



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV STROJÍRESNKÉ TECHNOLOGIE

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

ROBOTICKÉ SVAŘOVÁNÍ RÁMU BRUSKY

ROBOTIC WELDING OF GRINDER FRAME

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

JAKUB DOLEŽEL

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. JAROSLAV KUBÍČEK

BRNO 2012

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav strojírenské technologie

Akademický rok: 2011/2012

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

student(ka): Jakub Doležel

který/která studuje v **bakalářském studijním programu**

obor: **Strojírenská technologie (2303R002)**

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

Robotické svařování rámu brusky

v anglickém jazyce:

Robotic welding of grinder frame

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Robotické svařování se stále více využívá i v oblastech stavby strojů s nižší sériovostí. V BP je řešen návrh pracoviště pro svařování spodního rámu brusky s netradičním uspořádáním a umístěním robota.

Cíle bakalářské práce:

Vytvořit komplexní návrh robotického pracoviště zahrnující návrh vlastního robota, dispozičního uspořádání pracoviště, polohovadla a přípravku. Provést přibližný ekonomický propočet robotické buňky.

Seznam odborné literatury:

- 1) AMBROŽ, Oldřich, B. KANDUS a J. KUBÍČEK. Technologie svařování a zařízení. Ostrava: ZEROSS 2001. 395 s. ISBN 80-85771-81-0
- 2) ONDREJČEK, P. Zváranie ocelí v ochrane plynov. Bratislava. ETERNA PRESS 2003. 202 s. ISBN 80-968359-5-5
- 3) FOLDYNA Václav a kol. Materiály a jejich svařitelnost. Ostrava: ZEROSS 2001. 292 s. ISBN 80-85771-85-3.
- 4) ASM Handbook. Welding, Brazing and Soldering. Vol. 6. USA: ASM, 2003. 1298 s. ISBN 0-87170-382-3
- 5) TURŇA, Milan. Špeciálne metódy zvarovania. 1.vyd. Bratislava: ALFA. 1989. 384 s. ISBN 80-05-00097-9
<http://hypertherm.com>
- 6) KRÍŽ, R. a P. VÁVRA. Strojírenská příručka. Praha: SCIENTIA. 1998. Svazek 8. 251 s. ISBN 80-7183-054-2
- 7) KOUKAL, J., D. SCHWARZ a J. HAJDÍK. Materiály a jejich svařitelnost. 1. vyd. Ostrava: Český svářečský ústav s.r.o. Ostrava, VŠB-Technická univerzita Ostrava. 2009. 241 s. ISBN 978-80-248-2025-5.

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Jaroslav Kubiček

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2011/2012.

V Brně, dne 23.11.2011

L.S.

prof. Ing. Miroslav Piška, CSc.
Ředitel ústavu

prof. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc., dr. h. c.
Děkan fakulty

ABSTRAKT

DOLEŽEL Jakub: Robotické svařování rámu brusky.

Tato práce se zabývá robotickým svařováním spodního rámu brusky. Je rozdělena do dvou částí, v teoretické části je popsána metoda svařování MIG/MAG a svařovací roboti a manipulátory. Cílem bakalářské práce je navrhnout robotické pracoviště a zkonstruovat svařovací přípravek. Na závěr byla vyhodnocena návratnost investice do nového zařízení.

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

ABSTRACT

DOLEZEL Jakub: Robotic welding of grinder frame.

This thesis deals with robotic welding of grinder frame. It divided into two parts; the theoretical part described the method of welding MIG/MAG and welding robot and manipulators. The aim of this bachelor thesis is to design robotic workplace and construct welding jig. At the end was evaluated the return on investment in new equipment.

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

BIBLOGRAFICKÁ CITACE

DOLEŽEL, J. *Robotické svařování rámu brusky*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2012. 76 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Jaroslav Kubíček.

ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

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

V Brně dne 24. 5. 2012

Podpis

PODĚKOVÁNÍ

Tímto děkuji panu Ing. Jaroslavu Kubíčkovi za cenné připomínky a rady týkající se zpracování bakalářské práce. Dále bych chtěl poděkovat panu Hynku Tymrákovi za cenné poznámky při návrhu pracoviště a svařovacího přípravku. Ještě bych poděkoval slečně Marii Cedivodové za podporu a cenné postřehy při zpracování závěrečné bakalářské práce.

