluminy), Al-Si-Mg, Al-Si-Cu-Ni. Dále je možné je dělit dle procenta křemíku (Si) a to na:

- PODEUTEKTICKÉ, které mají 4,5-10% křemíku
- EUTEKTICKÉ, které mají 10-13% křemíku
- NADEUTEKTICKÉ, které obsahují nad 13% Si

- Tvářené slitiny

Tento typ hliníkových slitin se používá jako polotovary pro tvářené výrobky. Tuto skupinu dále dělíme dle jejich tepelného zpracování a to na:

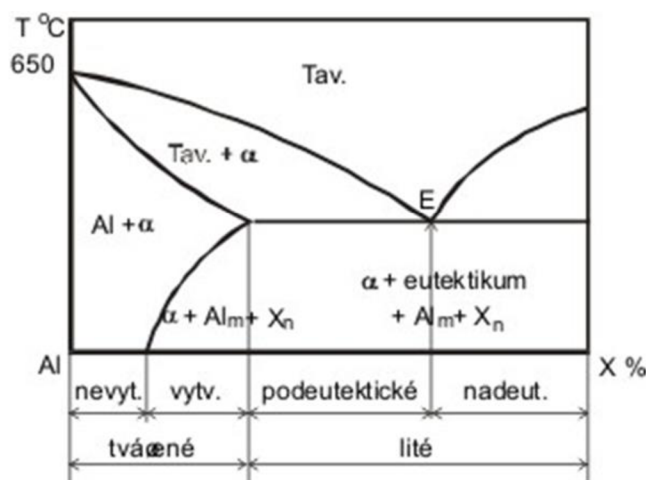
- Slitiny vytvrditelné
- Slitiny nevytvrditelné

- Pěnový hliník a jeho slitiny



- Slitiny Al určené pro práškovou metalurgii

Graf na obrázku číslo 2.3 zobrazuje rozdělení slitin hliníku, dle procenta legujících prvků



Obr. 2.3 Graf slitin hliníku v obecném diagramu [16]

### 2.3.1. Vytvrditelné slitiny

Tento druh hliníkových slitin je určen pro tepelné zpracování, během kterého dochází k výraznému zlepšení mechanických vlastností a to především meze pevnosti a kluzu na úkor tažnosti. Tyto slitiny se vyznačují dobrou tvářitelností, jak za studena, tak i za tepla, dále mají dobrou obrobitelnost. Vytvrditelné slitiny jsou vícesložkové a jsou tvořeny třemi skupinami: Al-Cu-Mg-(Ni), Al-Mg-Si, Al-Zn-Mg-(Cu). Nejznámějším představitelem vytvrditelných slitin je slitina Al-Cu-Mg, známá jako DURAL. Tato slitina dosahuje pevnosti 400 MPa.

Proces tepelného zpracování vytvrditelných slitin začíná ohřevem slitiny na teplotu 480 – 510°C, díky němuž dochází k homogenizaci tuhého roztoku v celém svém objemu. Doba tepelného zpracování je dána dle velikosti zpracovávaného materiálu. Po tepelném zpracování nastává proces ochlazení, který probíhá ve vodě nebo oleji, záleží na druhu slitiny. Teplota ochlazovacího média je v rozmezí 20 – 80 °C. Právě prudkým ochlazením získáme přesycený tuhý roztok s jemnozrnnou strukturou. Po tepelném zpracování nastává ještě proces stárnutí. Výsledkem tohoto děje je právě zvýšení pevnosti. Proces stárnutí může probíhat přirozeně při normální teplotě cca 20 °C nebo uměle při teplotě 50-100°C, kdy se děj zrychlí na několik hodin.

### 2.3.2. Nevytvrditelné slitiny

Nevytvrditelné hliníkové slitiny není vhodné tepelně zpracovávat, protože tepelné zpracování nijak nezlepšuje jejich mechanické vlastnosti. U těchto slitin se zvýšení pevnosti dosahuje již při jejich výrobě a to tak, že dochází k přidání substitučních legujících prvků, jako jsou mangan a hořčík. Dále je možnost zvyšovat pevnost využitím deformačního zpevnění při tváření za studena, jako je válcování či tažení. Díky tomuto efektu jsou tyto slitiny velmi používány při výrobě výlisků a výtažků.



Nejznámějšími představiteli nevytvrditelných slitin jsou: Al-Mg, Al-Mn. Slitina Al-Mg dosahuje vyšší pevnosti právě díky legování hořčíkem, a proto je využívána především v automobilovém průmyslu. Slitina Al-Mn je slitina vyznačující se výbornou tvářitelností, která se používá pro výrobky v potravinářské a chemickém průmyslu.

### 2.3.3. Slévárenské slitiny

Slévárenské slitiny obsahují 8-15% legujících prvků, což zajišťuje dobrou slévatelnost slitiny. Tyto slitiny nejsou dobře tvářitelné, proto se využívají pouze pro výrobu odlitků. Jejich velkou předností je dobrá zabíhavost do formy, nižší výskyt staženin a vyšší odolnost ke vzniku trhlin za tepla. Mechanické vlastnosti jsou závislé především na chemickém složení slitiny a na způsobu lití. Mezi nejznámější patří slitiny Al-Si a Al-Cu (písty spalovacích motorů).

### 2.3.4. Značení a přehled slitin hliníku [5]

Hliníkové slitiny jsou označovány dle jejich využití. Slitiny označené EN AW jsou určeny pro tvářené výrobky. Dále slitiny EN AB jsou nelegované nebo slitinové ingoty, které jsou určené k následnému přetavení. Slitiny EN AC jsou používány na výrobu hliníkových odlitků. Dále budu blíže rozebírat značení slitin EN AW.

Značení tvářených hliníkových slitin probíhá dle normy ČSN EN 573-1. Dle této normy je označení následující EN AW ABCD, kde předpona EN označuje normu a A značí, že se jedná o hliníkovou slitinu. Označení W určuje, že slitina je určena k tváření. Písmeno A označuje skupinu slitiny dle jejího legujícího prvku. Zbylé písmena B, C a D označují stav a druh zpracování. Pro tvářené hliníkové slitiny máme tyto podskupiny:

- Skupina 1xxx – Technický hliník

Jedná se o skupinu, která obsahuje kvalitní nelegovaný hliník s čistotou vyšší než 99%. Tato slitina je charakteristická především výbornou odolností vůči korozi. Dále má výbornou tvářitelnost, ale nízké mechanické vlastnosti. Využití technického hliníku je převážně v elektrotechnickém a chemickém průmyslu, kde slouží například pro výrobu chemických přístrojů a výměníků tepla.

- Skupina 2xxx – slitina Al-Cu

Hlavním legujícím prvkem této slitiny je měď. Tato slitina musí být tepelně zpracována a to tak, že nejprve probíhá rozpouštěcí žíhání a následně vytvrzení za studena. Po tomto zpracování získáme lepší mechanické vlastnosti než u nízkouhlíkových ocelí. Korozní odolnost této slitiny je nižší než například u slitiny 1000, protože může docházet k interkrystalické korozi. Tento typ slitin se využívá pro automobilový průmysl, kde je nutné dosáhnout co největšího poměru hmotnosti a pevnosti.

- Skupina 3xxx – slitina Al-Mn

Zde je hlavním legujícím prvkem mangan a tento typ slitin nebývá tepelně zpracován, ale i přes to dosahují o 20% vyšší pevnosti než skupina 1xxx. Hlavní využití těchto slitin je v obalovém průmyslu - plechovky nebo kuchyňské nádoby.

- Slitina 4xxx – slitina Al-Si

Křemík je hlavním legujícím prvkem, který je rozpustný až do 12% a zajišťuje lepší tavitelnost slitiny. Právě z tohoto důvodu se tato slitina využívá především pro přídavné svařovací a pájecí materiály.

- Slitina 5xxx – slitina Al-Mg

Pro tuto slitinu je využit jako hlavní legující prvek hořčík, který může být kombinován s manganem. Tyto slitiny mají velmi dobrou odolnost proti korozi v mořském prostředí. Z pohledu zpracování materiálů mají tyto slitiny velmi dobrou obrobitelnost a svařitelnost. Jsou to středně až vysoko pevnostní hliníkové slitiny. Jejich typickým představitelem je slitina EN 5754, která se využívá pro zásobní nádrže, nosné konstrukce, nárazníky atd.

- Slitina 6xxx – slitina Al-Mg-Si

Jedná se o slitinu s více legujícími prvky a to křemíkem a hořčíkem. Poměr těchto legujících prvků může být vyrovnaný. Poměr, ale musí být takový, aby mohlo dojít ke vzniku sloučeniny  $Mg_2Si$ , která zajišťuje vytvrditelnost slitiny. Tento druh slitiny hliníku se vyznačuje velmi dobrou odolností proti korozi a dále má i dobrou svařitelnost a obrobitelnost. Z pohledu mechanických vlastností dosahuje nižších pevností než slitiny 2xxx. Využití těchto slitin je především pro výrobu rám kol a dopravních prostředků.

- Slitiny 7xxx – slitina Al-Zn

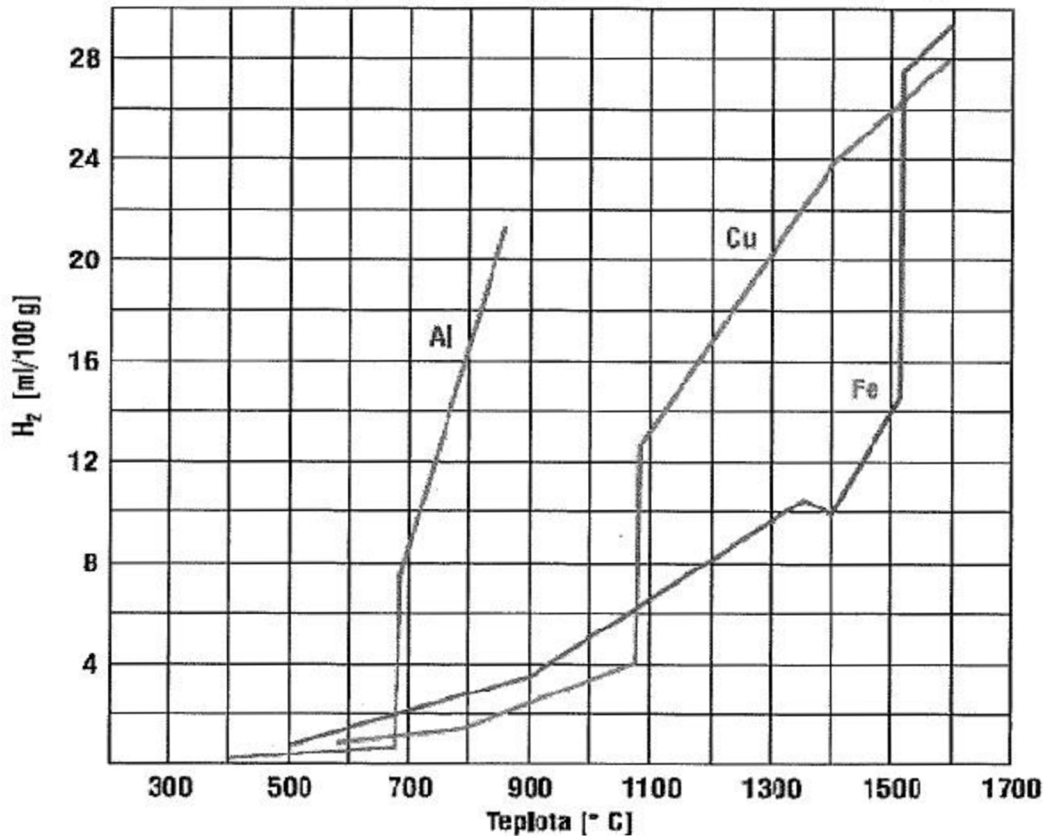
Hlavním legujícím prvkem je zinek a to v množství 1 – 8%. Dále je nutné do těchto slitin přidat malé množství hořčíku, aby se slitiny staly vytvrditelnými. Po vytvrzení se tyto slitiny vyznačují vysokou pevností a díky tomu jsou hojně využívány v leteckém průmyslu. Tyto slitiny, ale vykazují sníženou odolnost proti koroznímu praskání a proto je využíváme v opakovaně zestárnutém stavu.

## **2.4. Problematika svařování hliníku a jeho slitin [10], [25],[33]**

Svařování hliníku a jeho slitin je úspěšné za předpokladu, že použijeme elektrický oblouk s ochranným plynem (TIG, MIG), který zajistí narušení a odstranění oxidické vrstvy  $Al_2O_3$ . Z fyzikálních a mechanických vlastností hliníkových slitin vyplývá, že při svařování může docházet k problémům jako je pórovitost svarů, vznik trhlin ve svaru, k poklesu pevnosti a k přítomnosti oxidické vrstvy  $Al_2O_3$ . V textu níže se těmito problémovými jevy budeme zabírat blíže.

### **2.4.1. Pórovitost**

Vznikání pórů při svařování je způsobeno pohlčováním plynů hliníkem a to především pohlčováním vodíku. Zdrojů vodíku při svařování je hned několik, například vlhkost na povrchu základního nebo přídavného materiálu, dále to může být vlhkost ochranného plynu. Při svařování je pak vodík pohlčován svarovým kovem a následně je v něm rozpouštěn. Rozpustnost vodíku je závislá na teplotě, kterou vyjadřuje graf na obr. číslo 2.4.



Obr. 2.4 Graf vyjadřující závislost rozpustnosti H na teplotě [10]

Z grafu tedy vyplývá, že při ochlazování svarového kovu se snižuje i rozpustnost vodíku, což má za následek neúplné vyloučení vodíku ze svarového kovu, čímž vznikají póry a bubliny. Na obr. č. 2.5 můžete vidět pórovitost svaru.



Obr. 2.5 Ukázka pórovitosti ve svaru [25]

při využití tavicí se elektrody, je přídavný materiál oddělován ve formě kapek o velmi vysoké teplotě, tudíž rozpustnost vodíku je větší.

Pórovitosti lze při svařování zabránit, pokud minimalizujeme zdroje vodíku před svařováním a to především v základním a přídavném materiálu. Dále je nutné co nejvíce zkrátit čas přímého tavení svarového kovu a zabránit jeho přehřátí. Dále je nezbytné zajistit použití co nejvhodnějšího ochranného plynu. Pro hliníkové slitiny je vhodné používat ochranný plyn s co nejvyšší čistotou. Obecně svary zhotovené metodou TIG jsou méně náchylné na pórovitost než svary zhotovené metodou MIG, jelikož

### 2.4.2. Povrchová vrstva $\text{Al}_2\text{O}_3$

Povrchová vrstva  $\text{Al}_2\text{O}_3$  na základním materiálu nám negativně ovlivňuje svařitelnost hliníku a jeho slitin. Brání pevnému spojení základního a přídavného materiálu. Teplota tavení oxidu  $\text{Al}_2\text{O}_3$  je zhruba  $2050^\circ\text{C}$  a teplota tavení hliníku je  $668^\circ\text{C}$ . Z těchto dvou hodnot je patrné, že při svařování není možné natavit oxidickou vrstvu, což má za následek studený spoj o velmi nízké pevnosti. Pro zajištění dobrého metalurgického spojení svařovaných materiálu je nutné oxidickou vrstvu před svařením i v průběhu svařování odstranit. Odstranění probíhá před svařením chemicky za použití mořícího roztoku. Po moření je nutné okamžitě začít svařovat. Při svařování je možné oxidickou vrstvu odstranit využitím střídavého proudu u metody TIG anebo pulsního proudu u metody MIG.

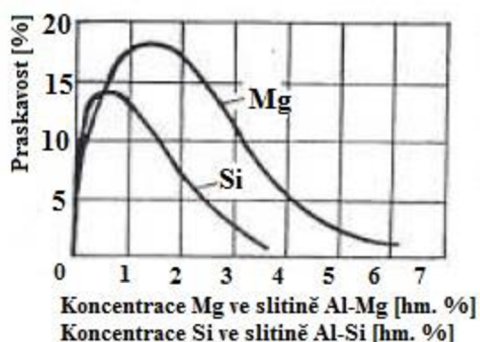
### 2.4.3. Trhliny ve svaru

Hlavní příčinou tvorby trhlin ve svaru jsou objemové změny během procesu krystalizace. Trhliny mohou být jak ve svarovém kovu, tak i v tepelně ovlivněné oblasti (dále jen TOO). Mnohem častěji se trhliny vyskytují v oblasti svarů, jelikož mají delší interval tuhnutí. Každá slitina hliníku má rozdílnou náchylnost na trhliny a to především z důvodu rozdílného množství eutektické fáze.

Trhliny ve svaru neboli trhliny za tepla vznikají při malé množství eutektika, které nedokáže vyplnit prostory mezi rostoucími dendrity, což má za následek vznik tahových napětí. Nejvíce náchylné na vznik trhlin jsou nízkolegované slitiny hliníku (Al-Mg) a slitiny tepelně zpracované (Al-Cu-Mg, Al-Mg-Si). Pro každou z těchto skupin je stanovena kritická hodnota legujícího prvku, pro kterou je náchylnost na vznik trhlin největší. Tyto hodnoty jsou uvedeny v tabulce číslo 2.1.

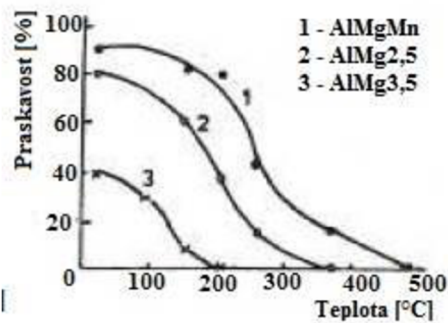
Tab. 2.1 Kritické hodnoty legujícího prvku

Slitina Al – Si	0,6 hm. % Si
Slitina Al – Mg	2,5 hm. % Mg
Slitina Al - Cu	1,7 hm. % Cu



Pokud roste koncentrace legujících prvků nad tuto kritickou hodnotu, tak dochází k poklesu náchylnosti na vznik horkých trhlin. Nejlépe lze tuto závislost vidět na grafu číslo 2.6. Právě z těchto důvodů se praxi velmi často využívá materiál AlMg3, který má menší náchylnost k praskavosti.

Obr. 2.6 Závislost konc. legujícího prvku na vzniku horkých trhlin [10]



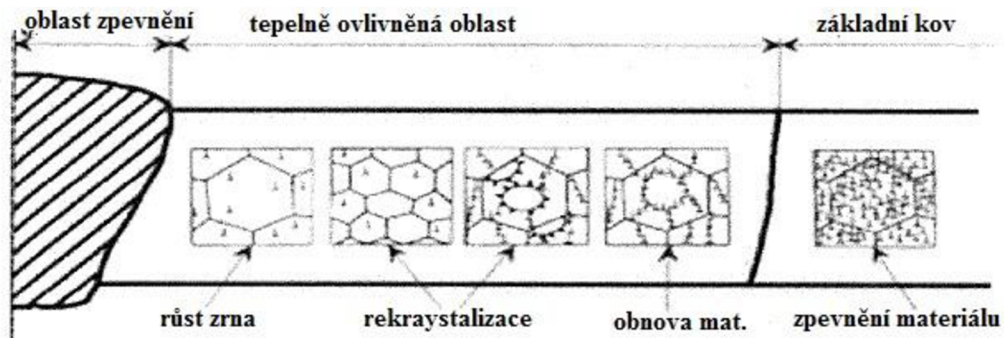
Obr. 2.7 Vliv teploty předehřevu na praskavosti [10]

Dále je možné snížit tvorbu trhlin správnou volbou přídavného materiálu, ke kterému je nezbytné použít správně zvolenou technologii svařování. U technologie svařování je důležité zvolit vhodné svařovací parametry a správnou teplotu předehřevu. Náchylnost na vznik trhlin v zavilosti na teplotě předehřevu můžete vidět na obrázku číslo 2.7.

Vzniku trhlin lze všeobecně předcházet vhodným výběrem svařovacího materiálu, snížením tepelného přínosu a použitím vhodného předehřevu materiálu. Dále je výhodné aplikovat vhodnou technologii svařování.

#### 2.4.4. Pokles pevnosti v TOO

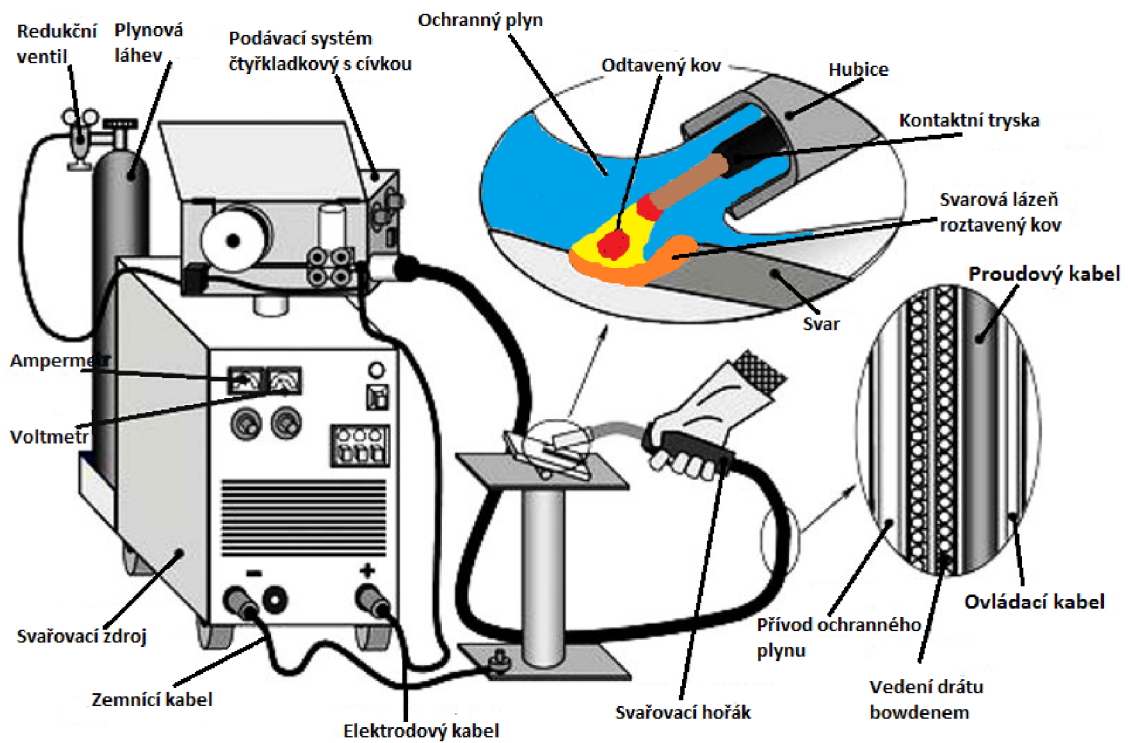
Při svařování hliníkových vytvrzených slitin Al-Cu-Mg, Al-Zn-Mg a Al-Mg-Si nastává při teplotě nad 200°C pokles pevnosti. Velkým problémem po svaření je pokles pevnosti ve svaru a TOO až na hranici pevnosti žíhaného materiálu. Pro odstranění tohoto problému se používají následující dvě metody a to zaprvé, že svařené sestavy se znovu tepelně zpracovávají anebo zadruhé, že pro svařování se zvolí metody s vysokým teplotním gradientem v místě svaru. Je možné využívat i metod s nižším teplotním gradientem, ale teplota musí být nižší než je teplota stability vytvrzitelných slitin. Na obrázku číslo 2.7 můžete vidět ukázkou TOO oblasti při svařování.