OBSAH

Titulní list

Zadání

Abstrakt

Bibliografická citace

Čestné prohlášení

Poděkování

Obsah

ÚVOD.....	12
1. Rozbor svařovaného výrobku	13
2. Teoretická část	15
2.1. Svařování metodou MIG/MAG	15
2.1.1. Princip svařování metodou MIG.....	16
2.1.2. Princip svařování metodou MAG	16
2.2. Chemické reakce při svařování v ochranné atmosféře.....	17
2.3. Způsoby přenosu kovu v oblouku	18
2.3.1. Krátký oblouk se zkratovým přenosem	19
2.3.2. Krátký oblouk se zrychleným zkratovým přenosem	20
2.3.3. Přechodový dlouhý oblouk s nepravidelnými zkraty	20
2.3.4. Dlouhý oblouk se sprchovým bezzkratovým přenosem	20
2.3.5. Impulsní bezzkratový přenos	21
2.4. Ochranné plyny	21
2.4.1. Ochranné plyny metody MAG	22
2.4.2. Ochranné plyny metody MIG	23
2.5. Přídavné materiály pro metody MIG / MAG	23
2.6. Parametry a podmínky svařování.....	24
2.6.1. Svařovací napětí.....	25
2.6.2. Svařovací proud	25
2.6.3. Proudová hustota.....	26
2.6.4. Druh a polarita svařovacího proudu.....	26
2.7. Speciální techniky svařování metody MIG/MAG	26
2.7.1. Metoda CMT – cold metal transfer.....	26
2.7.2. Metoda Laserhybrid	27
2.7.3. Metoda STT – surface tension transfer	28
2.7.4. Metoda tandemového svařování	29

3.	Teoretická část – svařovací roboty a manipulátory	31
3.1.	Úvod do automatizace a robotizace ve svařování	31
3.2.	Průmyslové roboty a manipulátory pro svařování	31
3.2.1.	Dělení průmyslových robotů a manipulátorů	32
3.3.	Kinematické pohyby průmyslových robotů	33
3.4.	Pohony průmyslových robotů	33
3.4.1.	Hydraulický pohon	34
3.4.2.	Pneumatický pohon.....	34
3.4.3.	Elektrický pohon.....	34
3.5.	Snímače	34
3.6.	Řídicí systémy průmyslových robotů	35
3.7.	Programování průmyslových robotů.....	36
3.8.	Kritéria pro uplatnění průmyslových robotů ve svařování	37
4.	Rozbor technologičnosti součásti – svařování.....	38
5.	Návrh dispozičního uspořádání pracoviště	40
5.1.	První varianta uspořádání pracoviště	40
5.2.	Druhá varianta uspořádání pracoviště.....	42
5.3.	Třetí varianta uspořádání pracoviště	44
5.4.	Čtvrtá varianta uspořádání pracoviště	44
6.	Návrh vybavení svařovací buňky	46
6.1.	Svařovací zdroj	46
6.1.1.	Svařovací zdroj pro variantu 1	46
6.1.2.	Svařovací zdroj pro variantu 2, 3, 4.....	46
6.2.	Doplňkové vybavení svařovací buňky	46
6.2.1.	Dotykové vyhledání pomocí svařovací hubice	47
6.2.2.	Detekce pomocí svařovacího drátu	47
6.2.3.	Systém pro sledování svarové spáry	47
6.2.4.	Univerzální upínací rám.....	48
6.2.5.	Off-line programování	48
7.	Návrh svařovacího přípravku.....	49
7.1.	Požadavky na konstrukci přípravku:	49
7.2.	Vlastní návrh a konstrukce přípravku	50
7.3.	Postup návrhu.....	50
7.4.	Odzkoušení dostupnosti přípravku v navržených variantách	51
7.4.1.	Odzkoušení dostupnosti pro variantu 2	52