Obr. 2.8 Tepelně ovlivněná oblast při svařování hliníku [33]

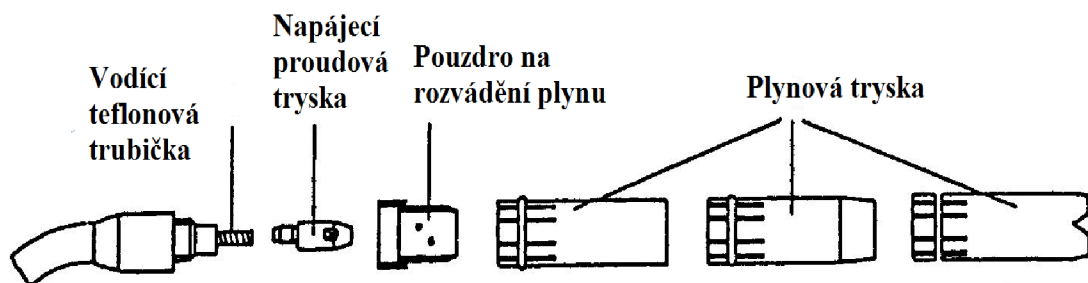
### 3. Metoda MIG [1],[2],[6],[14],[20],[21],[32]

Svařování metodou MIG probíhá v inertní ochranné atmosféře, kde nositelem tepla je elektrický oblouk, který vzniká mezi tavící se elektrodou ve formě svařovacího drátu a základním materiálem. Ochrana svařového kovu je zajištěna inertními plyny, které mají velmi vysokou čistotu 99,995 % a více. Hlavními představiteli ochranných plynů jsou argon (Ar), Helium (He) a případně jejich směsi. Základní sestavu metody MIG můžete vidět na obrázku 3.1.



Obr 3.1 Schéma metody MIG (Metal inert gas) [2]

U metody MIG je přenos elektrického proudu zajištěn kontaktem přídavného materiálu v ústí hořáku tak, aby délka zatěžovaného svařovacího drátu byla co nejkratší. Na obr. 3.2 je zobrazen detail ústí svařovacího hořáku. Svařovací drát je do ústí hořáku podáván pomocí kladkového mechanismu, který zajišťuje konstantní podávací rychlost.



Obr. 3.2 Detail ústí svařovacího hořáku [1]

Metoda MIG se využívá především pro svařování vysoce legovaných ocelí anebo hliníkových materiálů. Díky automatickému podávání svařovacího drátu je snadné tento proces zcela automatizovat. Hlavní výhody svařování metodou MIG jsou:

- Možnost svařovat materiály od tloušťky 0,8mm a to ve všech svařovacích polohách,
- minimální tvorba strusky,
- přímá okamžitá kontrola elektrického oblouku a lázně,
- vysoká efektivita – snížení nákladů díky nekonečnému drátu,
- malá tepelně ovlivněná oblast,
- vysoká proudová hustota,
- vysoký výkon odtavení a malá pórovitost,
- malý rozstřík přídavného materiálu.

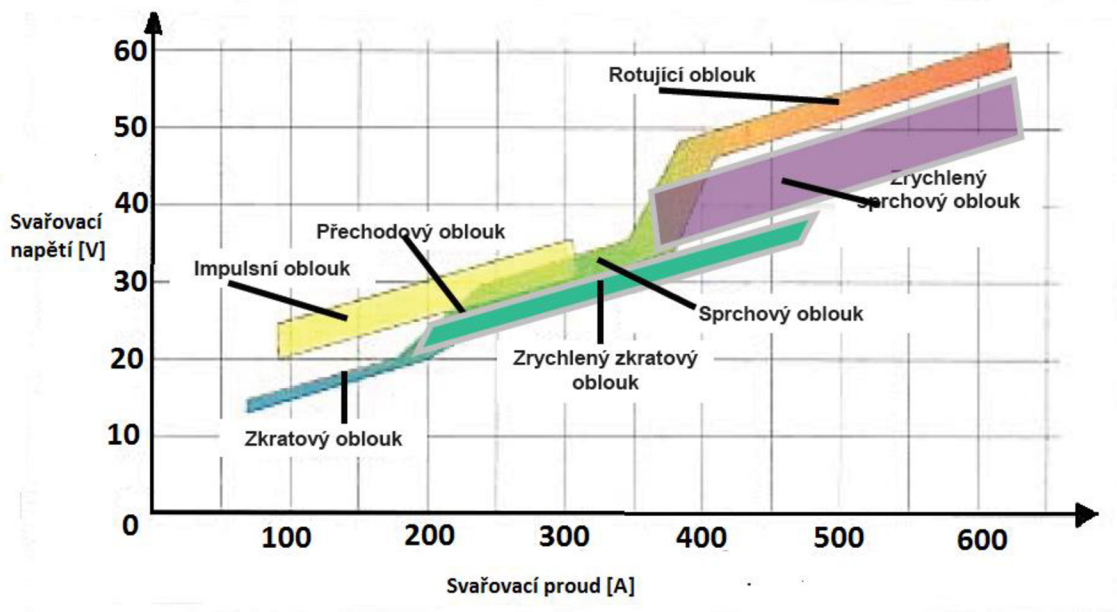
### **3.1. Způsoby přenosu kovu v oblouku [1],[14],[32]**

Jednou ze základních charakteristik svařování elektrickým obloukem tavicí se elektrodou je právě způsob přenosu kovu v oblouku. Přenos kovu je závislý především na svařovacích parametrech, jako jsou svařovací proud a svařovací napětí. Tyto dva parametry nejvíce ovlivňují přenos kovu v oblouku, ale samozřejmě jsou tu i další jako například druh ochranného plynu, technika svařování a také druh přídavného materiálu. Přenos elektrického oblouku v kovech je možný základními 6 typy přenosů. Tyto přenosy můžeme rozdělit na:

- a) Krátký oblouk se zkratovým přenosem kovu,
- b) krátký oblouk se zrychleným zkratovým přenosem,
- c) přechodový dlouhý oblouk se sprchovým bezzkratovým přenosem,
- d) impulsní bezzkratový přenos,
- e) moderovaný bezzkratový přenos,
- f) dlouhý oblouk s rotujícím přenosem kovu.

Na obr. 3.3 můžete vidět graf, kde jsou zakresleny výše zmíněné typy přenosů kovů v elektrickém oblouku. Jak je z grafu patrné, tak typy přenosu kovu jsou závislé především na velikosti svařovacího proudu a napětí.



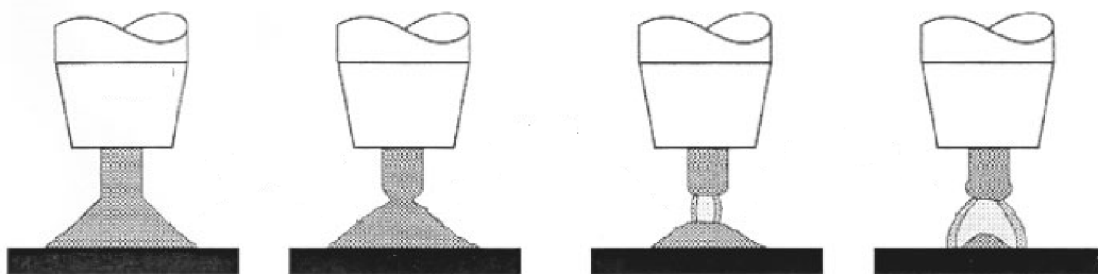


Obr. 3.3 Způsob přenosu kovu [1]

### 3.1.1. Krátký oblouk se zkratovým přenosem

Tento typ přenosu je možné uplatňovat v rozsahu svařovacího proudu od 60 do 120 A a napětí od 14 do 22 V. Při těchto hodnotách svařovacího proudu a napětí se hodinový výkon navaření pohybuje v rozmezí 1 – 3 kg.hod<sup>-1</sup>.

Základní myšlenkou zkratového přenosu je přerušování oblouku zkratem tak, aby docházelo k oddělení části kovu elektrody. Tento proces svařování se vyznačuje velkým rozstříkáním kovu. Díky řízenému a pravidelnému zhasínání elektrického oblouku nedochází při tomto typu přenosu kovu k většímu přenosu tepla, takže zároveň nedochází k velkým deformacím svařence. Tento způsob přenosu kovu se projevuje jemným praskavým zvukem. Díky malé deformaci svařence se tento způsob přenosu kovu využívá především pro svařování tenkých plechů od tloušťky 1mm, pro svařování polohových svarů, překlenutí širokých mezer a pro svařování vysoce legovaných ocelí. Na obrázku 3.4 můžete vidět krátký oblouk se zkratovým přenosem.



Obr. 3.4 Krátký oblouk se zkratovým přenosem [32]



### 3.1.2. Krátký oblouk se zrychleným zkratovým přenosem

Jak je z názvu tohoto typu přenosu kovu patrné, jedná se o zrychlený zkratový přenos. Principem zrychleného přenosu kovu je, že svařovací proud bude nabývat hodnot nad 200 A a svařovací proud zůstane ve stejném rozmezí jako u zkratového přenosu kovu. Díky vyššímu svařovacímu proudu dochází k rychlejšímu odtavování přídavného materiálu a zmenšení rozstříku materiálu, a proto tento typ přenosu kovu dosahuje vyššího výkonu navaření a to v rozmezí 3 – 10 kg.hod<sup>-1</sup>.

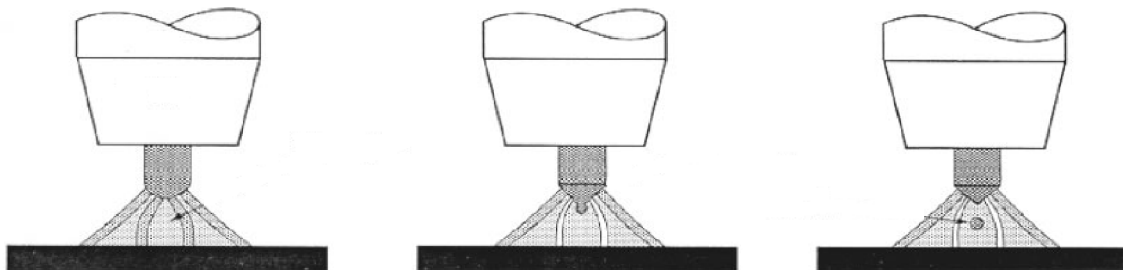
Především díky tomu, že je zvýšen navařovací výkon za hodinu plynou s tímto dvě úpravy oproti zkratovému přenosu. Rychlost podávání přídavného materiálu musí být vyšší a dále se musí zvýšit průtok plynu na 20 – 30 l.min<sup>-1</sup>. Tento typ přenosu kovů se uplatňuje především pro svařování tenkých plechů s vysokou rychlostí svařování. Dále je možné ho využívat pro kořeny svarů a polohové svary.

### 3.1.3. Přechodový dlouhý oblouk s nepravidelnými zkraty

Vznik toho přenosu je při napětí v rozmezí 22 – 28 V a při svařovacím proudu 190 až 300 A. Při tomto způsobu přenosu se konec elektrody nataví do velké kapky, díky vysokému svařovacímu proudu, což má za následek velký rozstřík kovu a vznik hrubé svarové housenky. Tento způsob přenosu se nedoporučuje využívat pro svařování.

### 3.1.4. Dlouhý oblouk se sprchovým bezzkratovým přenosem

Typické pro sprchový přenos kovu je svařovací napětí v rozmezí 28 až 40 V a proud v rozmezí 200 až 500 A. Sprchový bezzkratový přenos můžete vidět na obr. 3.5.

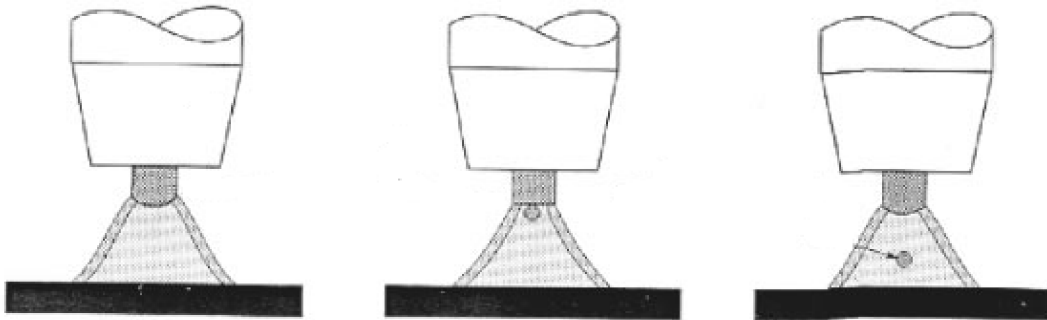


Obr. 3.5 Sprchový bezzkratový přenos [32]

### 3.1.5. Impulsní bezzkratový přenos

Tento typ bezzkratového přenosu je zajímavý už jenom tím, že zasahuje do dvou oblastí přenosu kovu a to do oblasti zkratového a sprchového přenosu kovu. Impulsní bezzkratový přenos je řízen elektrickým signálem, a proto má pravidelný cyklus, který je dán frekvencí amplitudy impulsního proudu. Hodnota základního proudu je v oblasti nízkých hodnot a to v rozmezí 20 – 50 A. Funkcí základního proudu je udržet ionizaci sloupce oblouku a tím i vedení proudu. Impulsní proud je nastaven a tvarově a časově řízen a to tak, aby v konečné fázi amplitudy došlo k odtavení kapky přídavného materiálu. Po celý průběh amplitudy hoří oblouk, který ohřívá přídavný materiál a svarovou lázeň. Tento typ přenosu kovu dosahuje výkonu navaření 2 – 5 kg.hod<sup>-1</sup>.

Tvar amplitudy u impulsního proudu může být různý a to pravoúhlý, oblý nebo může mít různý tvar dle použitého přídavného materiálu. Na obrázku číslo 3.6 můžete vidět impulsní přenos kovu.



Obr. 3.6 Impulsní přenos kovu [32]

Velikost odtavené kapky je závislá na frekvenci impulsů a na velikosti proudu. Pokud je nastaven nízký svařovací proud musíme mít nastavenou i nízkou frekvenci impulsů tak, aby kapka mohla dosáhnout ideální velikosti. Frekvence pulsů je dána vztahem  $f=1/T_p$ , kde  $T_p$  je doba trvání impulsu a  $f$  je frekvence. Velikost trvání impulsů je v rozmezí 0,2 až 5 ms a frekvence se pohybuje v intervalu 25 až 500 Hz. Tento způsob přenosu kovu je v dnešní době využíván oproti ostatním přenosům především pro tyto výhody:

- Menší deformační účinek díky menšímu vnesenému teplu do svaru,
- možnost svařování tenkých plechů v různých polohách,
- možnost tavení drátů větších průměrů,
- kresba kořene a povrchu svaru je jemná,

Tento typ přenosu se využívá především pro svařování hliníkových materiálů, vysokolegovaných a uhlíkových ocelí. Pro svařování uhlíkových ocelí se používá ochranného plynu směsi Ar s 8% CO<sub>2</sub>, pro vysokolegované oceli se využívá Ar s 2% O<sub>2</sub> a pro svařování hliníkových materiálů čistý Ar.

### 3.2. Ochranné plyny metody MIG [1],[14],[20]

V této kapitole se budu zabývat popisem ochranných plynů pro metodu MIG. Ochranné plyny při svařování používáme k ochranně tavné lázně před nežádoucími vlivy okolního prostředí. K jednomu z nejvíce nežádoucích vlivů patří přítomnost vzduchu, který obsahuje kyslík a dusík, jež způsobí oxidaci a nitridaci svarového kovu. Pokud proběhne oxidace a nitridace, pak dochází k výraznému zhoršení mechanických vlastností svarového spoje. Díky využití ochranných plynů dochází k ochraně svarové lázně a stabilizaci hoření oblouku. Pro svařování metodou MIG se používají inertní plyny, které jsou argon, helium a jejich vzájemné směsi.

### 3.2.1. Argon – Ar

Argon je jednoatomový bezbarvý inertní plyn, který je bez chuti a zápachu. Z důvodu, že je inertní, tak nevytváří s ostatními prvky žádné sloučeniny. Argon má hustotu  $1,784 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$  a je lehčí než vzduch. Oproti vzduchu má také menší tepelnou vodivost. Výroba argonu probíhá frakční destilací zkapalněného vzduchu. Tento plyn se především využívá pro svařování titanu, tantalu a zirkonu. Dále je možné vyrábět různé směsi s ostatními inertními plyny.

### 3.2.2. Helium – He

Helium stejně jako argon je jednoatomový bezbarvý inertní plyn, který je bez chuti a zápachu. Helium je velmi lehký prvek, jelikož jeho hustota je  $0,178 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ . Tepelná vodivost tohoto prvku je mnohem lepší než u argonu. Helium se získává především ze zemního plynu přesněji z metanu a to frakční destilací. Pro svařování má tento plyn jednu špatnou vlastnost a to, že se při používání helia hůře zapaluje elektrický oblouk, a proto se helium využívá většinou ve sloučeninách právě s argonem. Čisté Hélium se používá hlavně pro svařování větších tlouštěk materiálu z hliníku nebo mědi.

### 3.2.3. Směsi Ar + He

Směs těchto dvou inertních plynů nabývá nejvýhodnější vlastností obou dvou prvků. V procesu svařování se využívají především pro svařování hliníku a mědi a případně jejich slitin. Tyto směsi je možné používat, jak při ručním tak i při strojním svařování. Hlavní výhodou je dosažení vyšší svařovací rychlosti a zároveň i větší hloubky závaru. Nejčastěji používané směsi na trhu jsou 70% Ar a 30% He, 50% Ar a 50% He, 30% Ar a 70% He. Na obrázku číslo 3.7 můžete vidět porovnání použití směsi Ar a He oproti využití čistých plynů. Z obrázku je patrné, že při využití směsi dochází větší hloubce závaru.



Obr. 3.7 Vliv ochranného plynu na hloubku závaru [20]

### 3.2.4. Směsi Ar + H

Tato směs má velmi podobné vlastnosti jako směsi tvořené Ar a He. Obsah vodíku v této směsi je v rozmezí 5 až 10 %. Vodík zde slouží pro redukci oxidů, což má za následek zlepšení povrchu svaru. Využívá se pro svařování austenitických a austenitoferitických chromniklových ocelí a dále pro svařování niklu a případně jeho slitin. Naopak se není dovoleno směsí Ar a He svařovat martenzitické a martenzitickoferitické chromniklové oceli z důvodu praskavosti za studena. Díky praskavosti a lámavosti není vhodné tyto směsi využívat i pro svařování hliníku anebo mědi.

### 3.3. Přídavné materiály [1],[6],[14],[21]

Pro metodu svařování MIG se jako přídavný materiál používají dráty, které mohou být plné anebo plněné. Dráty jsou navinuty na plastové anebo drátěné cívky o hmotnosti od 5 do 30 kg. Pro robotické pracoviště se využívá balení v lepenkové krabici, kde je 200 až 400 kg přídavného materiálu, což zajišťuje dlouhé nepřerušování svařovacího cyklu robotického pracoviště. Na obrázku číslo 3.8 můžete vidět ukázkou přídavného materiálu navinutého na cívce anebo v lepenkové krabici.



Obr. 3.8 Přídavný svařovací materiál [6],[21]

Každý přídavný materiál musí obsahovat tyto základní údaje:

- Označení výrobce,
- označení drátu dle normy a výrobce,
- průměr drátu,
- hmotnost,
- číslo tavby,
- klasifikace a certifikace jiných orgánů.

Skladování přídavných materiálů je popsáno přímo normou nebo výrobcem. Všeobecně platí, že ideální teplota skladování je nad 10°C a relativní vlhkosti do 50%. Dále musí být přídavný materiál chráněn proti oxidaci a znečištění. V dnešní době jsou přídavné materiály dodávány v zatavených polyetylenových fóliích.

Plné dráty jsou vyráběny v nejrůznějších průměrech a to od 0,6 až do 2,4 mm. V praxi se nejčastěji využívají dráty 0,8 až 1,6 mm.

Plněné dráty mají uvnitř různé náplně, které ovlivňují kvalitu svaru a svarového kovu. Většinou jsou to přísady bazické, kyselé, rutilové a další různé struskotvorné

přísady, které ovlivňují formování svaru a kvalitu povrchu. Dále to mohou být přísady legující, dezoxidační anebo ionizační, které ovlivňují především kvalitu svaru a hoření oblouku. Všeobecně se plněné dráty používají z těchto důvodů:

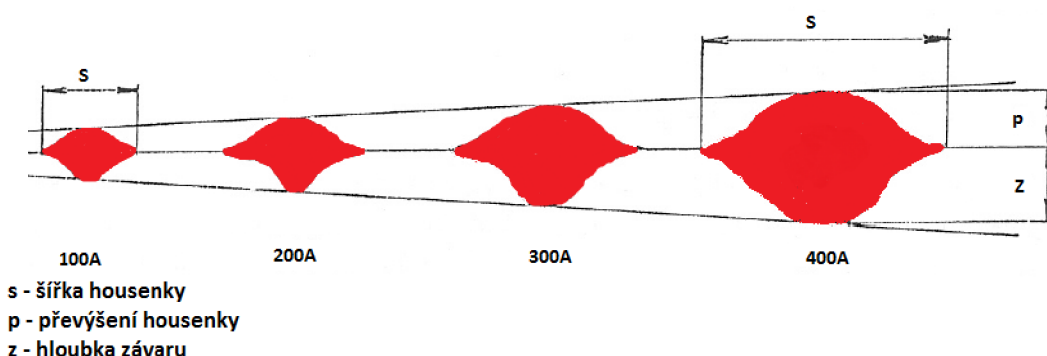
- Bezpečné natavení svarových ploch a snížení nebezpečí vzniku studených spojů,
- hladký povrch a dobrá smáčivost,
- vhodnost pro svařování v polohách,
- nízká náchylnost na tvorbu trhlin,
- příznivé mechanické vlastnosti svarů,
- možnost využít bezroštíkový kapkový přenos.