7.4.2.	Odzkoušení dostupnosti pro variantu 3	52
7.4.3.	Odzkoušení dostupnosti pro variantu 4	53
7.5.	Postup výroby přípravku	53
8.	Volba technologických parametrů svařování	54
9.	Ekonomický propočet	54
9.1.	Ekonomické zhodnocení navrhnutých svařovacích buněk	54
9.2.	Výpočet nákladů na výrobu svařovacího přípravku.....	55
9.2.1.	Náklady na upínací příslušenství	55
9.2.2.	Náklady na hutní materiál.....	56
9.2.3.	Náklady na obráběné díly	57
9.2.4.	Náklady na mzdy konstruktéra, technologa, svářeče a obsluhy pily	58
9.2.5.	Celkové náklady na výrobu svařovacího přípravku	58
9.3.	Výpočet celkové fiktivní úspory při výrobě svařence.....	58
10.	Závěr	60
Seznam použité literatury		
Seznam použitých symbolů a zkratk		
Seznam příloh		

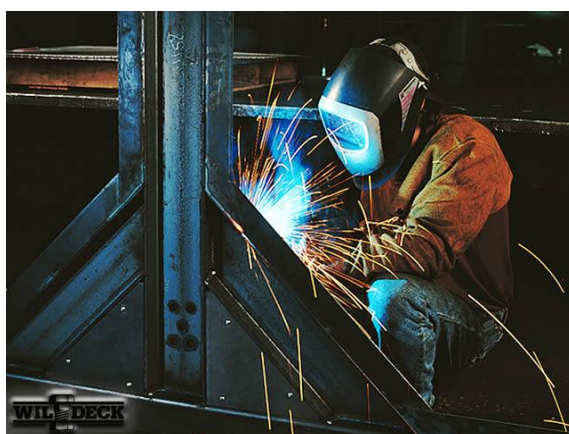
ÚVOD [11], [19], [21], [24]

Technologie svařování patří mezi hlavní odvětví strojírenské technologie, kde ale zaujímá menší postavení než technologie obrábění nebo tváření. Při tomto technologickém procesu se zpracovává největší množství různých druhů materiálů. Svařování umožňuje spojit materiály nejen tenké, ale i tlusté a to do tloušťky 300 mm.

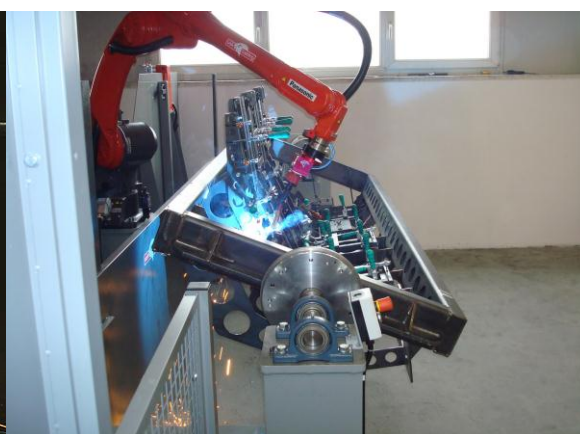
Technologie svařování se dělí na tavné a tlakové svařování. Dále se tato technologie rozděluje na metody svařování ruční nebo strojní. Metoda ručního svařování je zobrazena na obr. 1. Při strojním procesu probíhá svařování pomocí automatů nebo robotů, které můžete vidět na obr. 2.

Svařování se používá v různých oborech, kde je vyžadováno nerozebíratelné spojení materiálů. Mezi největšího představitele patří automobilový průmysl, např. svařování karosérie, které je zobrazeno na obr. 3, dále výroba ocelových konstrukcí a různé části obráběcích strojů. Svařování můžeme použít i pro renovační účely, jako je navařování materiálu, např. na lopatky turbíny.

Mezi výhody této technologie patří zjednodušení konstrukce, možnost nahradit výkovky a odlitky, snížit výrazně hmotnost dílů i sestav, snížit výrobní čas a snížit výrobní náklady s pomocí mechanizace a automatizace. Naopak mezi nevýhody patří možnost ovlivnění mechanických i fyzikálních vlastností a díky tomu dochází ke snížení kvality výrobku, protože při svařování vznikají vnitřní napětí a deformace.