### 3.4. Podmínky a technologické parametry procesu svařování [1]

Tato podkapitola se zabývá základními technologickými parametry, které ovlivňují svařovací proces. Mezi základní parametry tohoto procesu patří svařovací proud, napětí a proudová hustota.

#### 3.4.1. Svařovací proud

Velikost svařovacího proudu ovlivňuje především přenos kovu v elektrickém oblouku a zároveň ovlivňuje i tvar a průřez svarové housenky. Pokud hodnota svařovacího proudu roste, tak zároveň stoupá i velikost proudové hustoty, velikost a tekutost svarové lázně. Na obr. Číslo 3.9 můžete vidět, jak s rostoucí velikostí svařovacího proudu se mění tvar svarové housenky. Z obrázku je zřejmé, že při konstantním napětí a zvyšování proudu dochází k výraznému růstu hloubky závaru, ale s relativně malým růstem šířky housenky a převýšením.

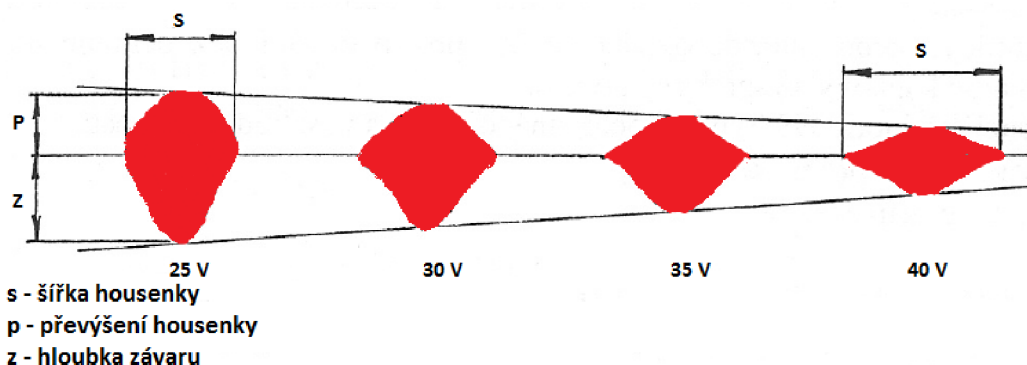


Obr. 3.9 Vliv svařovacího proudu na hloubku závaru [1]

Správně nastavená hodnota svařovacího proudu výrazně ovlivňuje i velikost odtaveného výkonu, jelikož s růstem proudu roste i frekvence odtavených kapek. Na druhou stranu tyto odtavené kapky jsou menšího objemu. Dále s růstem frekvence odtavených kapek souvisí i zvýšení sil působících při oddělení kapky kovu.

### 3.4.2. Svařovací napětí

Svařovací napětí vyjadřuje potenciální rozdíl mezi povrchem svarové lázně a drátem elektrody, proto se hodnota napětí mění podle délky oblouku. Velikost napětí výrazně ovlivňuje šířku svarové housenky, ale oproti svařovacímu proudu málo ovlivňuje hloubku závaru a množství odtaveného přídavného materiálu. Na obrázku číslo 3.10 je zobrazen vliv velikosti svařovacího napětí na velikosti šířky svarové housenky.



Obr. 3.10 Vliv svařovacího napětí na velikost závaru [1]

Napětí na oblouku je důležité především pro ustálení pracovního bodu. Dále výrazně ovlivňuje stejně jako velikost svařovacího proudu druh přenosu kovu v elektrickém oblouku. Rozmezí napětí pro určité typy přenosů kovů můžete vidět v tabulce číslo 3.1.

Tab. 3.1 Rozsah napětí pro různé typy přenosu kovu v elektrickém oblouku [1]

Typ přenosu kovu	Rozsah napětí [V]
Zkratový přenos	14 – 27
Bezzkratový přenos	21 – 27
Sprchový přenos	nad 27

Jak je z tabulky patrné, tak při vysokém napětí se dostáváme do oblasti sprchového přenosu kovu. Což má za následek, že se zvětšuje délka oblouku a propal prvků. Svary svařené vysokým napětím jsou náchylné na pórovitost. Při vyšším napětí vzniká svarová lázeň, která je široká a mělká. Dochází zde k předbíhání svarové lázně před oblouk, a proto není vhodné využívat vyšší svařovací napětí pro svařování v polohách.

Pokud je svařovací napětí malé, pak dochází k tomu, že je proces nestabilní, což má za následek nedokonalé natavení hran základního materiálu a pokud svařujeme více vrstvé svary dochází ke vzniku studených spojů.

### 3.4.3. Proudová hustota

Proudová hustota má významný vliv na charakter svařování a tvar svarové housenky. Slouží pro vyjádření proudového zatížení drátu s ohledem na jeho příčný průřez a udává

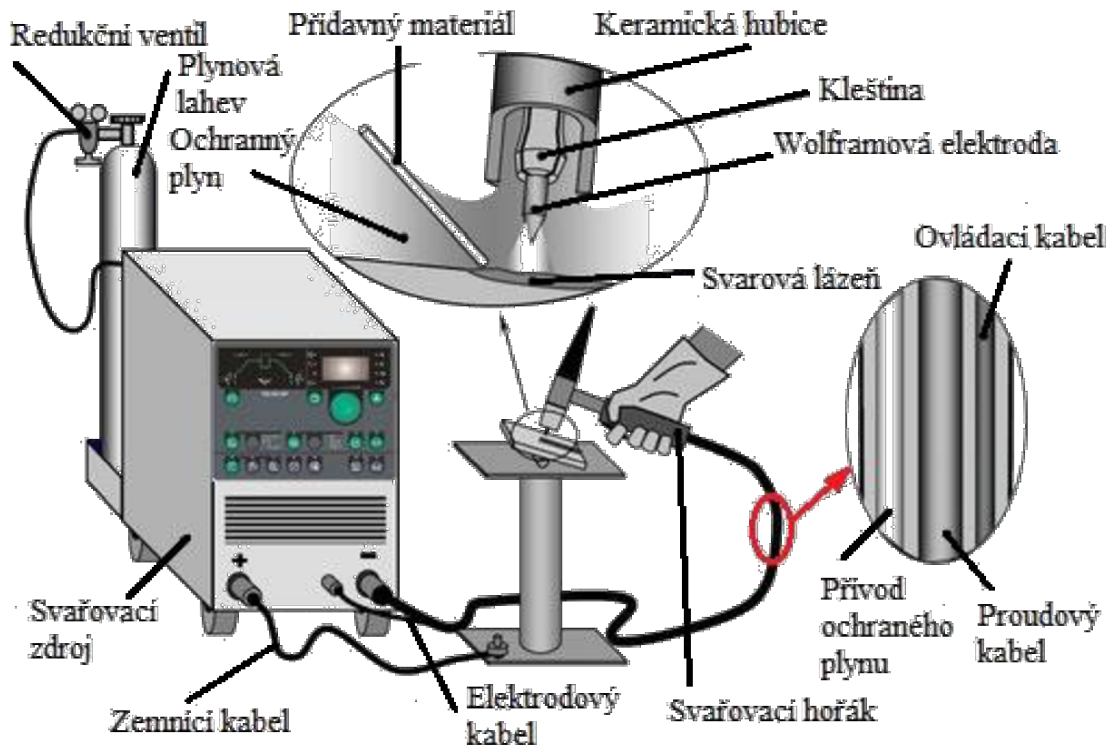
se v  $A \cdot mm^{-2}$ . Při konstantním napětí a s rostoucí proudovou hustotou dochází ke zvětšování hloubky závaru a k růstu výkonu odtavení.

Velikost proudové hustoty pro nejvíce používané svařovací dráty o průměrech 0,8 až 1,2 mm se pohybuje v rozmezí 80 až  $350 A \cdot mm^{-2}$ . Pokud pro svařování používáme plněné přídavné materiály má proudová hustota velikost třikrát větší než u plných přídavných materiálů.



## 4. Metoda TIG [1], [3], [7], [12], [14], [23]

Základní principem metody TIG je hoření elektrického oblouku mezi netavící se wolframovou elektrodou a základním materiálem. Ochrana elektrody a tavné lázně je zajištěna díky inertnímu (netečnému) plynu o velice vysoké čistotě alespoň 99,995%. Jako ochranné plyny využíváme argon (Ar) a helium (He) nebo popřípadě jejich směsi. U metody TIG je přídavný materiál ve formě drátu, který může být přiváděn ručním způsobem, nebo za pomoci automatického podavače s proměnlivou rychlostí podávání drátu. Na obrázku číslo 4.1 můžete vidět svařovací zařízení TIG.



Obr. 4.1 Svařovací zařízení metody TIG [3]

Svařování metodou TIG lze obecně rozdělit na svařování střídavým proudem a stejnosměrným proudem. Využitím střídavého proudu můžeme svařovat materiály hliníkové, hořčíkové anebo jejich slitiny. Svařování stejnosměrným proudem nám umožňuje svařovat vysokolegovanou ocel, měď, nikl, titan, zirkon a mnoho dalších.

Hlavní výhody metody TIG jsou:

- efektivní ochrana svarové lázně díky využití inertního ochranného plynu,
- vysoká čista povrchu svaru,
- velmi dobré formování svarové housenky v oblasti povrchu a kořene svaru,
- není vyžadováno používání tavidel,



- elektrický oblouk dosahuje vysoké stability v širokém rozmezí svařovacích proudů,
- velmi dobrá operativnost při svařování v polohách,
- jednoduchost obsluhy a regulace svařovacích parametrů,
- malá TOO (tepelně ovlivněná oblast) a minimální deformace.

Metoda TIG je využívána pro svařování výrobků z chemického, farmaceutického, potravinářského, energetického průmyslu a v oblasti dopravní techniky.

#### **4.1.Druhy svařovacích proudů [1], [12], [14]**

Pro svařování metodou TIG se využívají tři druhy proudů a to stejnosměrný, střídavý a impulsní proud.

##### **4.1.1. Svařování stejnosměrným proudem**

Tento způsob svařování je základním typem zapojení metody TIG. Záporný pól zdroje je připojen k elektrodě a kladný pól je připojen na svařovaný materiál a díky tomu dochází k nerovnoměrnému rozdělení tepla. Přibližně 2/3 tepla přestupují do svařovaného materiálu, což má za následek velkou hloubku závaru a 1/3 tepla přestupuje do elektrody, což má za následek její nižší tepelné zatěžování. Svařování stejnosměrným proudem se používá právě pro svařování ocelí, mědi, niklu, titanu a jejich slitin je možné ho použít i pro svařování hliníku, ale pouze na renovační účely na opravy odlitků a velkých svarků.

##### **4.1.2. Svařování střídavým proudem**

Svařování střídavým proudem se využívá převážně jen pro svařování hliníku a jeho slitin a to díky čistícímu účinku, který nastane při zapojení do kladné polarity. Při svařování hliníkových materiálů je velkým problémem vrstva  $Al_2O_3$ , která má velmi vysokou teplotu tavení a to 2050 °C, což je zhruba 3 krát vyšší než teplota tavení hliníku, a proto je nutné vrstvu oxidu hlinitého odstranit a to tak, že elektrodu zapojím na kladný pól zdroje. Na základním materiálu vznikne katodová skvrna, která není dostatečně stabilní, a proto se musí pohybovat na místa, kde jsou právě oxidy, které mají nižší emisní energii, a po zasažení katodovou skvrnou dojde k snadnému odpaření oxidů.

##### **4.1.3. Svařování impulsním proudem**

Svařování impulsním proudem je metoda, kdy se intenzita proudu mění v pravidelně v závislosti na čase mezi dvěma proudovými hladinami a to mezi základním proudem  $I_z$  a impulsním  $I_p$ . Hodnota základního proudu bývá nízká (cca 10 – 15 A), což zajišťuje ionizaci oblouku v základním čase  $t_z$ . Při impulsním proudu dochází v čase pulsu  $t_p$  k natavení svarové lázně a přídavného materiálu. Velikost svarové lázně je závislá především na velikosti impulsního proudu a době pulsu. V porovnání s klasickým způsobem svařování je při svařování impulsním proudem menší TOO ve svaru a zároveň je dosaženo nižší náchylnosti k praskání a deformaci.

Podle charakteru svařovacího zdroje může být tvar pulsů pravoúhlý, sinusový, lichoběžníkový anebo jiný.

Základními výhodami impulsního svařování jsou:

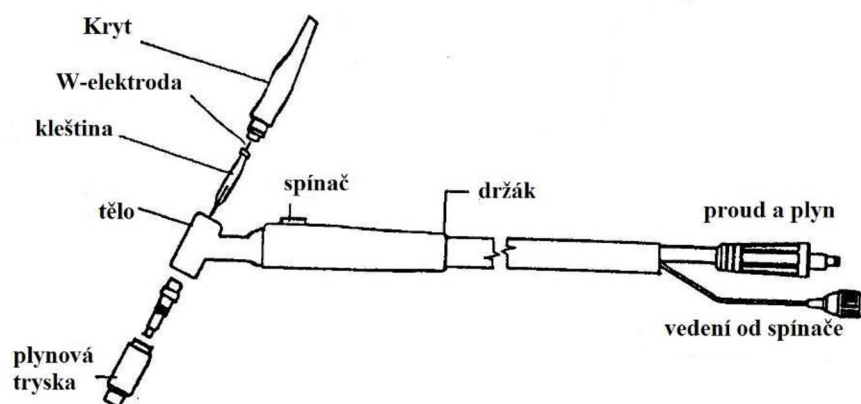
- lepší mechanické a plastické vlastnosti svarů,
- lepší celistvost svaru,
- dobrý vzhled housenky a velmi dobré formování svaru,
- u vysokolegovaných ocelí dochází ke snížení náchylnosti na vznik mezikrystalické korozi,
- možnost spojení plechu bez podložky od tloušťky 0,5 až 5 mm,
- velmi široká možnost regulace svařovacího proudu.

Dle uvedených výhod se proto svařování impulsním proudem využívá především pro svařování tenkých plechů z legovaných ocelí, mědi a měděných slitin. Dále je vhodné pro svařování různých tlouštěk materiálu, pro polohové svary a pro materiál citlivé na přehřátí.

### 4.3. Svařovací hořák [1], [12], [14]

Svařovací hořák je jednou z nejdůležitější částí svařovacího zařízení pro metodu TIG a zároveň je nejvíce zatěžován. Hořák zajišťuje přívod a usměrnění určitého množství ochranného plynu, přivádí elektrický proud k elektrodě, zajišťuje přívod a odvod chladicího média a zároveň fixuje polohu wolframové elektrody.

Svařovací hořáky se rozdělují dle použití pro ruční nebo strojní svařování. Pro ruční svařování se využívají hořáky, které jsou chlazené procházejícím plynem. Tyto hořáky jsou určeny pro proudový rozsah cca 150 A. Hořáky pro strojní svařování jsou chlazené vodou a jejich proudové rozpětí je od 300 do 500 A. Základní části hořáku můžete vidět na obr. 4.3.



Obr. 4.3 Detail svařovacího hořáku [1]

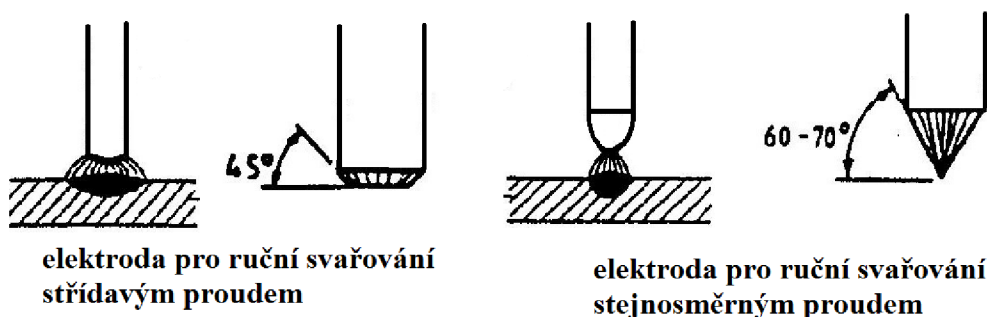
Jak je vidět na obrázku svařovací hořák se skládá z kleštiny, která zajišťuje správné upevnění wolframové elektrody a zároveň přivádí proudové napětí na elektrodu. Dále je na obrázku zobrazena plynová tryska, která slouží k usměrnění proudu ochranného plynu do svaru. Pro ruční svařování je používají trysky keramické a pro svařování strojní se používají trysky kovové, nejčastěji měděné. Ostatní části hořáku jsou wolframová elektroda, kryt elektrody, spínač, držák, vedení proudu a plynu.

#### 4.4. Netavící se wolframové elektrody [1], [12], [14]

Netavící se elektroda, která je využívána pro svařování metodou TIG, je vyrobena ze spékaného wolframu, který dosahuje vysoké teploty tavení a to  $3380^{\circ}\text{C}$ . Dalšími vlastnostmi jsou teplota varu  $5700^{\circ}\text{C}$ , měrný elektrický odpor  $5,36 \cdot 10^{-8} \Omega$  a hustota  $19,1 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$ . Tyto elektrody se vyrábí buď bez příměsí s čistotou 99,9 % W anebo s legovanými oxidy kovů. Mezi legující prvky patří thoria (Th), lanthan (La), Ceru (Ce), zirkon (Zr) a yttrium (Y) a tyto prvky jsou v celé elektrodě rovnoměrně rozptýleny. Díky přísadě oxidů dochází ke snížení teploty ohřevu elektrody cca o  $1000^{\circ}\text{C}$  a tím dochází ke zvýšení životnosti netavící se elektrody. Dále oxidy zlepšují zapalování oblouku i jeho stabilitu a to díky zvýšené emisi elektronů. Elektrody se vyrábí v délkách 50, 75, 150, 175 mm a v průměrech 0,5; 1,0; 1,6; 2,0; 2,4; 3,0; 3,2; 4,0; 4,8; 5,0; 6,0; 6,4; 8,0; 10,0 mm. Volba druhu elektrody se provádí na základě druhu svařovacího proudu a na oblasti použití elektrody. Faktory ovlivňující volbu elektrody jsou:

- druh svařovacího proudu,
- polarita na elektrodě při stejnosměrném proudu,
- velikost svařovacího proudu, který je závislí na druhu základního materiálu a tloušťce,
- na typu, tvaru a hloubce svařovaného úkosu

Podle těchto faktorů se vybere wolframová elektroda, na které je provedena úprava funkčního konce, dle jejího použití. Přehled použití elektrod pro střídavý a stejnosměrný proud je zobrazen na obrázku číslo 4.4.



Obr. 4.4. Tvar wolframových elektrod [1]

## **4.5. Ochranné inertní plyny [1], [12], [14]**

Ochranné plyny slouží především pro zajištění ochrany netavící se elektrody a svarové lázně. Chrání je před vlivy oxidace a naplněním. Zároveň jsou tyto plyny velice užitečné při zapalování a udržování oblouku a poskytují dobrý přenos tepla do svaru.

### **4.5.1. Argon**

Argon patří mezi jednoatomové plyny, které jsou bezbarvé, bez chuti a zápachu. Tento plyn patří mezi inertní plyny, které nevytváří s žádným plynem chemické sloučeniny. Díky tomu je možné ho použít pro všechny svařitelné materiály jako ochranný plyn. Výroba argonu probíhá destilací zkapalněného vzduchu. Při atmosférickém tlaku má tento plyn teplotu varu při 185,8 °C. Mezi základní výhody argonu patří malá teplená vodivost a nízký ionizační potenciál, který je 15,8 eV. Právě díky nízkému ionizačnímu potenciálu je možné u argonu dobře zapálit oblouk a dosáhnout zároveň vysoké stability elektrického oblouku. V dnešní době je argon vyráběn v různých čistotách. Nejvíce průmyslově využívanou čistotou je 99,995 %.

### **4.5.2. Helium**

Helium je další jednoatomový inertní plyn, který je také bezbarevný a bez zápachu. Jeho výroba probíhá separací určitých druhů zemního plynu, kde se právě vyskytuje helium v objemu cca 1 %. Díky tomu, že tento plyn je velice lehký dochází ke snížení efektivity ochrany, a proto je nutné při použití helia jako ochranného plynu zvýšit průtok plynu. Standardně se helium vyrábí v čistotě 99,996 % a limitovanou hodnotou nečistot jako je dusík nebo vodní pára. Tento plyn má oproti argonu vyšší ionizační potenciál a to 24,6 eV, tudíž je zapalování elektrického oblouku horší. Dále je oblouk při hoření méně stabilní. Naopak výhodou helia oproti argonu je lepší tepelná vodivost, a proto se helium využívá pro svařování tlustších materiálů převážně z hliníku nebo mědi a jejich slitin.

### **4.5.3. Směsi argonu a helia**

Směs těchto dvou plynů spojuje výhodné vlastnosti obou dvou inertních plynů a to ve prospěch svařování. Při svařování metodou TIG se nejvíce využívají směsi 70% Ar – 30% He, 50% Ar – 50% He, 30% Ar – 70% He. Čím je ve směsi větší podíl helia, tím dochází ke zvyšování napětí na oblouku a zároveň tepelného výkonu na oblouku, což následně pozitivně ovlivňuje tvar a velikost svaru. Směsi argonu a helia mají dále velmi pozitivní vliv na rychlost svařování a hloubku závaru. Tyto směsi se používají především pro svařování mědi a hliníků a to jak ručním, tak i strojním způsobem.

### **4.5.4. Směs argonu a vodíku**

Tato směs má velmi podobné vlastnosti jako směs argonu a helia. Díky tomu, že směs obsahuje 5 až 10 % vodíku, zvyšuje se teplený výkon a dochází k větší tepelné vodivosti. Dále vodík provádí redukci oxidů při svařování. Tato směs je vhodná pouze pro svařování vysoce legovaných austenitických a austeniticko – feritických chrom-niklových ocelí nebo niklu a jeho slitin. U ostatních materiálů způsobuje vodík praskavost nebo pórovitost svaru.

#### 4.5.5. Směsi argonu a dusíku

Tyto směsi mají podobné vlastnosti jako směsi argonu a vodíku. Dusík je také, jako vodík dvouatomový plyn, a proto má vyšší tepelnou vodivost, díky které přenáší do svarové lázně větší podíl tepla. Běžný obsah dusíku v sloučeninách se pohybuje okolo 10 %. Tyto směsi se používají především pro svařování slitin mědi.

#### 4.6. Přídavný materiál [1], [7], [12], [14], [23]

Při svařování metodou TIG používáme jako přídavný materiál svařovací tyčinky nebo svařovací drát. Na obrázku číslo 4.5 můžete vidět obě dvě varianty přídavných materiálů.



Obr. 4.5 Přídavný materiál pro metodu TIG [7],[23]

Tyto materiály musí mít určité chemické složení a musí zároveň splnit tyto funkce:

- musí dojít k doplnění objemu svarového kovu tak, aby byl vytvořen svar požadovaného tvaru, velikosti a průřezu,
- svarový kov musí být legován vždy přísadami, které zlepšují vlastnosti svaru,
- do svaru musí být dodány takové přísady, které zajistí desoxidaci, odplynění a zároveň podporují metalurgické děje.