Obr. 1. Ruční svařování [24]



Obr. 2. Robotického svařování [21]

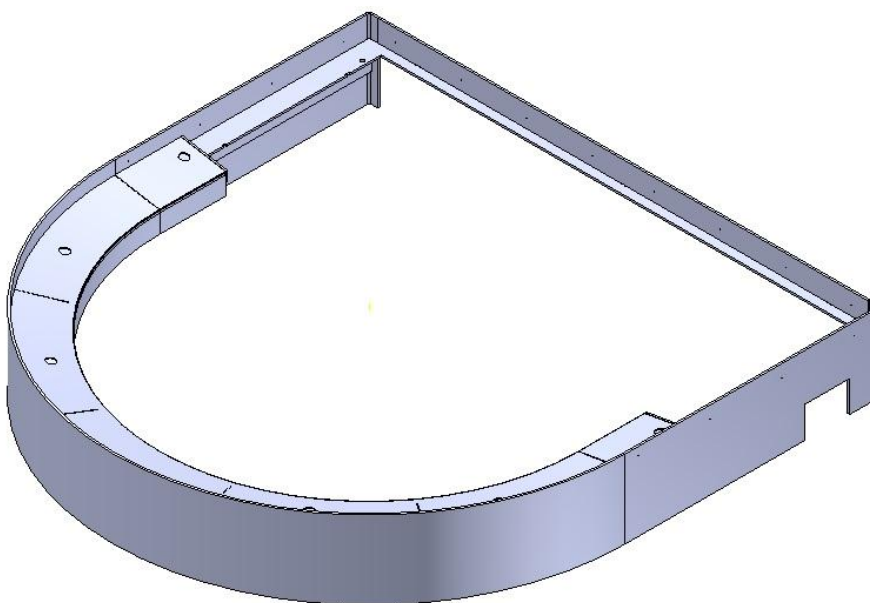


Obr. 3. Svařování karosérie automobilu [19]

1. Rozbor svařovaného výrobku

Výrobek je vyráběn společností Hestego a.s., který slouží pro zakrytování strojní brusky, která umožňuje vyrábění vrtáku a ozubených kol. Tato práce se bude zabývat svařováním spodního rámu, který je velmi komplikovaný. Celé krytování brusky je vyráběno v malosériové produkci s ročním objemem zhruba 100 ks / rok.

Svařenec má velmi velké rozměry a její tvar může přirovnat k podkově. Spodní rám je zobrazen na obr. 1. 1.



Obr. 1.1. Svařenec firmy Hestego a.s.

Rám je vytvořen z ocelových plechů vyrobených válcováním za tepla z materiálu S235JGR2 (11 321.21). Tloušťka plechů je od 3mm do 6mm. Chemické složení a mechanické vlastnosti plechů jsou vypsány v tabulce 1.1 a 1.2. Tyto vlastnosti byly vybrány z atestů dodávaných od dodavatele materiálu, které jsou uvedeny v příloze číslo 1.

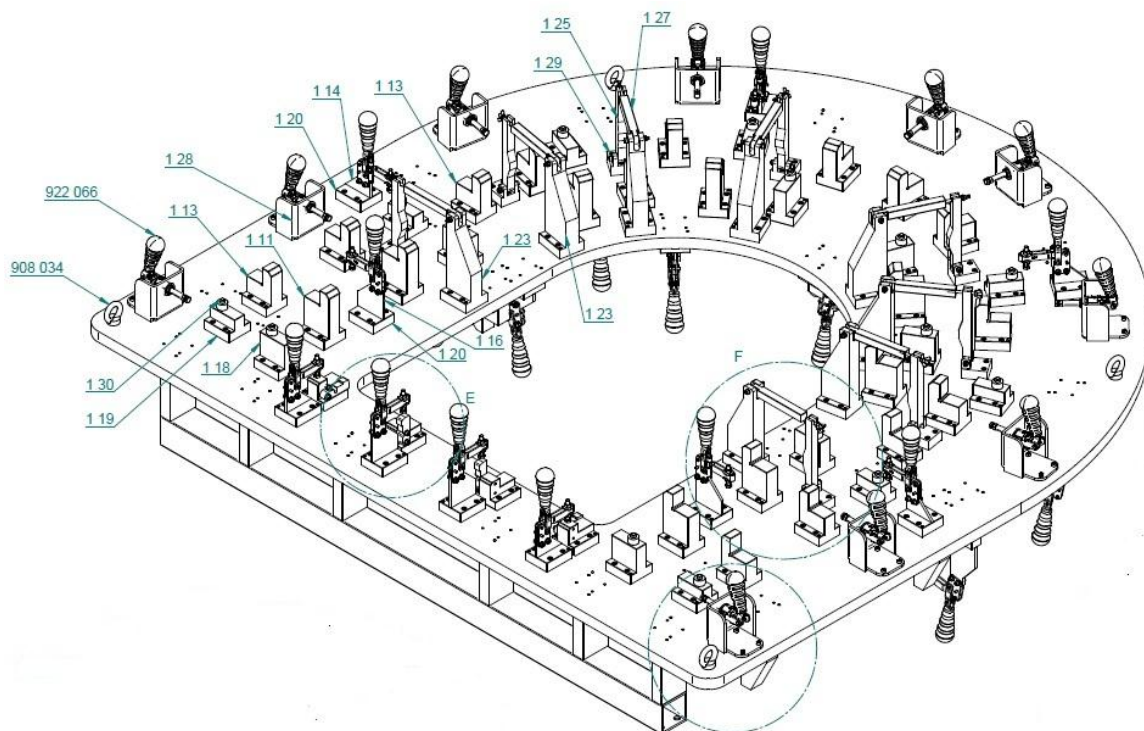
Tab. 1.1 Chemické složení materiálu S235JGR2

C	Mn	Si max	P max	Al max	S max
0,04 – 0,1	0,27–0,393	0,013	0,014	0,046	0,013

Tab. 1. 2 Mechanické vlastnosti materiálu S235JGR2

Mez pevnosti v tahu R_m [Mpa]	Mez kluzu s tahu R_e [MPa]	Tažnost [%]
349,0	233,0	30 - 37

Postup výroby svařence ve firmě Hestego a.s. je následující. Plechy jsou vypáleny na CNC laseru, kde získají správný plošný tvar. Následně jsou dílce převezeny na ohýbání na ohraňovacím lise nebo zakružovány v kooperaci. Po tvářecí části se díly přesunou na zámečnické pracoviště, kde jsou vyzávitovány otvory. Po provedení všech těchto výrobních operacích probíhá svaření spodního rámu pomocí speciálního přípravku pro ruční svařování, kde jsou jednotlivé dílce upnuty a následně ručně svařeny. Na obrázku číslo 1. 2. můžeme vidět ruční svařovací přípravek.



Obr. 1. 2 Svařovací přípravek pro ruční svařování

U ručního přípravku se musí svařenec ručně otáčet a následně znovu zapolohovat. Pro ruční svařování jsou parametry uvedeny v tabulce číslo 1. 3. Díky velkým rozměrům a hmotnosti je s výrobkem velmi složitá manipulace, u které musí být použit jeřáb. Dále je na svařenci požadováno, aby svary byly olejotěsné, protože nesmí dojít k prosáknutí chladicí kapaliny. Po této výrobní operaci následuje očištění a následné lakování spodního rámu. Po nalakování probíhá finální montáž a kompletace celého krytování brusky.

Tab. 1. 3 Svařovací parametry ručního svařování

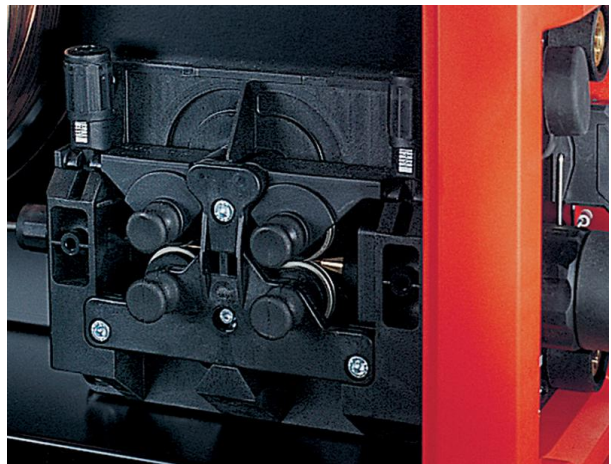
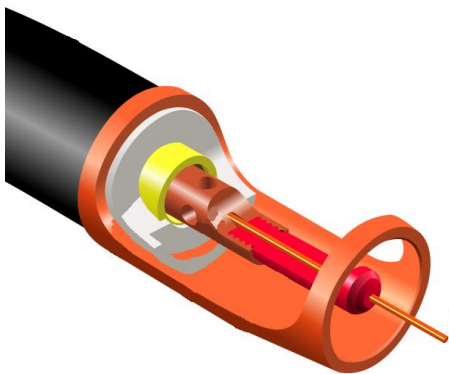
Průměr drátu [mm]	Proud [A]	Napětí [V]	Svařovací rychlost [mm/min]
1	190	21	600

2. Teoretická část

V teoretické části se tato práce bude zabývat svařováním pomocí metody MIG / MAG a svařovacími roboty.