Svařovací tyčinky mají kruhový průřez a jsou dodávány ve formě drátu určité délky. Průřez tyčinky se pohybuje v rozmezí od 1 do 8 mm a délka je od 600 mm do 1800 mm. Tento přídavný materiál může být dodáván s plným průřezem anebo dutým, kde je tyčinka plněna různými legujícími prvky.

Svařovací dráty jsou nejčastěji používány pro mechanizované procesy svařování metodou TIG. Tyto dráty jsou přesného kruhového průřezu, který je navinut na cívce. Dráty jsou dodávány v průřezích od 0,6 do 2,4 mm, které se používají pro svařování materiálu do tloušťky 5 mm.

Veškeré přídatné materiály se navrhuji dle těchto zásad:

- chemické složení přídatného materiálu a základního materiálu musí být stejné nebo podobné,
- pro ocelové konstrukce, které jsou dynamicky zatěžované je zapotřebí volit přídatný materiál, který má lepší mechanické vlastnosti než materiál základní,
- pro materiály náchylné na horké trhliny je nutné volit přídatný materiál, který snižuje náchylnost na tvorbu vnitřních trhlin,
- pokud vyžadují vysokou odolnost proti chemické korozi, musím mít přídatný materiál, který má stejné chemické složení a čistotu.

## 5. Svařovací roboty a manipulátory [1], [8], [15], [22]

V této kapitole se budeme zabývat teorií ohledně svařovacích robotů a manipulátorů, kde budou blíže popsány základní charakteristické vlastnosti a technické náležitosti problematiky svařovacích robotů a manipulátorů.

### 5.1. Úvod do automatizace a robotizace v procesech svařování [1], [22]

Základní myšlenkou procesu automatizace a robotizace výroby je využití různých technických prostředků a to tak aby samočinně pracovaly dle předem zadaného pracovního programu. V dnešní moderní době byla tato základní myšlenka povýšena na další úroveň a to tak, že při pracovním procesu jsou sbírány informace, které jsou následně kontrolovány a dle výsledku kontroly dochází ke zpětnému působení na výrobní zařízení. Díky této technologii je proces řízen, dle programu a není zapotřebí zásahu člověka.

Automatizace a robotizace v procesu svařování je využívána především pro sériovou a velkosériovou výrobu, kde nejznámějším příkladem je využití pro bodové svařování karosérie automobilu. V posledních letech se díky rozvoji automatizace a robotizace využívá tohoto procesu i pro svařování malosériové a dokonce kusové výroby a to díky snaze vyloučení lidského faktoru z procesu svařování, aby byla zajištěna opakovatelnost kvality svařence. Pokud budeme porovnávat ruční a automatizované svařování, tak hlavními výhodami jsou:

- vyšší kvalita svarů, snížení anebo úplné odstranění poruchových veličin svařovacího procesu např. kolísání délky oblouku nebo nestejná rychlost svařování,
- lepší rozměrová přesnost, zvýšení produktivity a zároveň snížení výrobních nákladů,
- dosažení opakovatelné kvality výroby,
- možnost nepřetržité práce a zároveň eliminace únavy,
- svařování v těžkých pracovních podmínkách (vyšší teplota).

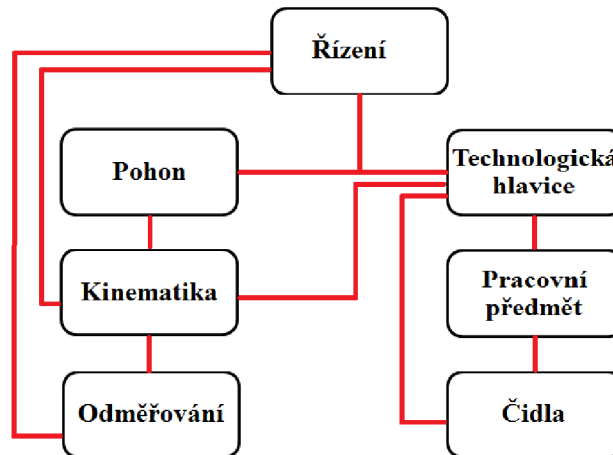
### 5.2. Průmyslové roboty a manipulátory ve svařování [1], [15], [22]

Při svařování je veškerá automatizace a robotizace řízena pomocí programovatelných manipulátorů, automatických ramen a průmyslových robotů. Při svařování je základní požadavkem, aby zařízení dokázaly napodobovat pohyby lidské ruky, která drží a ovládá svařovací hořák.

Manipulátor je zařízení, které je řízené ručně nebo strojně pomocí pevného programu.

Průmyslový robot je vyšší stupeň automatického zařízení, který je volně programovatelný. Základní části průmyslových robotů jsou pohon, odměřovací systém, kinetický mechanismus, uchopovací jednotka anebo technologická hlavička.

Svařovací průmyslové roboty a manipulátory jsou zařízení, která dokáží kopírovat stejný pohyb jako lidská ruka. Tento druh robotů je schopný pohybovat technologickou hlavicí po určité trajektorii, která je zadána programem. Součástí programu jsou základní svařovací parametry a to svařovací proud a napětí, úhel hořáku, rychlost svařování a natáčení polohovadel manipulátorů. Největší využití mají svařovací roboti v sériové výrobě, kde bývají zapojeni do výrobních automatických linek. Základní schéma průmyslového robota můžete vidět na obr 5.1.

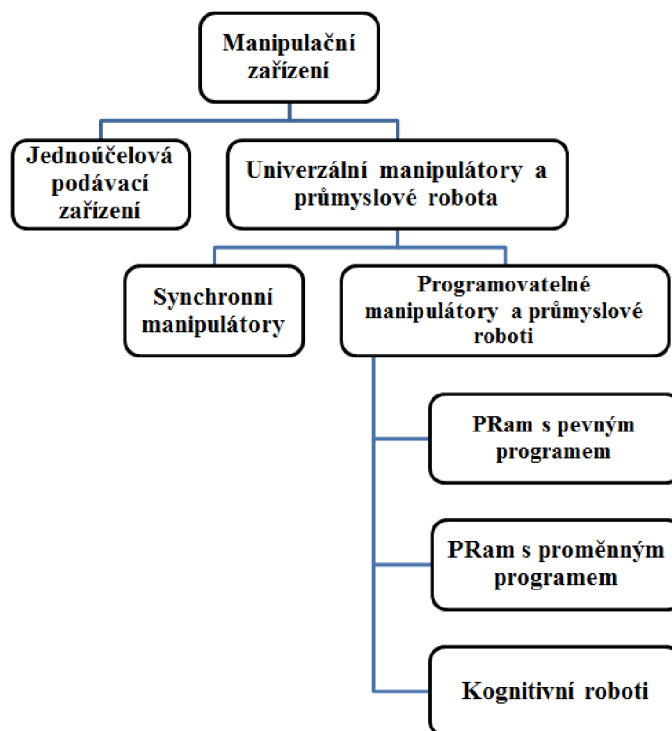


Obr. 5.1 Schéma základních částí průmyslového robota [1]

### 5.3. Rozdělení průmyslových robotů a manipulátorů [1], [15], [22]

Průmyslové roboty a manipulátory může rozdělit dle jejich složitosti provedení a stupně řízení. Tyto zařízení jsou uzpůsobena vykonávat manipulační úkony anebo technologicko-výrobní operace. Na obrázku číslo 5.2 můžete vidět schéma rozdělení právě manipulátorů a průmyslových robotů.





Obr. 5.2 Schéma rozdělení manipulačních zařízení [1]

Jednoučelové manipulátory jsou zařízení, která jsou součástí obsluhovaného stroje a jsou jím zároveň i řízeny. Pohyb tohoto zařízení je zajištěn vlastním nebo odvozeným pohonem od obsluhovaného stroje.

Univerzální manipulátor je vyšším stupněm jednoúčelového manipulátoru. Základní rozdíl je v tom, že univerzální manipulátor má vlastní řízení a větší rozsah aplikačních možností pro nasazení do výroby. U těchto manipulátorů jsou výběrovými kritérii počet stupňů volnosti, rozsah jednotlivých pohybů, přesnost polohování a opakovatelná přesnost.

Synchronní manipulátory jsou přístroje, které jsou řízeny pracovníkem tedy obsluhou. Tento typ manipulátorů je využíván pro přenos těžkých objektů a to tak, že obsluha manipulátoru uděluje příkazy a stroj je vykonává.

Programovatelné průmyslové roboty a manipulátory jsou zařízení, která jsou řízená pomocí programovacího ústrojí. Tyto zařízení nazýváme zkráceně PRam a dělí se do tří podskupin:

- PRam s pevným programem

Jak je z názvů skupiny PRam patrné jedná se o zařízení, která pracují na základě předem daného pracovního programu, který se v průběhu činnosti nemění. Na obrázku číslo 5.3 můžete vidět funkční schéma PRam s pevným programem.



Obr. 5.3 Funkční schéma Pram s pevným programem [1]

- PRam s proměnlivým programem

Tato zařízení jsou vyšším stupněm PRam s pevným programem. Základním rozdílem je možnost přepínání anebo výběru vhodného programu dle aktuální situace. Funkční schéma tohoto zařízení můžete vidět na obr. 5.4.



Obr. 5.4 Funkční schéma Pram s proměnlivým programem [1]

- Kognitivní roboty

Tato poslední kategorie PRam je vybavena možností vnímání a racionálního myšlení.

#### **5.4. Kinematika pohybu robotických ramen určených k svařování** [1], [8], [15], [22]

V této kapitole bude blíže popsána kinematika pohybu robotických ramen určených pro technologii svařování. V dnešní době se vyrábějí svařovací roboty, které využívají 6 nebo 7 stupňů volnosti robotického ramene. Kinematika pohybů svařovacích robotů je charakterizována kopírováním pohybů lidské ruky tak, aby bylo možné nahradit pohyb vykonávaný při ručním svařování. Pohyby robota jsou řízeny programem, který je složen z části zadávající kinematické pohyby a z části technologické. Kinematické pohyby jsou řízeny základními složkami, které jsou:

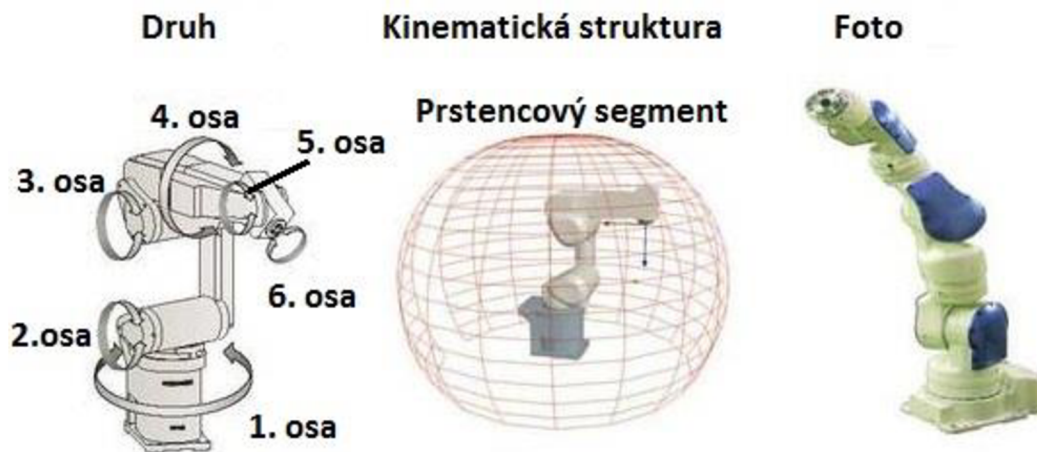
- Kinematická základna,
- Kinematika polohovacího ústrojí,
- Kinematika orientačního ústrojí, kam patří kinematika zápěstí.

Průmyslové roboty využívají pro zajištění přesné polohy řízení pomocí souřadnic. V dnešní době se využívají čtyři druhy souřadnicových systémů:

- Pravoúhlý souřadnicový systém,

- Válcový souřadnicový systém,
- Sférický souřadnicový systém,
- Úhlový souřadnicový systém.

Pro svařovací roboty se používá souřadnicový systém úhlový se třemi rotačními dvojicemi. Pro tento souřadnicový systém je typický pracovní prostor, kterým má tvar torusového prstence. Pohyb hlavice je odvozen od třech rotačních os, které jsou na technologické hlavici. Na obr. 5.4 můžete vidět svařovacího robota se 6 osami. Dále si můžete prohlédnout torusový prsteneček, který ukazuje pracovní prostor robota.



Obr. 5.5 Šestiosý robot [8]

## 5.5. Pohony průmyslových robotů [1], [15], [22]

V jednotlivých souřadnicových osách svařovacích robotů jsou pohybové jednotky, které zajišťují pohyb dle řídicího systému. Tyto jednotky mohou být hydraulické, pneumatické anebo elektrické. Každá z těchto jednotek má své výhody i nevýhody.

### 5.5.1. Hydraulické pohony

Hydraulické pohony jsou využívány především z toho důvodu, že při relativně malých rozměrech hydraulických prvků dosahují značného výkonu. Dále umožňují plynulé řízení rychlosti a libovolný počet pracovních mezi poloh. Obecně hydraulické pohony se vyznačují velkou tuhostí, vysokou účinností a spolehlivostí. Mezi slabé stránky těchto pohonů patří především nutnost samostatného hydraulického agregátu a z mého pohledu je velkým problémem změna viskozity hydraulické kapaliny v závislosti na teplotě. Dále je u hydraulických pohonů problém s dosažením vyšších pohybových rychlostí.

### 5.5.2. Pneumatické pohony

Tento typ pohonů je hojně využíván pro menší roboty a manipulátory s jednoduššími pracovními cykly. Základní výhodou pneumatického pohonu je dosažení rychlých

přímočarých pohybů s velkými zdvihy. Po konstrukční stránce jsou tyto pohony jednoduché a zároveň spolehlivé. Mezi nevýhody patří obtížné řízení rychlosti pohybu a zastavení. Dále tento typ pohonů dosahuje nižší přesnosti polohování oproti svým konkurentům.

### **5.5.3. Elektrické pohony**

Elektrický pohon je v posledních letech na velkém vzestupu díky progresivnímu vývoji elektrických prvků. Velkou předností tohoto pohonu je snadný rozvod energie, díky využívání media z veřejné sítě. Dále je to vysoká přesnost polohování za využití číslicových krokových motorů. Ovládání těchto pohonů je jednoduché díky snadnému napojení na řídicí systém bez nutnosti převodníků energie. Tyto pohony jsou rozměrově menší zařízení než pneumatické nebo hydraulické pohony. Hlavní nevýhodou těchto pohonů je složitá realizace přímočarého pohybu.

## **5.6. Snímače [1], [15], [22]**

Snímače patří mezi základní části robotů a jsou zařazeny do informačního systému průmyslových robotů. Hlavní funkcí snímačů je sběr dat a přenos informací o stavu pracovních částí svařovacího robota. Princip snímání je takový, že nasbírána data jsou poslána do řídicího systému, který je zpracuje, následně je vyhodnotí a provede nutné korekce. Snímače jsou složeny z jednoho nebo více čidel, na které právě působí snímané veličiny, které jsou převedeny na elektrický signál tak, aby mohlo dojít ke zpracování řídicím systémem, a poté k vyslání výstupního signálu na ovládací prvky jednotlivých částí robotů. Čidla se dělí na dvě základní kategorie a to:

Čidla vnitřní informace jsou určena k sledování činnosti toho, co dělá samotný svařovací robot. Jsou to především informace o poloze, změně polohy, o rychlosti pohybu jednotlivých kinematických částí robotů.

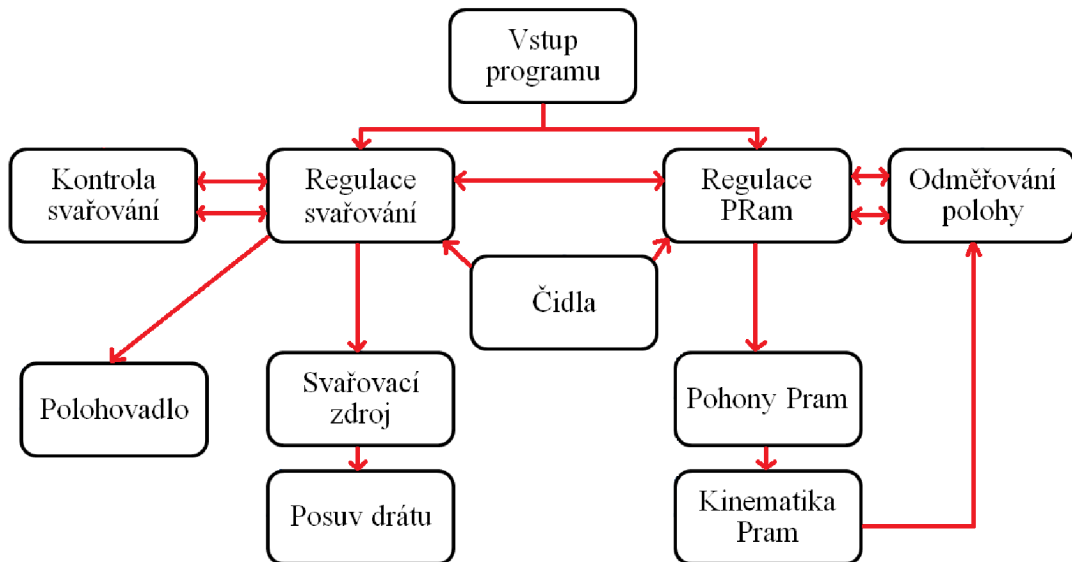
Čidla vnější informace jsou určena pro snímání stavu pracovního prostředí a získávání informací o teplotě prostředí. Velmi důležité je snímání základních technologických parametrů procesu svařování, jako jsou proud a napětí na oblouku a délka oblouku. Dále jsou snímány informace o relativní poloze výstupní hlavice a objektu v prostoru, o rozměrech a tvaru svařovaného předmětu.

Další možné dělení snímačů je podle druhu výstupního signálu a ten může být analogový, kam patří snímače odporové, indukční a kapacitní anebo snímače číslicové do kterých patří impulsní snímače a snímače s kódovými obrazci.

## **5.7. Řídicí systémy průmyslových robotů [1]**

Základní činností řídicího systému průmyslových robotů je řízení souslednosti a průběhu jednotlivých úkonů jak manipulačních tak i technologických operací a zpracování dat ze snímacích zařízení. Celý pracovní cyklus průmyslových robotů je tvořen sledem pohybů, ve kterých jde o nastavení polohy výstupní hlavice a o řízení tvaru dráhy pohybu této hlavice. U svařovacích robotů jde právě o řízení svařovacího hořáku po určité křivce o zadané rychlosti. Řízení veškerých úkonů je prováděno na základě pracovního programu, kterým je vybaven řídicím systémem. Program je vlastně

řada povelů a údajů, které jsou sestaveny v určité časové návaznosti, a jeho sled zajišťuje kvalitu svarového spoje. Řídicí systém je vlastně takovým mozkiem průmyslových robotů, který řídí veškeré činnosti. Na obrázku číslo 5.6 můžete vidět blokové schéma řídicího systému svařovacího robotu.



Obr. 5.6 Blokové schéma řídicího systému průmyslového robotu [1]

Řídicí systémy můžeme rozdělovat na dvě části:

- Řídicí systémy s pevným programem

Základní myšlenkou je, že se nemění program během činnosti svařovacího robotu. Tyto systémy jsou dle funkčního uspořádání jako cyklové, souřadnicové, souvislé anebo kombinované. Řídicí systémy cyklické jsou tvořeny logickými obvody, které jsou realizované pomocí elektrických anebo pneumatických prvků. Souřadnicové anebo souvislé řídicí systémy jsou určeny především k ovládní polohy svařovacích robotů, ale nevyužívají k tomu zpětnou vazbu.

- Řídicí systémy s pružným programem

Základní myšlenkou je, že program je uložen na nějakém paměťovém médiu a to nám umožňuje provádět změnu programu anebo provést přeprogramování.

Řídicí systémy je možné dělit podle souslednosti úkonů na:

- Řídící systém otevřený

Tento řídicí systém funguje tak, že zvolený sled úkonů je proveden bez zpětné kontroly jejich provedení. Díky tomu není zabezpečena zpětná vazba mezi vstupními a výstupními veličinami. Tento typ řídicího systému nedokáže eliminovat náhodné poruchové veličiny.

- Řídící systém uzavřený

Uzavřený řídicí systém funguje tak, že sleduje dokončení jednotlivých úkonů a jejich ukončení je podmínkou pro započetí nového pracovního cyklu. Díky tomu je zabezpečena zpětná vazba, jelikož vstupní signál je zpracován pro výstupní signál, a proto tento typ řídicího systému dokáže provádět např. korekce svařovacích parametrů a tím dokáže eliminovat vliv náhodné poruchové veličiny během svařovacího procesu.

Řídící systém slouží pro řízení polohy a pohybu výstupní technologické hlavice. Toto řízení dělíme:

- Bodové řízení konečné polohy a orientace vstupní hlavice (PTP – point to point)

Při tomto způsobu řízení pohybu hlavice se dosahuje požadovaného bodu v prostoru postupnými pohyby v jednotlivých osách. Tyto pohyby probíhají současně, jelikož jsou vzájemně svázány. Využití bodového řízení je například u odporového nebo bodového svařování.

- Řízení pohybu výstupní hlavice po určité dráze (souvislé řízení CP)

Při řízení výstupní hlavice je pohyb zajištěn tak, aby byl pohyb dodržen po předepsané křivce při určených jednotlivých pohybech v osách. Díky tomu je možné dosáhnout plynulého přechodu po plynulé dráze. Tento typ řízení má propojeno řízení dráhy s řízením rychlosti svařování, a proto je vhodné ho využívat pro metody obloukového svařování.

## **5.8. Programování robotických průmyslových ramen [1]**

Programování průmyslových robotů je založeno na ukládání informací o poloze, pohybu technologické hlavice a technologických parametrech procesu do paměti stroje. Vlastní proces programování vzniká přesnou definicí sledů úkolů, které jsou doplněny o informace důležité pro daný proces svařování. Tyto sledy úkonů jsou zapsány pomocí programovacího algoritmu do NC nebo CNC kódu, který vytvoří řídicí program. Program se po vytvoření uloží na přenosné médium anebo do paměti zařízení. Potom má operátor možnost tento program kdykoliv znovu použít. Programování svařovacích robotů se provádí těmito způsoby:

- Prvotním předváděním

Postup u tohoto druhu programování je velmi jednoduchý. Buď je možné provádět programování online, kdy obsluha stroje zapne režim programování, a při nízkých pojzdových a polohovacích rychlostech naučí svařovacího robota trajektorie, na kterých bude proveden svar a zároveň k trajektoriím přiřadí i technologické parametry.

U této metody programování je využíváno řízení point to point. Po naprogramování celého svařovacího postupu provede svařovací robot zopakování reálných nastavených podmínek. Nebo je možné programování metodou off-line, kdy se využívá 3D CAD-CAM systému. Tento programovací proces funguje tak, že programátor na PC má kompletní detail robotického pracoviště i se svařovacím přípravkem, kde má upnutý svarek. Stejně jako u metody online musí programátor navolit trajektorie, ke kterým přiřadí technologické parametry. V poslední době je čím dál více na vzestupu metoda off-line programování z důvodů nesnižování výrobních kapacit programováním svařovacího robota. Cyklus naprogramování touto metodou trvá u jednoduchých svařenců cca 1 hod a u složitých i několik dnů.

- Učením

Metoda učením funguje na principu, kdy technologická výstupní hlavice je vedena rukou obsluhy nebo programátora při určitých technologických parametrech. Počítač sbírá tyto data a rozkládá je do programovacích znaků, které se po celou dobu zaznamenávají jako určité sledy úkonů. Po ukončení činnosti počítač provede vypracování NC nebo CNC řídicího kódu.

## **5.9. Podmínky pro uplatnění robotických ramen v procesu svařování [1]**

V dnešní době se pro svařování využívají svařovací roboti, jelikož dosahují opakovatelné kvality svarků a vyšší produktivity svařování oproti ručnímu svařování. Dále jejich aplikací je odstraněn vliv lidského faktoru.

Základem každého robotického svařovacího pracoviště je svařovací robot s polohovadlem. Z toho vyplývá, že technologičnost konstrukce a její vhodnost pro určité robotické svařovací pracoviště musím hodnotit dle technologických možností robota a polohovadla. Je důležité především prověřit technologickou dostupnost, zda robot dosáhne na všechny svary a zda polohovadlo dokáže vhodně natočit svarek.

V poslední době se objevuje čím dál více výrobců svařovacích robotů a celých robotických pracovišť, a proto je důležité hodnotit také to, jakou má robot životnost a poruchovost, dle toho zjistit nákladovost na údržbu atd.

Po zhodnocení technologičnosti a vhodnosti pracoviště přichází na řadu velmi důležité ekonomické hledisko, které má za hlavní cíl získat svařováním na robotickém pracovišti úsporu minimálně 30 %.



# Experimentální část

## 6. Rozbor technologičnosti svařence [1], [11], [17]

Vyráběná součást je interně nazývána „Stolička“, jelikož ji svým tvarem připomíná. Svařený svařenec můžete vidět na obr. 6.1.



Obr. 6.1 Svařený svařenec

Rozměry většího svařence jsou 1927 x 398 x 470 mm (délka x výška x hloubka) a menšího svařence 1627 x 248 x 470 mm (délka x výška x hloubka). Tento svařenec vznikne postupným ohraněním vysekaného plechu, u kterého dojde k svaření a vyztužení celé konstrukce dílce. Svařenec je vyroben z hliníkového materiálu tloušťky 3 mm a jakosti EN AW 5754 H111, který je možné svařovat. Nyní je proces ve firmě Hestego nastaven tak, že svařování probíhá ručně metodou MIG. Dle výkresové dokumentace, která je součástí této práce, jsou na svařenci 4 typy svárů, které jsou uvedeny v tabulce číslo 6.1.

Tab. 6.1 Typy svárů na svařenci [17]

Typ svaru	Schématické zobrazení	Název svaru	Použitelná metoda	Tloušťka materiálu
		Plochý koutový svar	3, 111, 131, 135, 141	$t \geq 2 \text{ mm}$
		Převýšený koutový svar	3, 111, 131, 135, 141	$t \geq 2 \text{ mm}$
		Plochý I svar	111, 141	$t \leq 8 \text{ mm}$
		Lemový svar	3, 111, 141, 131, 135	-



Veškeré svary, které jsou na svařenci zakótovány, není možné svařit robotickým svařováním. Problém nastává v plochém I svaru, který není pro metodu 135 vhodný, a proto bude nahrazen lemovým svarem. Ostatní svary je možné provést na robotickém pracovišti. Dále je z výkresové dokumentace patrné, že u výrobku je nutné dodržet vyšší přesnost rozměru po svaření a to u většího svařence  $1927 \pm 0,5$  mm a u menšího  $1627 \pm 0,5$  mm. Právě díky zvýšené přesnosti na tento rozměr je nutné svařovat do kříže tak, abychom zabránili deformaci svařence.

## 7. Rozbor robotického svařovacího pracoviště [28]

Robotické svařovací pracoviště ve firmě Hestego a.s. bylo pořízeno v srpnu 2012. Celé pracoviště dodala společnost Valk Welding. Na obrázku číslo 7.1 můžete vidět robotické svařovací pracoviště společnosti Hestego.



Obr. 7.1 Robotické svařovací pracoviště ve společnosti Hestego a.s.

Jak můžete vidět na obrázku, tak pracoviště je vybaveno třemi stanicemi se svařovacím robotem umístěným na pojezdové dráze. Dvě stanice jsou vybaveny polohovacím rotačním zařízením s nosností 250 kg. Na polohovací zařízení je upevněn rychloupínací rám pro svařovací přípravky. Tyto dvě stanice jsou stejné, a proto jsou využívány pro svařování výrobků převážně v sériové výrobě. Poslední stanice je vybavena klasickým svařovacím stolem a slouží k dovařování nastehovaných svařenců. V příloze číslo 2 jsou uvedeny pracovní možnosti tohoto pracoviště. Níže v textu budou popsány základní údaje k svařovacímu pracovišti.

### 7.1. Svařovací robot [9], [28]

Robotické svařovací pracoviště je osazeno svařovacím robotem TA 1900 WG od společnosti Panasonic. Tohoto robota můžete vidět na obr. 7.2.



Obr. 7.2 Svařovací robot TA 1900 WG [9]

Tento typ je největším strojem, který společnost Panasonic vyrábí. Robot má 6 pracovních os a umožňuje dosah až 1895 mm s opakovatelnou přesností  $\pm 0,15$  mm. Pracovní obálku svařovacího robotu TA 1900 WG3 můžete vidět v příloze ...Dále je zkonstruován tak, aby unesl 6 kg technologickou hlavici. Tento svařovací robot dosahuje polohovací rychlosti až 180 m/min. Svařovací robot typu WG3, je vybaven 64 bitovým procesorem, který dovoluje multitasking i při plné produkci. Celá platforma je vyvinuta společností Panasonic a operační systém Windows zde slouží jako grafické rozhraní. Řídicí systém WG3 je zkonstruován tak, že řízení robota a svařovacího zdroje je prováděno z jednoho centrálního místa, což umožňuje rychlejší komunikaci a

hlavně lepší kontrolu nad celým procesem. Ovládání svařovacího robota je prováděno pomocí Teach Pendantu, který je velmi podobný klasickému konzolovému Joysticku.

## 7.2. Polohovací zařízení [28], [30]

S Svařovací pracoviště je vybaveno polohovacím zařízením Panadice III 250 s proti ložiskem a nosností 250 kg. Polohovací zařízení slouží pro natočení svařence do optimální svařovací polohy. Polohovací zařízení je zobrazeno na obr 7.3.



Obr. 7.3 Polohovadlo Panadice III 250 [30]

Polohovadlo je poháněno pomocí servomotru, který zajišťuje opakovatelnou přesnost polohování  $\pm 0,05$  mm. Tento typ polohovacího zařízení umožňuje otáčení svařence o  $180^\circ$  rychlostí 30 ot/min. Hmotnost celého polohovadla je 125 kg. Polohovací zařízení je řízeno jako externí osa svařovacího robota přes řídicí systém WG3 a právě díky tomuto řízení je možné synchronizovat pohyby polohovadla a svařovacího robota.

### 7.3. Svařovací zdroj [28]

Pracoviště je osazeno svařovacím zdrojem TAWERS WG, který je také vyvinut společností Panasonic. Toto zařízení je používáno pouze pro robotické svařovací pracoviště a vyznačuje se následujícími přednostmi:

- vysoká komunikační rychlost mezi svařovacím zdrojem a řídicím centrem robota,
- zapálení oblouku trvá méně než 0,2 s,
- možnost svařování v režimu zkratovém, pulsním anebo ve studeném režimu SP-MAG.

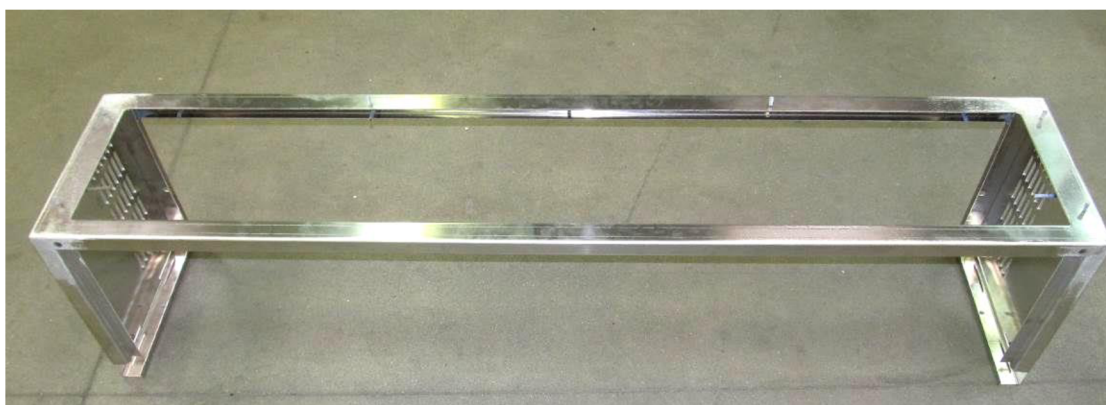
V tabulce číslo 7.1 jsou uvedeny svařovací hodnoty zdroje TAWERS WG [28]

Svařovací proud	30 – 350 A
Svařovací napětí	12 – 36 V
Rychlost podávání drátu	14 m/min
Zatěžovatel	80% pro 350A, 100% pro 320 A

### 8. Návrh svařovacího přípravku [11]

Svařovací přípravek slouží pro ustavení a sestavení svařence před svařením. Hlavní myšlenkou svařovacího přípravku je urychlení a zjednodušení výroby, což má za následek i snížení výrobních nákladů. Svařovací přípravky jsou v dnešní době využívány jak pro sériovou, tak i pro kusovou výrobu. Liší se pouze svojí konstrukcí. Pro kusovou výrobu se využívají přípravky, které jsou stavebnicového typu, kdežto pro sériovou výrobu jsou přípravky konstruovány pro určitý výrobek. Výrobní náklady na výrobu svařovacích přípravků nejsou zrovna malou položkou v ceně výroby, a proto je nutné, aby byl přípravek využíván na co nejvíce výrobků, což je současným trendem v konstrukci přípravků. Tyto přípravky jsou konstruovány jako modulární tak, aby umožňovaly ustavení rozměrově podobných výrobků. V této práci se zabývám návrhem a výrobou právě modulárního přípravku pro výrobu rozměrově podobných svařenců.

V dnešní době se při návrhu svařovacích přípravků vychází ze 3D modelů finálních svařenců. Na obr 8.1a můžete vidět 3D model a na obr. 8.1b můžete vidět svařenec před ustavením do svařovacího přípravku.



Obr. 8.1 Svařený svařenec

Při návrhu modulárního svařovacího přípravku pro firmu Hestego a.s. je nutné zajistit tyto konstrukční požadavky:

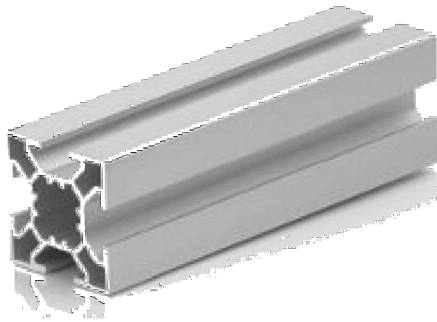
- výroba přípravku musí být proveditelná ve společnosti Hestego a.s.,
- přesné ustavení ohraněného plechu, které umožní otáčení svařence,
- hmotnost svařence a svařovacího přípravku nesmí být vyšší než 250 kg,
- maximální rozměry přípravku 2500 x 800 mm,
- protočný průměr přípravku nesmí být větší než 1800 mm,
- výrobní cena přípravku nesmí být vyšší než 25 000Kč.

## 8.1. Vlastní návrh svařovacího přípravku [4], [13], [18]

Při návrhu svařovacího přípravku jsem vycházel ze zadaných požadavků, které musely být bezpodmínečně splněny. Ze zadaných požadavků bylo možné přípravek provést 3 různými typy konstrukce.

### 8.1.1. První varianta návrhu svařovacího přípravku

První varianta návrhu využívá standardních hliníkových profilů, které jsou lehce dostupné na trhu. Tyto profily můžete vidět na obr. 8.2. Hliníkové profily jsou vyrobeny

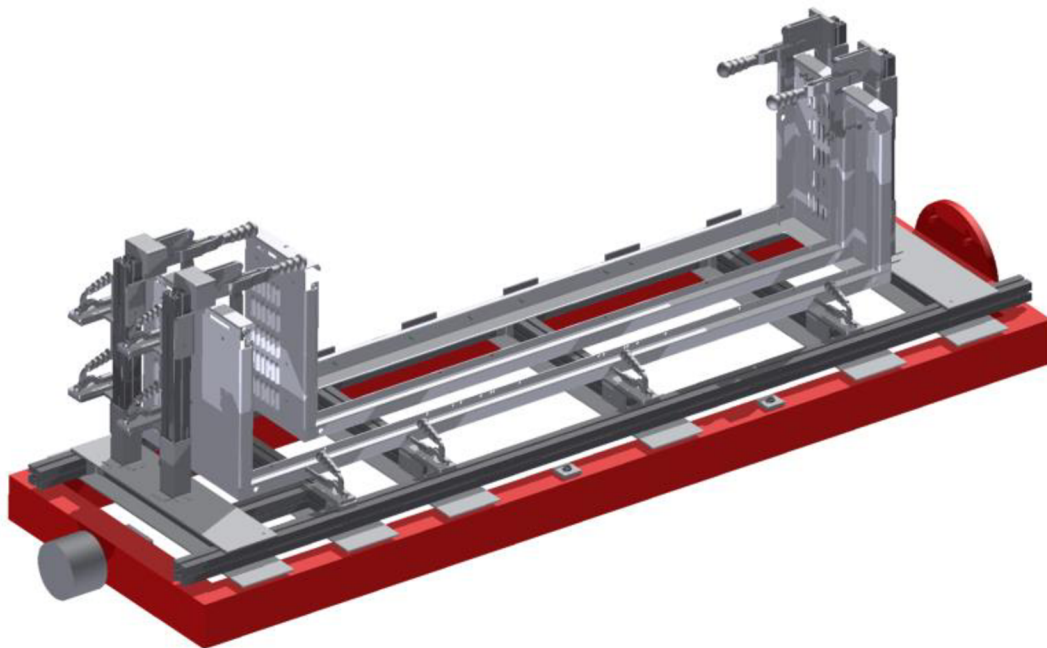


Obr. 8.2 Hliníkový profil [18]

s drážkami, které umožňují přesné vedení prvků, a díky tomuto vedení je umožněno jejich přestavení. Návrh svařovacího přípravku můžete vidět na obrázku číslo 8.3. Základem celé konstrukce by měl být základní rám, který bude uchycen na univerzální rám svařovacího pracoviště. Rám bude tvořen čtyřmi hliníkovými profily o rozměrech 60 x 60 mm, které budou vytvářet základní obdélníkový tvar. Na tento rám budou připevněny hliníkové základní desky, které budou sloužit k ustavení na univerzální rám svařovacího pracoviště.

Dále uvnitř rámové konstrukce budou uchyceny profilové výztuhy, která zaprvé celou konstrukci zpevní, ale především budou sloužit jako vedení upínacích rychloupínek. Jak je z obrázku 8.3 patrné, tak pro zajištění rozměru šířky budou také využity hliníkové profily, ke kterým budou uchyceny rychloupínky. Tyto profily budou uchyceny na hliníkovou desku tloušťky 8mm. Uchycení rychloupínek na profily bude provedeno do T drážek. Tyto drážky nejsou vyrobeny přesně na rozteče rychloupínek, a proto budou upínky uchyceny prvně na hliníkové tvarové podložky, a potom následně uchyceny na hliníkové profily. Výhodou této konstrukce je především možnost zajištění dostatečné kolmosti bez obrábění. Ve své podstatě výroba tohoto přípravku probíhá tak, že nejprve dojde k nadělení hliníkových profilů na pásové pilce. Souběžně s dělením profilů bude probíhat výpal tvarových desek. Po dokončení operací dělení materiálu budou provedeny zámečnické operace a montáž celého svařovacího přípravku. Velkou výhodou tohoto přípravku je také možnost využití pro různé typy krabicových výrobků. Přestavení přípravku je velmi jednoduché a spočívá v povolení určitých šroubů a následným posunutím rychloupínek. Veškeré posunutí je provedeno v T drážkách. Po přesunutí na určenou polohu stačí zase dotáhnout a přípravek je připraven k provozu. Při odhadu ceny jsem vycházel ze spotřeby hliníkových profilů, což pro tento přípravek je zhruba 12 m. Cena 1 m profilu 60 x 60 mm se pohybuje okolo 850 Kč/m. Dále je nutné používat více tvarových výpalků, což má za následek zdražování výroby tohoto přípravku.





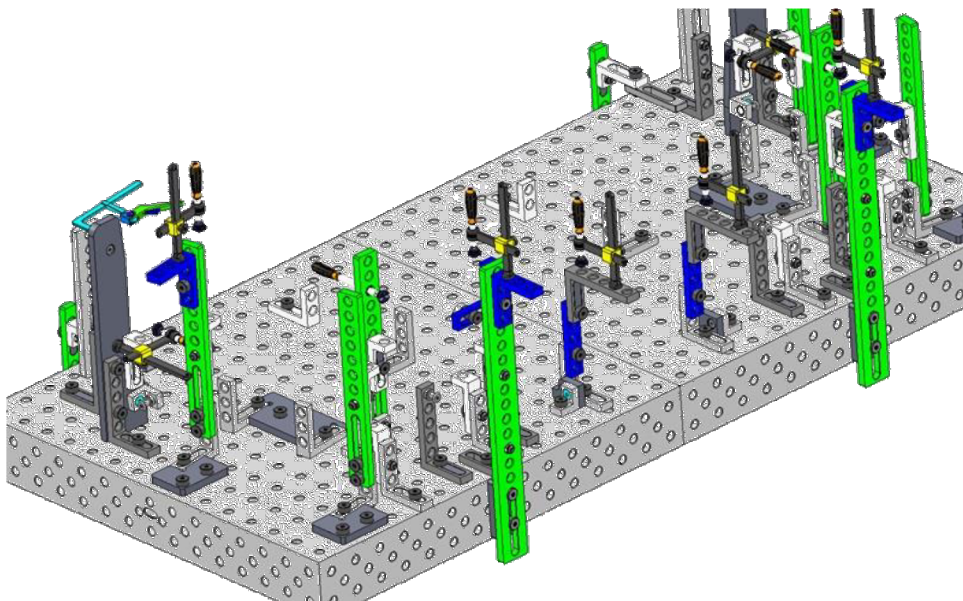
Obr. 8.3 Návrh přípravku z hliníkových profilů

#### 8.1.1. Druhá varianta návrhu svařovacího přípravku

Druhá varianta svařovacího přípravku využívá modulárních prvků, které jsou dostupné pro modulární upínací systémy. Na obr. 8.4 Můžete vidět ukázkou upínacích prvků a na obr 8.5 model svařovacího přípravku, který je vyroben z těchto prvků.



Obr. 8. 4 Modulární upínací prvky pro 3D svařovací stoly [4]



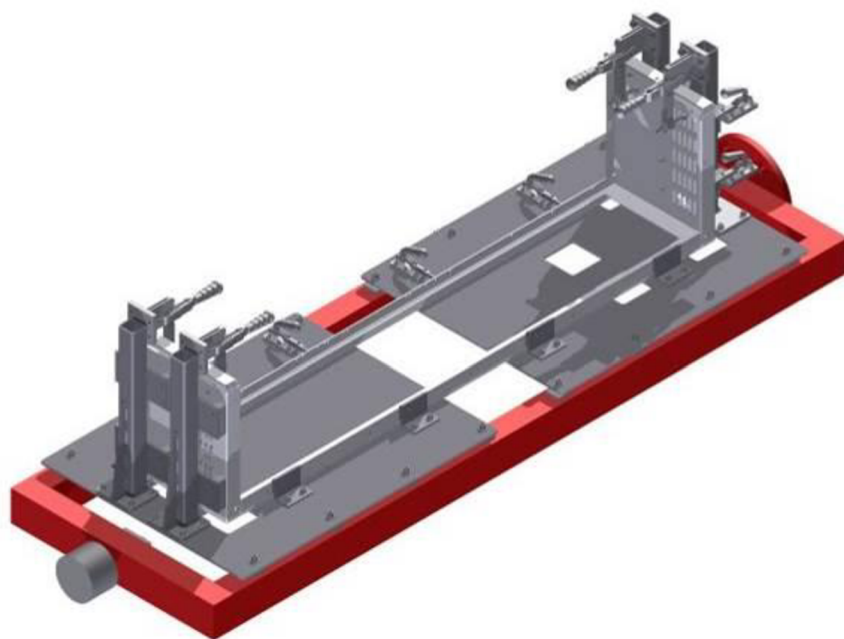
Obr 8.5 Ukázka svařovacího přípravku vyrobeného z modulárních upínacích prvků [13]

Z obr 8.5 je vidět, že konstrukce přípravku není moc složitá a to právě díky využití modulárních prvků, kterými bude dosaženo kvalitního upnutí svařence. Výroba přípravku je jednoduchá a probíhá následovně. Konstruktor vybere potřebné prvky, které se nakoupí a následně se složí dle výkresové dokumentace případně dle montážního postupu. Možnou nevýhodou této konstrukce může být cena těchto nakupovaných stavebnicových dílců, která je poněkud vyšší.