2.1. Svařování metodou MIG/MAG [1], [2], [7], [12], [23], [25]

Svařování metodou MIG/MAG probíhá v ochranné atmosféře a to buď v aktivním prostředí (MAG = Metal Activ Gas) anebo v inertním (MIG = Metal Inert Gas). Při tomto postupu svařování vzniká kontinuální oblouk mezi tavícím se přídavným materiálem ve formě drátu a základním materiálem. Přenos elektrického proudu je zajištěn kontaktem přídavného drátu v ústí hořáku tak, aby délka svařovacího drátu zatíženého elektrickým proudem byla co nejkratší. Detail ústí hořáku můžeme vidět na obr. 2.1. Přídavný drát je do ústí hořáku dopravován pomocí 3 až 4 kladek. Tento mechanismus můžeme vidět na obr. 2.2. Podávací kladky jsou umístěny v podavači, ve vlastním hořáku nebo v kombinaci obou těchto systémů.



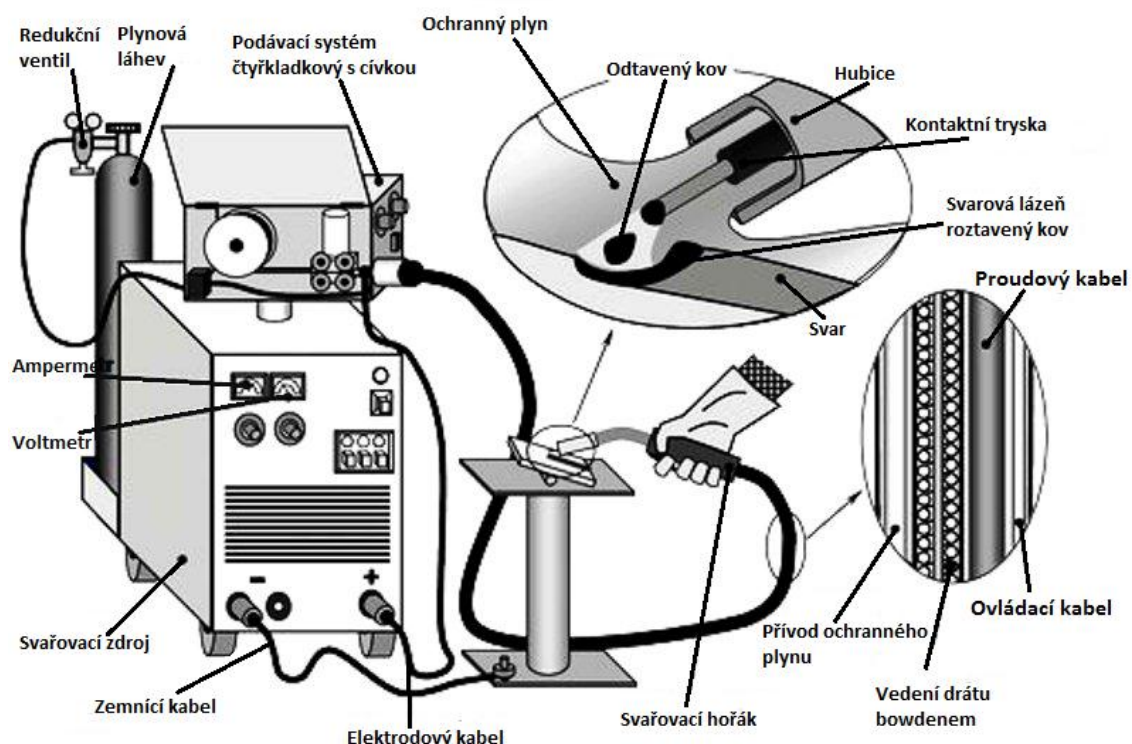
Obr. 2.1 Ústí svařovacího hořáku [23] Obr. 2.2 Čtyř kladkový podavač [7]

Metoda MAG se používá pro svařování nelegovaných a nízko legovaných ocelí. Naopak MIG je využívána především pro spojování vysoce legovaných a neželezných kovů. Tento proces je možné zcela automatizovat. Dosahovaná rychlost svařování je okolo $150 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$. Metoda MIG/MAG je zobrazena na obr. 2.3.