### 8.1.2. Třetí varianta návrhu svařovacího přípravku

Návrh této varianty vychází komplexně z výrobních možností firmy Hestego a.s. Tato společnost se zabývá zpracováním plechových výrobků a vlastní jak laserové tak i vysekávací stroje pro dělení materiálu. Dále pro zpracování využívá ohraňovací lisy nebo obráběcí dílnu, ve které je soustruh, fréza a vodorovná vyvrtávačka. Celá konstrukce třetí varianty byla navržena tak, aby bylo možné výrobek vyrobit ze standardních materiálů, které společnost nakupuje. Konstrukci přípravku můžete vidět na obrázku číslo 8.6. Z obrázku je patrné, že celá konstrukce přípravku je upevněna na základní desce o rozměrech upínacího rámu robotického pracoviště. Rozměry základní desky jsou 2500 x 800 mm a jako materiál je použit hliník AlMg3, aby byla konstrukce lehčí. Následně na základní desku budou pomocí šroubů upevněny dorazy, rychloupínky a konzole, které zajišťují ustavení svařence tak, aby byla dodržena zpřísněná tolerance rozměru šířky  $\pm 0,5$  mm. Tato varianta byla zvolena společností Hestego jako nejvýhodnější, jelikož splnila veškeré požadavky kladené na konstrukci svařovacího přípravku. Tento přípravek je navrhnut tak, aby bylo možné provést jeho rychlé přestavení, které netrvá více než 10 minut.





Obr. 8.6 Třetí varianta návrhu svařovacího přípravku

### **8.1.2. Výběr finální varianty přípravku**

#### Varianta 1

Tato varianta splňuje veškeré požadavky na konstrukci svařovacího přípravku až na jeden, kterým je cena přípravku. Společností Hestego bylo stanoveno, že náklad na výrobu tohoto svařovacího přípravku nesmí přesáhnout 25 000 Kč. Odhad nákladů na technickou přípravu výroby je u všech třech variant zhruba stejný a to 9 000 Kč. Náklady na nákup hutního, plechové a spojovacího materiálu jsou odhadovány na 18 500 Kč. Výrobní náklady jsou odhadovány na 5800 Kč, což znamená, že výrobní náklady budou 33 300 Kč, a proto tato varianta nebude vybrána. Jelikož byla cena vyšší o 8 300 Kč.

#### Varianta 2

Varianta číslo dva je navržena tak, aby využívala modulární upínací svařovací systém, který splňuje stejně jako varianta 1 veškeré požadavky až právě na finální cenu svařovacího přípravku. Při využití modulárních upínacích prvků je cena nakupovaných prvků odhadována na zhruba 4000 euro, což po přepočtu kurzu 27,50 Kč/euro by činilo 110 000 Kč. Tato částka více než čtyřnásobně překračuje požadavek na cenu svařovacího přípravku, a proto byla tato varianta zavrhnuta

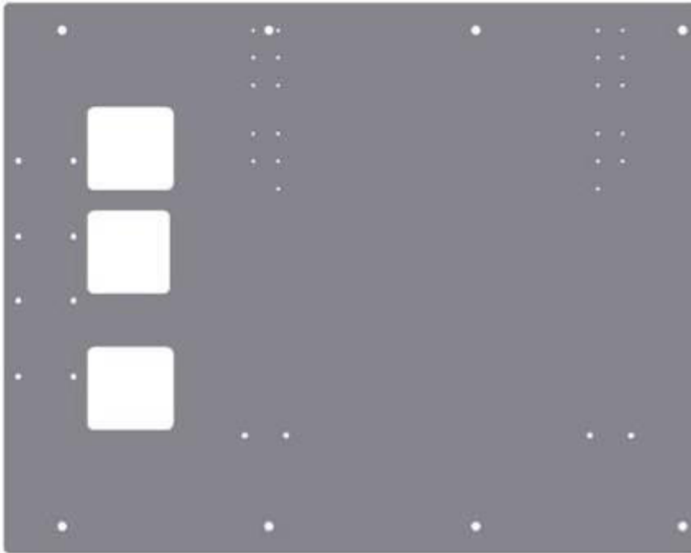
#### Varianta 3

Poslední navrženou variantou je řešení, které si společnost Hestego vyrobí z plechů za využití svého strojního vybavení. Stejně jako u varianty číslo 1 je i zde odhadován náklad na technickou přípravu výroby 9000 Kč a oproti variantě číslo 1 je zde snížen náklad na nákup hutního, plechového a spojovacího materiálu. Náklady na nakupované

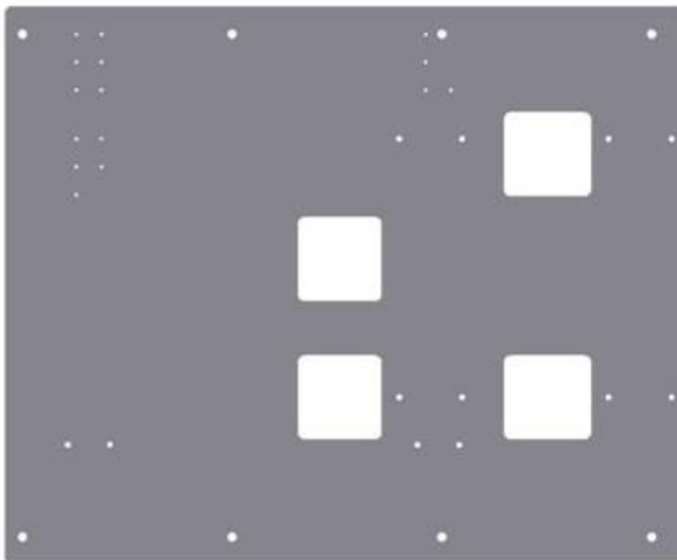
položky tedy byly stanoveny na 9 000Kč. Výrobní náklady na dílně byly odhadnuty na 6500 Kč a celkové náklady na výrobu svařovacího přípravku by měli být 24 500 Kč. Pouze tato varianta splňuje veškeré požadavky společnosti Hestego, a proto byl zvolen tento návrh svařovacího přípravku

## 8.2. Výroba svařovacího přípravku

Výroba svařovacího přípravku bude probíhat ve společnosti Hestego a to následujícím způsobem. Dle kusovníků je přípravek tvořen čtyřmi vyráběnými dílci,



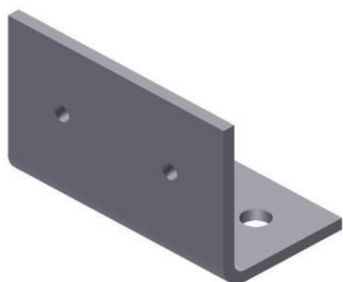
Obr. 8.7 Dílec Z00600-001-01



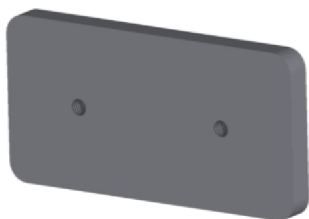
Obr. 8.8 Dílec Z00600-002-01

dvěma výrobními sestavami a sedmi nakupovanými položkami. Dle výrobní dokumentace Z00600-001-01 se tento dílec, který je zobrazen na obr. 8.7, bude vyrábět následujícím způsobem. Z výkresové dokumentace, která je součástí této práce je patrné, že se jedná o výrobek z hliníkového materiálu AlMg3 tloušťky 8mm. Tento dílec bude nadělen na laseru ByStar 3015 o výkonu 4 kW. Tento laser patří mezi plynové CO<sub>2</sub> lasery. Po nadělení dílce bude další zpracování probíhat na zámečnickém pracovišti, kde bude provedeno řezání závitů dle výkresové dokumentace. Po dokončení zámečnických prací je dílec hotov.

Druhou pozicí v kusovníku je dílec s číslem výkresu Z00600-02-01, který bude vyráběn stejným způsobem jako u dílce Z00600-01-01, protože tyto dílce jsou si velmi podobné. Oba tvoří základní desku svařovacího přípravku a jsou vyrobeny ze stejného materiálu jakosti AlMg3 o tloušťce 8mm. Tento dílec můžete vidět na obrázku číslo 8.8.



Obr. 8.9 Dílec Z00600-003-01

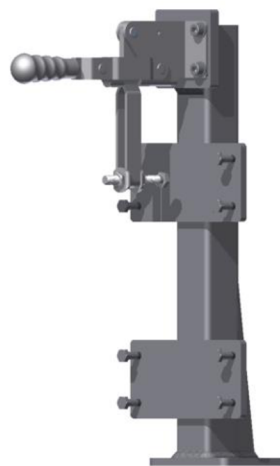


Obr. 8.10 Dílec Z00600-004-01

Třetí pozicí je dílec s číslem výkresu Z00600-003-01, který je vyroben z materiálu jakosti S235 JRG2 o tloušťce 5mm. Na obr. 8.9 můžete vidět dílec Z00600-003-01. Tento dílec bude prvně nadělen na laserovém stroji ByStar 3015. Po nadělení bude provedeno ohraňování na ohraňovacím lise SAFAN E-BRAKE 100 – 3100 s jmenovitou silou 1000 kN. Po ohraňování je dílec připraven k finální montáži.

Čtvrtou pozicí v kusovníku je dílec s číslem výkresu Z00600-004-01, který bude vyroben z materiálu jakosti AlMg3 o tloušťce 8mm. Tento dílec bude sloužit jako opěrný doraz a je zobrazen na obr. 8.10. Výroba je velmi jednoduchá a opět začíná na stroji ByStar 3015, kde proběhne nadělení plechu, na kterém bude následně pomocí kloubového závitořezu vyroben závit dle výkresové dokumentace M8 x 1 – 6H. Po ukončení zámečnické operace je dílec připraven k finální montáži.

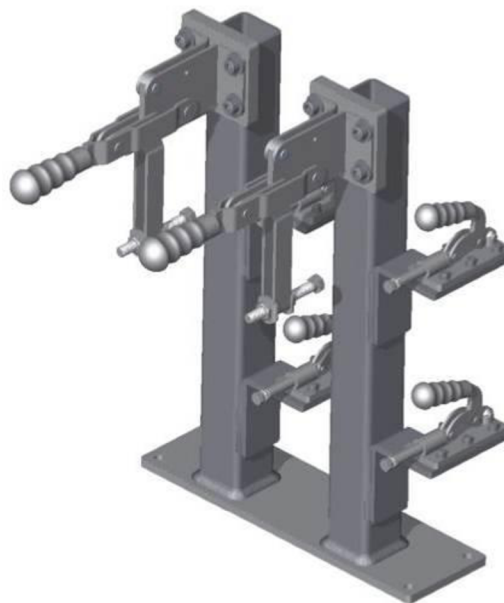
Na páté pozici v kusovníku je sestava s číslem výkresu Z00600-100-01. Tato sestava je vyrobena z čtvercového profilu 60 x 60 x 5 mm jakosti S235 JRG2 a plechu o tloušťce 10; 12 a 16 mm v jakosti S235 JRG2. Na obr. 8. 11 můžete vidět 3D model svařované sestavy Z00600-100-01. Výroba této svařované sestavy bude probíhat následujícím způsobem. Hutní materiál bude nařezán na pásové pile. Z tabulí plechů o tloušťkách 10; 12 a 16 mm o formátech 2000 x 1000 mm bude vyřezán strojem ByStar 3015 vždy přesný tvar dle výkresové dokumentace. Po vypálení dílců budou dílce přesunuty na zámečnické pracoviště, kde dojde k vyřezání závitů dle výkresové dokumentace. Po ukončení zámečnických prací přechází sestava Z00600-100-01 na svařovací pracoviště, kde bude provedeno svaření. Dílce budou nejprve nastehovány, poté finálně svařeny. Po svařování budou dílce převezeny na tepelné zpracování k odstranění vnitřního pnutí vzniklého právě procesem svařování. Po tepelné úpravě budou dílce obráběny na vodorovném vyvrtávacím stroji tak, aby bylo dosaženo tolerancí dle výkresové dokumentace. Po ukončení těchto operací bude sestava přesunuta na pracoviště montáže, kde proběhne předmontáž dílce a to tak, že dojde k ustavení a přišroubování rychloupínky U 260 UZ. Dále je nutné uchytit čtyři



Obr. 8. 11 Dílec Z00600-100-01

nerezové šrouby, které slouží jako stavitelné dorazy.

Poslední šestou vyráběnou pozicí je opět svařovaná sestava číslo Z00600-200-01, která také bude vyrobena z hutního profilu 60 x 60 x 5 mm jakosti S235 JRG2 a plechů tloušťky 8; 12 a 16 mm stejné jakosti jako je hutní materiál. Na obr. 8.12 můžete vidět již zmíněnou svařovanou sestavu Z00600-200-01. Postup výroby bude obdobný jako u sestavy Z00600-100-01. První výrobní operací bude nadělení hutního materiálu čtvercového průřezu a souběžně s operací pálení na laseru ByStar 3015. Po nařezání plechů přijdou na řadu zámečnické operace, kde budou vyrobeny závity dle výkresové dokumentace. Po ukončení zámečnické operace budou dílce přesunuty na pracoviště ohraňovacích lisů. Po ohraňování budou dílce přesunuty do svařovny, kde bude provedeno jejich svaření. Po svaření budou dílce převezeny na tepelnou úpravu, které má za úkol odstranit vnitřní pnutí. Po tepelném



Obr. 8.12 Dílec Z00600-200-01

zpracování je nutné na svařenci provést ještě obráběcí operace, které jsou nutné pro dodržení kolmosti dle výkresové dokumentace. Kolmosti bude dosaženo na vodorovném vyvrtávacím stroji, který bude provádět obráběcí operaci. Následně po obrobení proběhne předmontáž těchto sestav, ve které budou dle výkresové dokumentace přišroubovány rychloupínky U260 UZ.

Pokud jsou veškeré tyto dílce a sestavy vyrobeny můžeme přejít k samotné montáži svařovacího přípravku. Finální montáž bude probíhat následovně. Zprv na základní desku budou pomocí imbusových šroubů M10 ustaveny sestavy Z00600-100-01 a Z00600-200-01. Dále bude na základní desku ustaven pomocí šroubů M8 dílec Z00600-003-01, na který bude pomocí šroubů M6 přišroubován doraz Z00600-004-01. Jako poslední dojde k ustavení a uchycení rychloupínek U 310 za pomoci šroubů M6. Po sestavení obou částí základové desky může dojít ke zkoušce uchycení svařovacího přípravku na univerzální rám svařovacího pracoviště. Uchycení je zajištěno pomocí šroubů M12. Na obr. 8.13 si můžete prohlédnout fotografii sestaveného svařovacího přípravku.

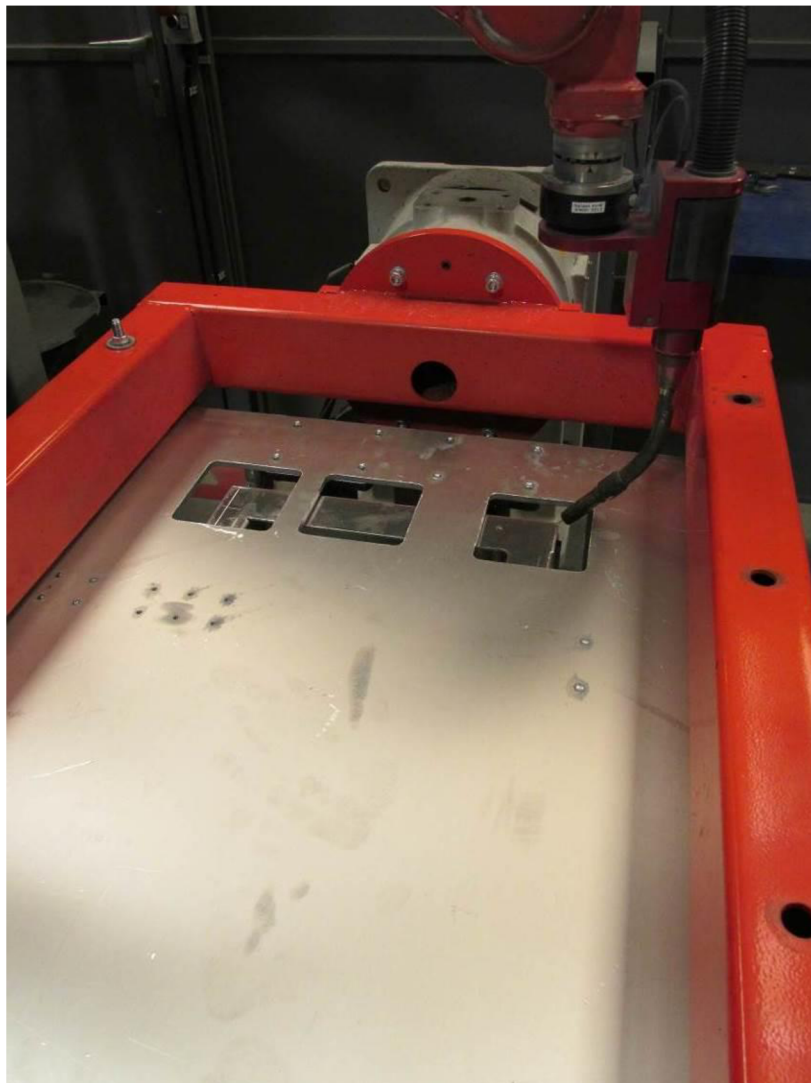




Obr. 8. 13 Fotografie upnutého svařovacího přípravku na svařovacím pracovišti

### 8.3. Ověření dostupnosti svařovacího přípravku

Proces ověření dostupnosti svařovacího robota může probíhat dvěma rozdílnými variantami. První variantou je ověřit dostupnost pomocí off – line programovacího zařízení, kde obsluha PC může okamžitě vyhodnotit, zda je svařovací přípravek správně zkonstruován. Velkou výhodou této varianty je, že není nutné provádět odstavení svařovacího pracoviště jako ve variantě číslo 2. Bohužel ve společnosti Hestego není možné provést tento model ověření, a proto byla zvolena varianta číslo dvě, kde ověření probíhá následujícím způsobem. Na robotické svařovací pracoviště byl ustaven a upevněn modulární svařovací přípravek. Obsluha svařovacího pracoviště provedla najetí do všech svařovacích míst na svařenci. Na obr 8. 14 můžete vidět jednu z fotografií ověření dostupnosti svařovacího přípravku. Další fotografie jsou součástí přílohy 3.



Obr 8. 14. Ověření dostupnosti přípravku

Ověření dostupnosti dopadlo dle očekávání a obsluha svařovacího robota se dostala do všech svařovaných míst na svařenci.

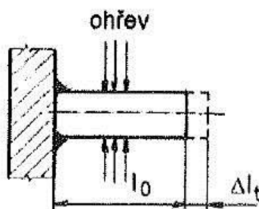
## 8.4. Rozbor napět'ového stavu svařence [12], [29]

V této kapitole se budu zabývat rozbohem napět'ového stavu svařence, kterým provedu zjištění, zda svařením dojde k deformaci svařence

### 8.4.1. Teoretický rozbor napět'ového stavu svařence

Při tavném svařování vznikají ve svařenci vnitřní pnutí a deformace, které jsou výsledkem rychlého ohřevu a následného ochlazení. S touto problematikou úzce souvisí problematika tepelné roztažnosti materiálů, která se projevuje objemovou změnou v závislosti na teplotě. Základní myšlenkou roztažnosti materiálů je, že při ohřívání se materiál roztahuje a při ochlazení se materiál smršťuje na původní velikost a tvar, ale to pouze v případě, že tělesu nebrání žádná překážka.

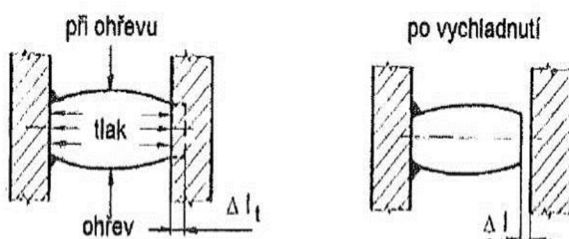
a) TYČ S VOLNÝM KONCEM



Obr. 8.15 Tyč s volným koncem [12]

Při svařování mohou nastat tři typy upnutí tyčí. První variantou je tyč, která je přivařena k základní desce, ale její druhý konec je volný a v cestě mu nestojí překážka. Na obr. 8.15 můžete vidět ukázkou upnutí tyče s volným koncem. U tohoto typu upnutí nastává právě příklad, kdy se materiál o ohřátí roztáhne a změni svůj tvar a po ochlazení zase smrští do původní velikosti.

b) JEDNOSTRANNĚ PŘIVAŘENÁ TYČ



Obr. 8.16 Jednostranně přivařená tyč [12]

Další variantou je tyč, která je přivařena pouze na jednom konci a druhý konec je volný, ale v cestě mu stojí překážka. Ukázkou tohoto typu upnutí vidíte na obr. 8.16. V tomto případě dochází ke vzniku vnitřního tlakového napětí, které je úměrné neuskutečněnému prodloužení  $\Delta l$ . Délková roztažnost a deformace svařence se vypočítá dle následujících vztahů (8.1) a (8.2).

Změna délky tyče při ohřevu

$$\Delta l_t = l_0 \cdot \alpha \cdot \Delta t \quad (8.1)$$

kde

$\Delta l_t$ ..... teoretická změna délky tyče [mm],

$l_0$ .....původní délka tyče [mm],

$\alpha$ .....součinitel délkové roztažnosti [ $K^{-1}$ ],

$\Delta t$ .....rozdíl teplot před změnou a po změně [ $^{\circ}K$ ].

Velikost deformace

$$\Delta l = \frac{\sigma \cdot l_0}{E} \quad (8.2)$$

kde

$\Delta l$ ..... teoretická velikost deformace [mm],

$l_0$ .....původní délka tyče [mm],

$\sigma$ .....tlakové napětí [MPa].

$E$ .....modul pružnosti v tahu [MPa].

Porovnáním těchto dvou vztahů získáme napětí ve svařenci, které je vyjádřeno dle vztahu (8.3). Z tohoto vztahu je patrné, že právě teplotní změny jsou příčinou vzniku napětí a deformace ve svařenci.

$$\sigma = \alpha \cdot E \cdot \Delta t \quad (8.3)$$

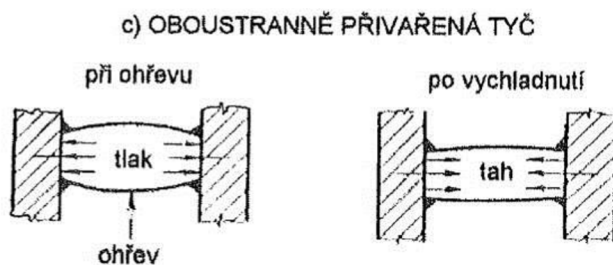
kde

$\sigma$ .....vnitřní napětí [MPa],

$\alpha$ .....součinitel délkové roztažnosti [-],

$E$ .....modul pružnosti v tahu [MPa],

$\Delta t$ .....rozdíl teplot před změnou a po změně [ $^{\circ}K$ ].



Obr. 8.17 Oboustranně přivařená tyč [12]

Ve svařování nastává 3 typ upnutí, ve kterém je tyč upnuta na obou koncích. V tomto typu upnutí vzniká při ohřevu materiálu tlakové napětí a naopak při ochlazování vzniká tahové napětí.

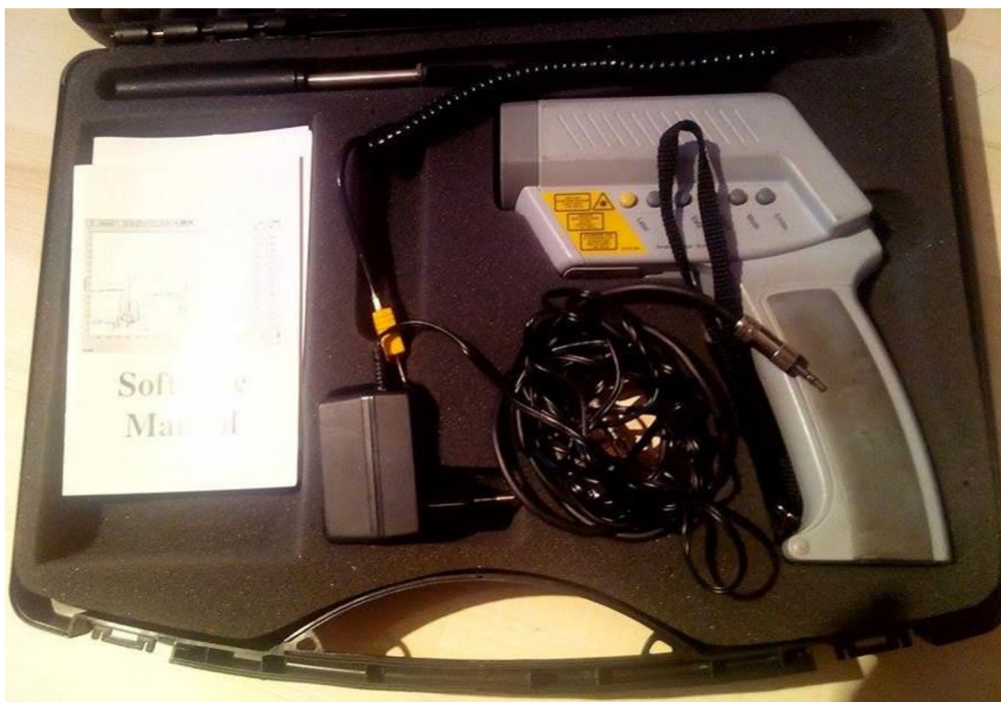
Na obr. 8.17 je zobrazena tyč, která je oboustranně přivařená. Jak již bylo řečeno, zde vznikají právě vnitřní pnutí. Zjistit, zda v materiálu je vnitřní pnutí jde velmi jednoduše a to tak, že provedeme výpočet napětí vnitřního napětí  $\sigma$  dle vzorců (8.1),(8.2),(8.3). Vypočtenou hodnotu vnitřního napětí



porovnáme s mezí kluzu daného materiálu. Pokud je velikost  $\sigma$  nižší než je mez kluzu nedochází ke vzniku trvalých deformací.

#### 8.4.2. Výpočet napětí ve svařenci

Vyráběný svařenec byl zařazen do kategorie tyč oboustranně přivařená. Postup výpočtu vnitřního napětí bude následující. Na třech vzorcích bylo provedeno experimentální měření teploty při svařování ve vzdálenosti 50; 75 a 100 mm od místa svaru. Měření bylo provedeno měřícím zařízením Raynger MX4 s výrobním číslem 233558-04101-0002, kde byla nastavena emisivita hliníku na 0,3. Toto zařízení umožňuje měření teploty pomocí termočlánku. Měřicí souprava byla zapůjčena oborem Svařování a povrchových úprav na Fakultě Strojního inženýrství v Brně. Na obr. 8.19 si můžete prohlédnout sadu Raynger MX4. V příloze číslo 4 je možné nahlédnout na základní technické parametry zařízení Raynger MX4.



Obr. 8. 19 Měřicí sada Raynger MX4

Měření probíhala na 3 vzorkových kusech, kde byly hodnoty měřeny ve vzdálenostech 50; 75 a 100 mm od osy svaru. Na obrázku 8.20 je fotografie rozvržení měřené oblasti a po zavaření vzorku.



Obr. 8. 20 Fotografie s rozvržením měřené oblasti a po zavaření vzorku

Naměřené hodnoty teplot jsou zaznamenány v tabulce číslo 8. 1. Fotografie z provedeného měření jsou v příloze číslo 5.

Tab. 8. 1 Naměřené teploty z měření vzorků

Číslo měření	Vzdálenost [mm]	$t_0$ [°C]	Průměrná hodnota $t_0$ [°C]	$t_1$ [°C]	Průměrná hodnota $t_1$ [°C]
1.	50	27,5	27,8	68,5	68,3
2.	50	28		67,3	
3.	50	27,9		69,1	
4.	75	27,2	27,83	54,4	53,9
5.	75	28,2		53,8	
6.	75	28,1		53,5	
7.	100	27,7	27,8	47,5	47,4
8.	100	27,9		47,1	
9.	100	27,8		47,6	

Z naměřených teplot byl proveden výpočet vnitřního napětí, dle následujících empirických vztahů z teoretického rozboru. Pro výpočet byla zjištěna velikost hodnoty součinitele délkové roztlačnosti hliníku  $\alpha = 2,36 \cdot 10^{-5}$  a modulu pružnosti v tahu  $E = 72\,000$  MPa. Tyto dvě hodnoty byly dosazeny do empirických vztahů (8.1), (8.3).

$$\Delta l_t = l_0 \cdot \alpha \cdot \Delta t$$

$$\Delta l_t = 50 \cdot 2,36 \cdot 10^{-5} \cdot 40,5 = 0,04708 \text{ mm}$$

$$\sigma = \alpha \cdot E \cdot \Delta t$$

$$\sigma = 2,36 \cdot 10^{-5} \cdot 72000 \cdot 40,5 = 67,798 \text{ MPa}$$

Veškeré vypočtené hodnoty si můžete prohlédnout v tabulce číslo 8.2.

Tab. 8. 2 Vypočtené velikosti deformace a vnitřního pnutí

$l_0$ [mm]	$\alpha$ [K <sup>-1</sup> ]	$t_0$ [°C]	$t_0$ [°K]	$t_1$ [°C]	$t_1$ [°K]	D T [°K]	E [Mpa]	D $l_t$ [mm]	$\sigma$ [MPa]
50	$2,36 \cdot 10^{-5}$	27,8	300,95	68,3	341,45	40,5	72000	0,04708	67,798
75	$2,36 \cdot 10^{-5}$	27,83	300,98	53,9	327,05	26,07	72000	0,04514	43,330
100	$2,36 \cdot 10^{-5}$	27,8	300,95	47,4	320,55	19,6	72000	0,04484	32,285

Z vypočtených hodnot vyplývá, že hodnota vnitřního napětí není vyšší než mez kluzu materiálu AlMg3, a proto nedojde ke vzniku trvalých deformací. Pokud by hodnota  $\sigma$  překročila mez kluzu, tak by bylo nutné tento jev odstranit. Jako nejjednodušší nabízenou variantou by bylo zlepšit odvod tepla z oblasti svaru za pomoci měděných desek. Dále by bylo dobré změnit svařovací parametry a to především svařovací proud. Provedení těchto dvou omezení by došlo ke snížení napětí ve svařenci.

### 8.5. Volba technologických parametrů a přídavného materiálu

Ve společnosti Hestego se pro výrobu hliníkových svařenců z materiálu jakosti AlMg3 používá jako přídavný materiál svařovací drát S - AlMg5 o průměru 1 mm. Technický list najdete v příloze číslo 6. Jako ochranný plyn se využívá směs Ar+He v poměru 50% na 50%.

Na svařovacím pracovišti byly nastavené následující technologické parametry. Svařovací proud byl 105 A a svařovací napětí bylo 18,5 V. Při těchto nastavených parametrech probíhalo měření experimentu.

## 9. Ekonomické zhodnocení

V této kapitole se v první části bude rozebírat vyhodnocení nákladů na výrobu svařovacího přípravku. Druhá část se bude zabývat návratností investice a vyhodnocením úspory, která vznikne při robotickém svařování.

### 9.1. Celkové náklady na výrobu svařovacího přípravku

Výpočet celkových nákladů pro výrobu modulárního svařovacího přípravku bude vycházet ze čtyř hlavních částí. Mezi tyto části patří náklady na materiál, výrobu, technickou přípravu výroby a náklady na nakupované položky. Bližší výpočty jsou popsány v textu níže.

#### 9.1.1. Náklady na materiál

Materiály pro výrobu svařovacího přípravku byly zvoleny tak, aby byly standardně používané ve společnosti Hestego. Celkové náklady na materiál můžete vidět v tabulce číslo 9.1. V této tabulce jsou ceny za materiál detailně rozděleny na každý vyráběný výkres. Celková náklady na nákup materiálu jsou tedy 3275,1 Kč.

Tab. 9.1 Materiálové náklady na výrobu svařovacího přípravku

Materiálové náklady				
Číslo výkresu	Požadovaný počet kusů [ks]	Spotřeba materiálu [Kg]	Nákupní cena [kg/Kč]	Cena materiálu [Kč]
Z00600-001-01	1	15,3	75,0	1147,5
Z00600-002-01	1	16,8	75,0	1260,0
Z00600-003-01	4	0,4	18,5	33,2
Z00600-004-01	4	0,3	75,0	93,0
Z00600-101-01	2	1,3	18,5	47,5
Z00600-102-01	4	1,6	18,5	115,0
Z00600-103-01	2	0,7	18,5	25,9
Z00600-104-01	2	1,2	18,5	42,6
Z00600-105-01	2	4,6	18,5	169,1
Z00600-201-01	1	3,7	18,5	69,3
Z00600-202-01	2	4,6	18,5	169,1
Z00600-203-01	4	0,8	18,5	60,2
Z00600-204-01	2	1,2	18,5	42,6
Celkové materiálové náklady				3275,1

### 9.1.2. Náklady na technickou přípravu výroby

Tyto náklady jsou dány firemním tarifem dle pracovní pozice ve firmě Hestego. Tarifní zařazení je dáno finančním oddělením společnosti pro každý rok. Pro výrobu tohoto přípravku je nutné, aby výkresová dokumentace prošla následujícími odděleními a to konstrukcí, technologií – CNC laserů a nakonec technologií. V tabulce číslo 9.2 jsou vypočítány náklady, které jsou zjištěny ze software evidence práce, kterou společnost Hestego využívá pro sledování doby práce na určité zakázce THP pracovníkem. V této tabulce můžete vidět hodinové náklady na THP pracovníka dle profese. Z tabulky je patrné, že nejvyšší hodinovou sazbu má konstruktér, což je dáno nákladem na provoz licence SW pro 3D modelování.

Tab. 9.2 Náklady na technickou přípravu výroby

Náklady na TPV			
Pracovní pozice	Odpracované hodiny [hod]	Hodinové náklady [Kč]	Celkové náklady [Kč]
Konstruktér	12	700	8400
Technolog - CNC strojů	1	500	500
Technolog - normovač	1	500	500
Celkové náklady na technickou přípravu výroby			9400

Jak je z tabulky číslo 9.2 patrné, tak celkové náklady na technickou přípravu výroby jsou tedy 9400 Kč.

### 9.1.3. Výrobní náklady

Ve společnosti Hestego jsou výrobní náklady stanovovány dle tarifů pracovišť. V těchto tarifech jsou započítány jak mzdy, tak i například režijní náklady na vybavení pracovišť. Pro výpočet výrobních nákladů jsem tedy vycházel z pracovního postupu, ve kterém byly nanormovány i výrobní časy. V tabulce číslo 9. 3 můžete vidět veškeré náklady na každou výrobní operaci dle technologického postupu. Operace tepelné zpracování je prováděna externě u kooperačního subdodavatele.

Tab. 9. 3 Výrobní náklady na svařovací přípravek

Výrobní náklady					
Výrobní operace	Čas výrobní [min]	Čas přípravný [min]	Celkový výrobní čas [min]	Hodinová sazba [Kč/hod]	Celkové náklady [Kč]
Řezání - Laser ByStar 3015	55	7	62	1450	1498,3
Řezání Pásová pila	15	5	20	560	186,7
Závitování	43	10	53	900	795,0

Ohraňování	6	15	21	900	315,0
Svařování	80	15	95	560	886,7
Tep. Zpracování					600
Obrábění	30	20	50	631	525,8
Montáž	60	10	70	560	653,3
Celkové výrobní náklady					5460,8

Jak je z tabulky číslo 9.3 patrné, tak výrobní náklady činí 5460,8 Kč.

#### 9.1.4. Náklady na nakupované položky

Mezi nakupované položky ve firmě Hestego patří veškerý spojovací materiál a dále výrobky, které nejsou vyráběné uvnitř společnosti. Pro výrobu toho svařovacího přípravku bude nutné nakoupit rychloupínky od společnosti JC Metal. Dále je nutné zajistit spojovací materiál, který je vypsán v tabulce č. 9.4.

Tab. 9.4 Náklady na nakupované položky

Náklady na nakupované položky			
Nakupovaná položka	Požadovaný počet dílců [ks]	Cena [Kč/ks]	Celková cena [Kč]
Podložka 12 - ISO 7089 - 1 / Zn	14	0,95	13,3
Šroub M12 x 120 - ISO 4762 - 8.8 / Zn	14	21	294
Podložka 10 - ISO 7089 -1 / Zn	36	0,75	27
Šroub M10 x 20 - ISO 4762 -8.8 / Zn	36	1,171	42,156
Podložka 6 - ISO 7089 -1 / Zn	56	0,3	16,8
šroub M6 x 16 - ISO 4762 -8.8 /Zn	56	0,5	28
Rychloupínka U 310	8	418	3344
Rychloupínka U 260 UZ	4	439	1756
Šroub M10 x 45 - DIN 933 / A2	16	13,1	209,6
Celkové náklady na nakupované díly:			5730,9

Jak je z tabulky číslo 9.4 zřejmé, tak náklady na nakupované dílce činí 5730,9 Kč.

#### 9.1.5. Celkové náklady na výrobu modulárního svařovacího přípravku

Jak v textu výše bylo řečeno, tak celkové náklady jsou složeny ze čtyř podskupin. V tabulce 9. 5 si můžete prohlédnout kompletní náklady na výrobu svařovacího přípravku. Z tabulky je patrné, že celkové náklady na výrobu svařovacího přípravku činí

23 866,8 Kč. Při zaměření na druhy nákladů vyplývá, že největší finanční zátěž pro firmu jsou náklady na TPV, které tvoří 39% z celkové ceny výrobku. V tomto případě bude probíhat pouze výroba jednoho kusu, a proto jsou tyto náklady tak vysoké. Výrobní náklady tvoří pouze 22,9 % z celkových nákladů.

Tab. 9. 5 celkové náklady na výrobu přípravku

Druhy nákladů	Cena [Kč]	Procentuální podíl z ceny [%]
Náklady TPV	9400	39,4%
Materiálové náklady	3275,1	13,7%
Výrobní náklady	5460,8	22,9%
Nakupované položky	5730,9	24,0%
<b>Celkové náklady</b>	<b>23866,8</b>	

## 9.2. Finanční úspora a návratnost investice

Při vyhodnocení návratnosti investice do výroby svařovacího přípravku budeme vycházet z informací od společnosti Hestego. Základní potřebnou informací jsou hodinové sazby pro určité pracoviště, dle kterých bude tato úspora vyhodnocována. Pro ruční svařovací pracoviště je hodinová nákladová sazba 570 Kč / hod a pro robotické svařovací pracoviště 800 Kč / hod. V tabulce číslo 9. 6 si můžete prohlédnout porovnání přípravných a výrobních časů pro oba dva typy pracovišť

Tab. 9. 6 Výrobní časy pro výrobu dílců na ručním a strojním pracovišti

Typ svařování	Hodinová sazba [Kč/hod]	Přípravný čas [min]	Výrobní čas [min]
Ruční	570	5	12
Strojní	800	20	3,5

Pro bližší stanovení úspor budeme vycházet ze základní objednávkové dávky, která je 50; 100 nebo 150 ks. V tabulce č. 9. 7 si můžete prohlédnout náklady na výrobu těchto dávek. Z tabulky je patrné, že při výrobní dávce 150 ks je finanční úspora vyšší než při dávce 50 ks. Je to dáno především nižším přípravným časem  $T_{bc}$  na 1 ks. Při dávce 150 ks je úspora na celé výrobní dávce 9 881 Kč, což znamená úsporu 65,87 Kč / ks.

Tab. 9.7 Výrobní náklady na svaření dávky 50, 100 a 150 ks

Typ svařování	Výrobní dávka [ks]	Přípravný čas [min/dv.]	Výrobní čas [min/dv.]	Náklady na přípravu [Kč/dv.]	Náklady na výrobu [Kč/dv.]	Náklady na svařování [Kč / dv. ]
Ruční	50	5	600	47,5	5 700	5 748
Ruční	100	5	1 200	47,5	11 400	11 448
Ruční	150	5	1 800	47,5	17 100	17 148
Strojní	50	20	175	266,7	2 333	2 600
Strojní	100	20	350	266,7	4 667	4 933
Strojní	150	20	525	266,7	7 000	7 267

Z vypočítané úspory 65,87 Kč/ks vyplývá, že pro pokrytí nákladů na výrobu svařovacího přípravku bude muset společnost Hestego vyrobit 363kusů. V letošním roce obchodní oddělení odhaduje více než dvojnásobný nárůst výroby tohoto dílce oproti roku 2013. Tento dílec byl v roce 2013 vyroben v množství 500 ks. Pro letošní rok je odhadována výroba 1305 ks/rok. V letošním roce zatím bylo vyrobeno 395 kusů tohoto výrobku a dle odhadů pro letošní rok se bude vyrábět ještě 910 kusů, což nám zaručuje návratnost investice do výroby svařovacího přípravku. Navíc bude dosaženo úspory na 547 kusech, která činí 36 030 Kč. Další velkou úsporou, kterou lze jen těžko stanovit je uvolnění kapacit na ručním svařovacím pracovišti, kde společnost Hestego vyrábí menší výrobní série, které v posledním roce narůstají a začínají tvořit 50 % objem zakázek společnosti Hestego.



## 10. Závěr

V diplomové práci jsem se zabýval konstrukčním návrhem svařovacího přípravku pro montážní díl pro outdoor cabinet. Tento montážní díl je svařenec z materiálu jakosti AlMg3. Svařenec je vyráběn společností Hestego a. s. ve dvou různých velikostech.

Při návrhu svařovacího přípravku jsem vycházel z 3D modelů svařenců za využití software Auto Desk Inventor Profesional 2013, kde byl proveden celý návrh konstrukce. V první fázi konstrukce byly navrženy 3 varianty svařovacího přípravku. Tyto návrhy byly vyhodnoceny a byla zvolena varianta číslo 3, která splnila veškeré požadavky na konstrukci přípravku. Ve zvolené konstrukci je využíváno plechových výpalků, rychloupínacích upínek a standardních spojovacích materiálů.

Po navržení a zkonstruování přípravku proběhla výroba svařovacího přípravku a jeho montáž na svařovací pracoviště, kde proběhlo odzkoušení dostupnosti přípravku. Tato zkouška dopadla dobře a všechny svary, dle výkresové dokumentace je možné provést na navrženém svařovacím přípravku za využití svařovacího robota.

Po odzkoušení dostupnosti přípravku byla provedena experimentální část rozboru napjatosti ve svařenci. Byly vyrobeny 3 vzorkové kusy, na kterých byla provedena měření teploty ve vzdálenostech 50; 75 a 100 mm od osy svaru pomocí termočlánku. Z naměřených teplot bylo vypočítáno vnitřní napětí ve svařenci. Následně bylo vyhodnoceno tak, že ve svařenci nenastávají trvalé deformace.

V ekonomické části této práce byla vyhodnocena návratnost investice do výroby svařovacího přípravku. Náklady na výrobu tohoto svařovacího přípravku jsou 23 867 Kč. Dále byla propočítána úspora při výrobě na robotickém svařovacím pracovišti oproti ručnímu svařování. Vypočtená úspora v dávce 150 ks činí 65,87 Kč/ks a investice bude do výroby svařovacího přípravku navrácena po vyrobení 363 kusů. Dle obchodního plánu společnosti bude v letošním roce ještě vyráběno 910 ks, což znamená, že budou pokryty náklady na výrobu svařovacího přípravku a navíc bude získána úspora 36 030 Kč.

## Seznam použité literatury:

1. AMBROŽ, Oldřich, Bohumil KANDUS a Jaroslav KUBÍČEK. Technologie svařování a zařízení: učební texty pro kurzy svářečských inženýrů a technologů. 1. vyd. Ostrava: Zeross, 2001, 395 s. ISBN 80-857-7181-0.
2. Automig: internetový magazín. *MIG/MAG (CO2)* [online]. 2010 [cit. 2014-05-27]. Dostupné z: <http://automig.cz/o-svarovani/metody/migmag-co2/>
3. *Internetový magazín Automig: TIG (WIG), Plasma TIG* [online]. 2010. vyd. 2010 [cit. 2014-05-27]. Dostupné z: <http://automig.cz/o-svarovani/metody/tig-wig-plasmatig/>
4. Demmler.cz. [online]. [cit. 2014-05-27]. Dostupné z: <http://www.demmeler.cz/modularni-system.html>
5. *Encyklopedie hliníku*. Děčín: Alcan Děčín Extrusions, 2005, 1 elektronický optický disk (CD-ROM). ISBN 80-890-4188-4.
6. Esab: Česká republika. *Sortiment na CD Rom 2011* [online]. 2011 [cit. 2014-05-27]. Dostupné z: <http://products.esab.com/Templates/T129.asp?id=130282>
7. Froweld: Svařovací technika. [online]. [cit. 2014-05-27]. Dostupné z: <http://www.froweld.cz/svarovaci-technika/eshop/8-1/34-2-TIG-WIG/5/1367-ESAB-ALMg5Cr>
8. IFR - international federation of robotics: Česká republika. *Types os industrial robots* [online]. [cit. 2014-05-27]. Dostupné z: <http://www.ifr.org/industrial-robots/products/>
9. KC robotics: Industrial automation and integration solutions. [online]. [cit. 2014-05-27]. Dostupné z: <http://www.kcrobotics.com/new-robots/panasonic/TA-1900G2-Robot.aspx>
10. KOLEKTIV, Autorů. *Materiály a jejich svařitelnost: Učební texty pro kurzy svářečských inženýrů a technologů*. 2001. vyd. Ostrava: Zeross, 2001. ISBN 80-85771-85-3.
11. KOLEKTIV, Autorů. *Výroba a aplikované inženýrství ve svařování: Učební texty pro kurzy svářečských inženýrů a technologů*. 2013. vyd. Ostrava: Zeross, 2000. ISBN 80-85771-72-1.
12. KOLEKTIV, Autorů. *Základní kurz svařování metedou 141: se souborem testových otázek*. 2013. vyd. Ostrava: Zeross, 2013. ISBN 978-80-85771-03-9.
13. Konstrukce-foff: konstrukční kancelář. [online]. [cit. 2014-05-27]. Dostupné z: <http://www.konstrukce-foff.cz/galerie/foto/svarovaci-stoly-siegmund-7.jpg>

14. KUBÍČEK, Jaroslav. *Technologie 2 : Část svařování: Studijní opory* [online]. Brno:: VUTBR FSI, 2006 [cit. 2014-05-27]. Dostupné z www: <http://ust.fme.vutbr.cz/svarovani/opory.htm>
15. KUBÍČEK, Jaroslav. *Technologie pro robotizaci*. Brno, 2011.
16. KRÍŽ, Antonín. Hliník a jeho slitiny. [online]. [cit. 2012-04-27]. Dostupné z: [http://www.benjamin.ic.cz/hlinik\\_slitiny.pdf](http://www.benjamin.ic.cz/hlinik_slitiny.pdf)
17. LEINVEBER, Jan a Pavel VÁVRA. *Strojnické tabulky: pomocná učebnice pro školy technického zaměření*. 4., dopl. vyd. Úvaly: Albra, 2008, xiv, 914 s. ISBN 978-80-7361-051-7.
18. Petraenergy. [online]. [cit. 2014-05-27]. Dostupné z: [http://www.petraenergy.cz/konstrukce\\_profily.html](http://www.petraenergy.cz/konstrukce_profily.html)
19. ProAuthor: Elektrolýza. [online]. [cit. 2012-05-8]. Dostupné z: <http://athena.zcu.cz/kurzy/elch/000/HTML/17/>
20. Robot industrial suppliers. *Training center - Thermadyne S.A. Welding Information Bulletin #13* [online]. [cit. 2014-05-27]. Dostupné z: <http://www.robotindustrial.co.za/infoweld13.aspx>
21. R-R náradí. *Příslušenství k svářečkám* [online]. 2010 [cit. 2014-05-27]. Dostupné z: <http://www.rr-naradi.cz/svarovaci-drat-1-2-mm-15-kg>
22. RUMÍŠEK, Pavel. *Automatizace výrobních procesů II. Tváření*. 1. vyd. Brno: VUT Brno, 1990, 192 s. ISBN 80-214-0221-0.
23. Scott Gross Store online: Welding equipment and suppliers. [online]. [cit. 2014-05-27]. Dostupné z: <http://store01.prostores.com/servlet/scottgrossstore/the-15352/ESAB-All-dsh-State-275-dsh-T-Tig/Detail>
24. Siver: *News archive* [online]. 2014. vyd. 2014 [cit. 2014-05-27]. Dostupné z: <http://www.siver.su/en/news/archive/31389/>
25. Svarforum.cz [online]. [cit. 2014-05-27]. Dostupné z: <http://www.svarforum.cz/forum/viewtopic.php?id=2241>
26. Svařování a robotizace - od pravěkých kovářů k průmyslové hi-tech. In: [online]. [cit. 2014-05-27]. Dostupné z: <http://www.techmagazin.cz/437>
27. The fabricator.com. [online]. [cit. 2014-05-27]. Dostupné z: <http://www.thefabricator.com/article/arcwelding/smooth-moves-with-gmaw>
28. TYMRÁK, Hynek. VALK WELDING. *Nabídka pracoviště*. Mošnov, 2012.

29. KOLEKTIV, Autorů. *Navrhování a posuzování svařovaných konstrukcí a tlakových zařízení: Učební texty pro kurzy svářečských inženýrů a technologů*. Ostrava: Zeross, 1999. ISBN 80-75771-70-5.
30. Wildeck. *Wildeck Inc.* [online]. 2011 [cit. 2014-05-27]. Dostupné z: [http://www.wildeck.com/about\\_us/manufacturing.html](http://www.wildeck.com/about_us/manufacturing.html)
31. *Weldmaster* [online]. [cit. 2014-05-27]. Dostupné z: <http://www.weldmaster.com.au/help-files/gas-metal-arc-welding/>
32. ZMYDLENÝ, Tomáš. *Hliník a slitiny hliníku: úvod do svařování*. 2003.

## Seznam použitých symbolů a značek:

Zkratka	Význam	Jednotka
A	Tažnost	[%]
I	Elektrický proud	[A]
I <sub>s</sub>	Svařovací proud	[A]
TIG	Tungsten Inert Gas	[-]
MIG	Metal inert ga	[-]
R <sub>e</sub>	Mez kluzu	[MPa]
R <sub>m</sub>	Mez pevnosti	[MPa]
t <sub>p</sub>	Čas svařování	[ms]
U	Elektrické napětí	[V]
v <sub>s</sub>	Svařovací rychlost	[mm/min]
l <sub>0</sub>	Původní délka tyče	[mm]
E	Modul pružnosti v tahu	[MPa]
t <sub>0</sub>	Počáteční teplota	[°K]
t <sub>1</sub>	Teplota po ohřevu	[°K]
Δl <sub>t</sub>	Neuskutečněné prodloužení	[mm]
Δl	Velikost deformace	[mm]
Δt	Teplotní rozdíl	[°K]
σ	Vnitřní napětí	[MPa]
α	Součinitel délkové roztažnosti	[K <sup>-1</sup> ]

## **Seznam příloh:**

Příloha 1: Atest materiálu AlMg3

Příloha 2: Pracovní obálka robotického pracoviště

Příloha 3: Fotografie z ověřování dostupnosti svařovacího přípravku

Příloha 4: Technický popis měřícího zařízení Raynger MX4

Příloha 5: Fotografie z měření teploty

Příloha 6: Popis přídavného materiálu

# Příloha 1:

## ALFUN



Dodavatel:

**ALFUN a.s.**  
Zahradní 1610/40  
79201 BRUNTÁL  
IČ: 25828649 DIČ: CZ25828649  
Společnost zapsaná v OR KS Ostrava, oddíl B, vložka  
2732

Kontaktní osoba odběratele:

**Tichá Iva**  
FAX: +420 517 321 010

### ATEST dle EN 10204; 2.2

Číslo atestu : 157078  
Interní kód atestu : AT13109421  
Zákazník : **Hestego a.s. (Na Nouzce 470/7 Vyškov, 682 01)**  
Číslo objednávky : 140351/14/Ticha  
Číslo dodacího listu : DL141003482  
Zhotoví : Truhlíková Markéta Dne : 3.2.2014

Atest: AT13109421/157078 (AT13109421)

Heat No. (Tavba) : **S33070034** Date (Datum zhotovení) : **13.09.2013**

#### Chemické složení [%] (Chemical composition [%])

Fe	Si	Cu	Mg	Mn	Cr	Ti	
<b>0,3400</b>	<b>0,27</b>	<b>0,018</b>	<b>3,03</b>	<b>0,2</b>	<b>0,028</b>	<b>0,009</b>	
Zn	Pb	Bi	Ni	Sn	Co	V	AL %
<b>0,026</b>							

#### Mechanické hodnoty

Rm [MPa]	Rp0,2 [MPa]	A%	A5%	A10%	A50%	Tvrđost HB
<b>206</b>	<b>97</b>				<b>34</b>	

#### Vlastnosti materiálu dle

EN 485-1, EN 485-2, EN 485-3, EN 485-4, EN 1386, PN 427305, EN 573-1,2,3, EN 515, EN 1386, EN 546-1,2,3

#### Charakteristika materiálu

Označení chemického složení, stav, rozměry [mm]

ENAW5754H111 3.0x1100x3020

#### Popis materiálu:

Za správnost údajů odpovídá:	Truhlíková Markéta	Podpis <b>ALFUN</b> ALFUN A.S. ZAHRADNÍ 1610/40 792 01 BRUNTÁL, CZ IČ: 25828649
------------------------------	--------------------	---

AT008054

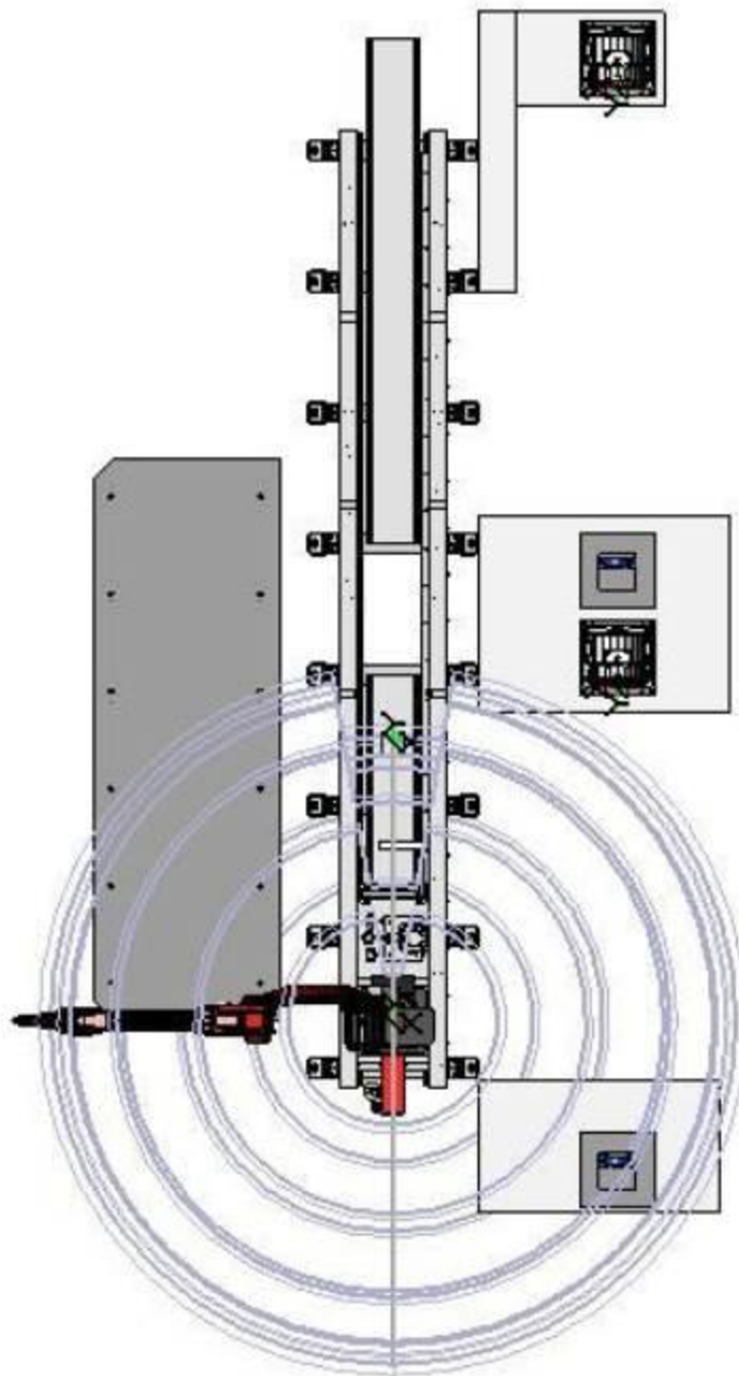


AT008053



## Atest materiálu AlMg3

## Příloha 2:



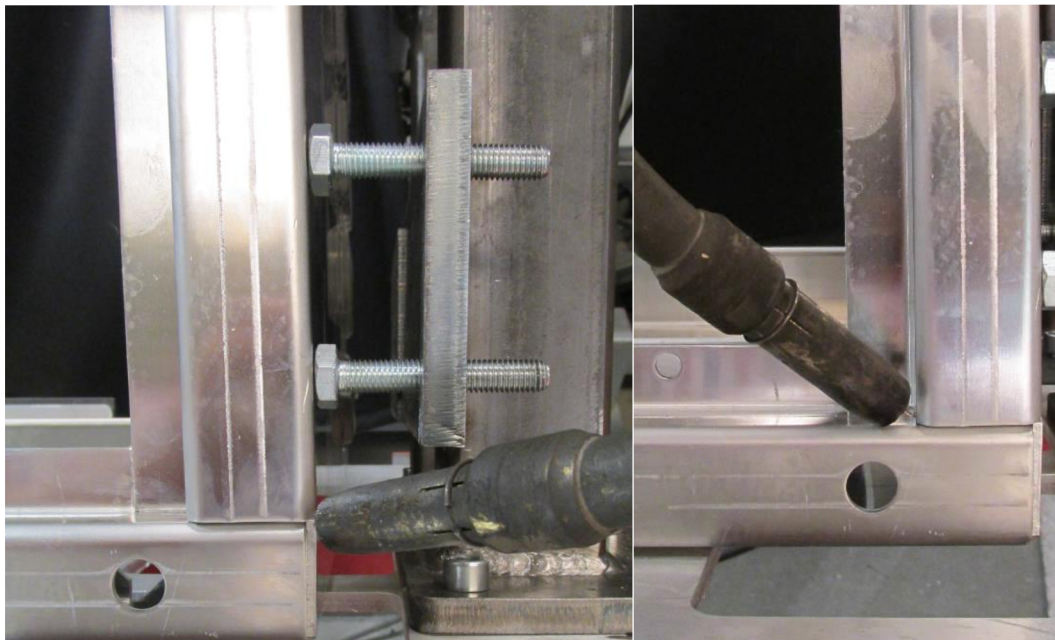
Obr. 1 Pracovní obálka robotického pracoviště



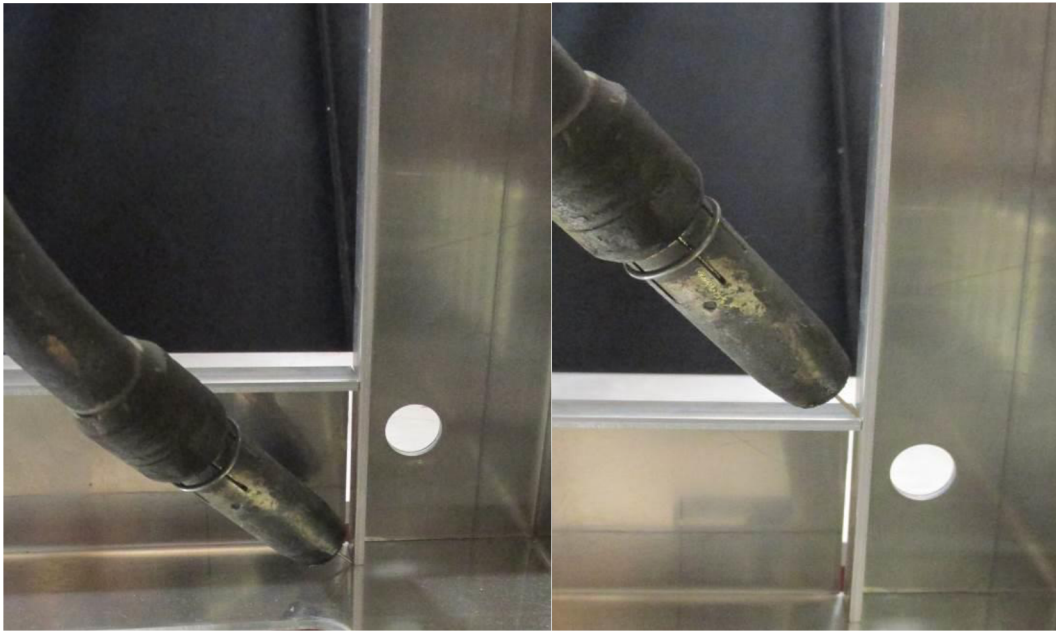
### **Příloha 3:**



### **Protočení svařovacího přípravku**



### **Najetí robotem do svaru**



**Ukázka najetí robotem do svařovacích míst**



**Najetí robotem kolem rychloupínky**

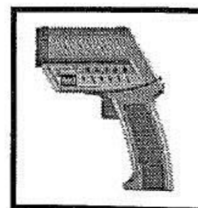
## TECHNICKÉ ÚDAJE

### Parametry

Teplotní rozsah	-30°C do 900°C
Rozlišení zobrazení	0,1°C
Přesnost	(±1% z naměřené hodnoty nebo (±1°C, podle toho, co je vyšší při 23°C
Doba odezvy (95%)	250 ms
Spektrální rozsah:	8 ... 14μ
Optické rozlišení:	60 : 1
Provozní rozsah okolní teploty:	0 do 45°C
Skladovací teplota:	-30 do 50°C bez baterií
Napájení	2 x 1,5 V alkalický článek typu AA
Rozměry	200 x 170 x 50 mm
Trojnožka	1/4" – 20 UNC

### Standardně přednastavené hodnoty

	Přednastavení	Rozsah
Emisivita	0,95	0,10 do 1,00, v 0,01 krocích
Tabulka emisivity	Volná	30 materiálů
Režim	normální	
Překročení maxima se signalizací	50°C	-30 ...900°C
Překročení minima se signalizací	0°C	-30 ...900°C
Kalibrační nastavení	0°C	-50 ...900°C
Zobrazení	Aut. nastavení rozsahu	aut./ruční rozsah
- Začátek	0°C	-30 ...900°C
- Konec	0°C	-30 ...900°C
- Doba cyklu	0,4 s	0,1 s do 300 s
Laser	zapnut	zapnut/vypnut
Bzučák	zapnut	zapnut/vypnut
Podsvětlení	zapnuto	zapnuto/vypnuto
°C/°F	°C	°C/°F
Nastavit standardní nastavení	zapnut	zapnut/vypnut
Omezený přístup	zapnut	zapnut/vypnut
Aretace	zapnuta	zapnuta/vypnuta
Zobrazení hodin	Čas	Čas/Datum



## Raynger MX4

### INFORMACE PRO RYCHLOU ORIENTACI

#### NASTAVENÍ

Stiskněte spoušť. Stiskněte požadované funkční tlačítko a nastavení budou cyklovat smyčkou funkcí zobrazenou níže. Opustit tento režim můžete pomocí ENTER. Poslední nastavené hodnoty EMISSIVITY a poslední nastavený REŽIM – MODE budou platit pro všechny ostatní funkce.

#### Emisivita:

Hodnotu nebo označení materiálu nastavujte pomocí kurzorových šipek nahoru a dolů.

Pro nastavení hodnoty emisivity zvolte v tabulce materiálu „Volná“. Znovu stiskněte EMISSIVITY. Jinou hodnotu můžete nastavit pomocí kurzorových šipek nahoru a dolů. Nastavení potvrďte pomocí ENTER.

#### Režim:

Pro potvrzení režimu stiskněte tlačítko MODE. Ukončete pomocí ENTER.

#### Nastavení:

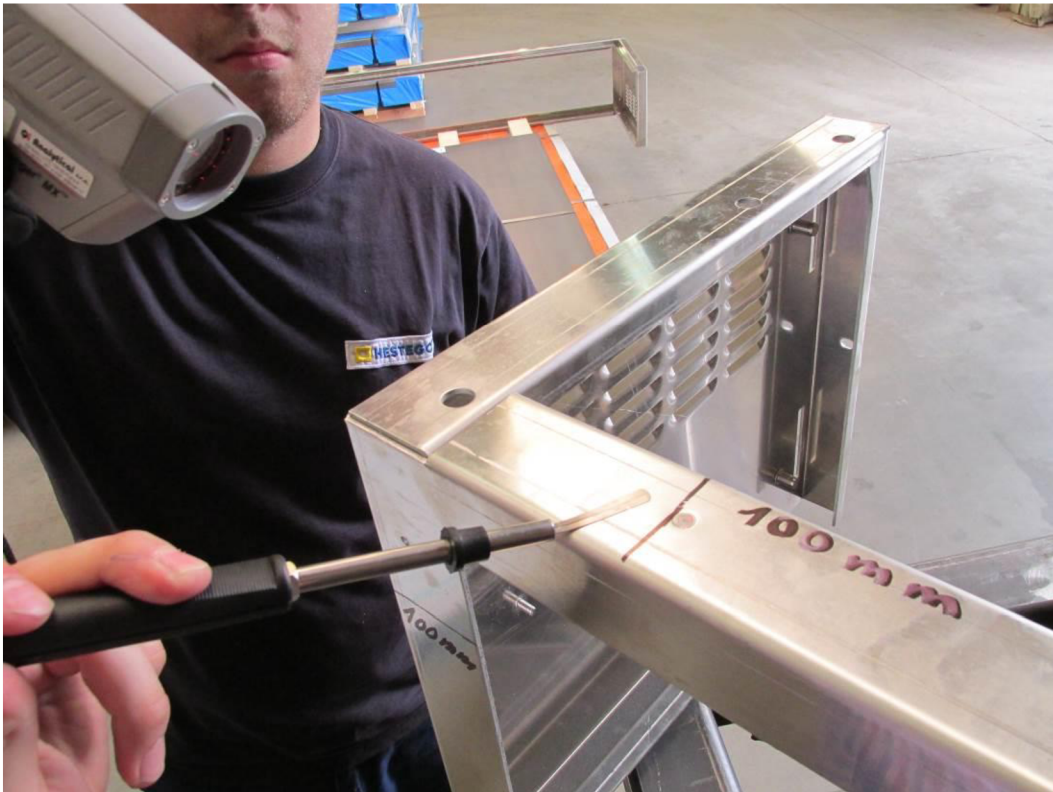
Hodnoty můžete měnit pomocí kurzorových šipek nahoru a dolů. Ukončete pomocí ENTER.

#### Grafické zobrazení:

Pomocí kurzorových šipek nahoru a dolů přepínejte mezi automatickým nebo ručním nastavením rozsahu AUTO – MAN. Stejně postupujte i pro nastavení začátku – BEGIN a konce – END (MAN RANGE) a délky intervalu – CYCLE.



## Příloha 5:



Ukázka jak probíhalo měření



Fotografie svařeného vzorku

## Příloha 6:

### S AlMg 5

**Druh:** Drát - MIG/MAG

**Normy:**

Norma	Číslo	Označení
DIN	1732	

**Certifikace/klasifikace:**

LRS

**Fyzikální hodnoty:**

Teplota solidus 562-633 °C

**Použití pro:**

Al + Al slitiny

**Typické chemické složení v %:**

Si	0.25	Mn	0.00 - 0.30	Cr	0.00 - 0.30	Al	Zb.	Cu	0.05	
Fe	0.40	Mg	4.50 - 5.60	Ti	0.10 - 0.20	Zn	0.20			

**Typické mechanické hodnoty:**

Teplota [°C] 20

Rm [MP] 255

**Rozměry a balení:**

Průměr [mm]	Balení	Typ	Hmotn. balení [kg]
0.80	cívka		7
1.00	cívka		7
1.20	cívka		7
1.60	cívka		7

**Použití:**

Drát ze slitiny Al-Mg obsahuje přísady Mn, Ti, které účinně snižují sklon svařovaného kovu k trhlinám. Je vhodný pro svařování slitin např. ČSN 424415 a pod. Svařuje se metodou MIG, TIG v ochranné atmosféře argonu. Nedoporučuje se svařovat plamenem. Drát je vhodný pro žárové stříkání elektrickým obloukem a plamenem.

Způsobilst: NV

Elektrická vodivost: 17 Sm.mm2