Výhody svařování MIG/MAG

- 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,

- Příznivé podmínky pro uplatnění v praxi (dostupnost svařovacího zařízení, přídavných materiálů i ochranného plynu).



Obr. 2.3 Metoda MIG/MAG [2]

2.1.1. Princip svařování metodou MIG

Při svařování metodou MIG je nositelem tepla elektrický oblouk, který hoří mezi odtavující se elektrodou a základním materiálem. Ochranná atmosféra je tvořena inertním (netečným) plynem, který obtéká kolem přídavného materiálu. Díky použití ochranného plynu dochází k ochraně elektrického oblouku před vlivem okolního prostředí hlavně před kyslíkem O_2 a dusíkem N_2 . Na obr. 2.4 můžete vidět princip svařování tavící se elektrodou v inertním plynu.

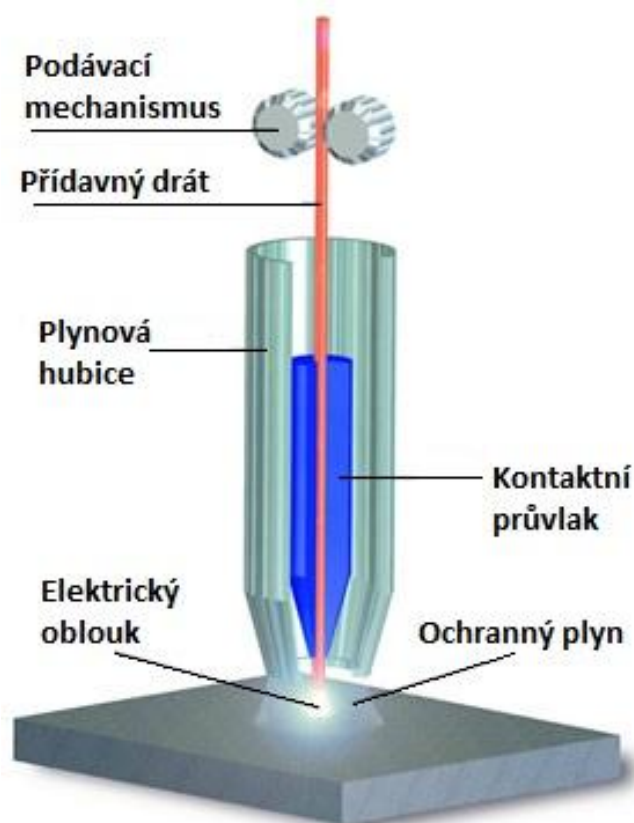
Pro svařování metodou MIG se jako ochranný plyn používá inertní plyn argon, hélium anebo jejich směsi. Při použití inertního plynu nedochází k reakci se svařovaným materiálem, ale k ovlivnění probíhajících fyzikálních procesů v elektrickém oblouku a následně v celém procesu svařování.

2.1.2. Princip svařování metodou MAG

Ve svařování metodou MAG je zdrojem tepla také elektrický oblouk. Proces hoření je stejný jako u metody MIG. Rozdíl je pouze v tom, že ochranné prostředí je tvořeno aktivním (reagujícím) plynem, který obtéká okolo drátové elektrody a chrání elektrický oblouk před nepříznivými vlivy okolního prostředí.

Při svařování metodou MAG se jako aktivní plyn používá oxid uhličitý CO_2 nebo jeho vícesložková sloučenina s argonem Ar a kyslíkem O_2 . Tyto plyny se projevují neutrálním, oxidačním nebo nauhličujícím účinkem na svarovou lázeň. To způsobuje stabilitu elektrického oblouku a rozstřik kovu.

Princip svařování tavící se elektrodou v aktivním plynu je detailně vidět na obr. 2.4.



Obr. 2.4 Princip svařování tavící se elektrodou v inertním nebo aktivním plynu [25]

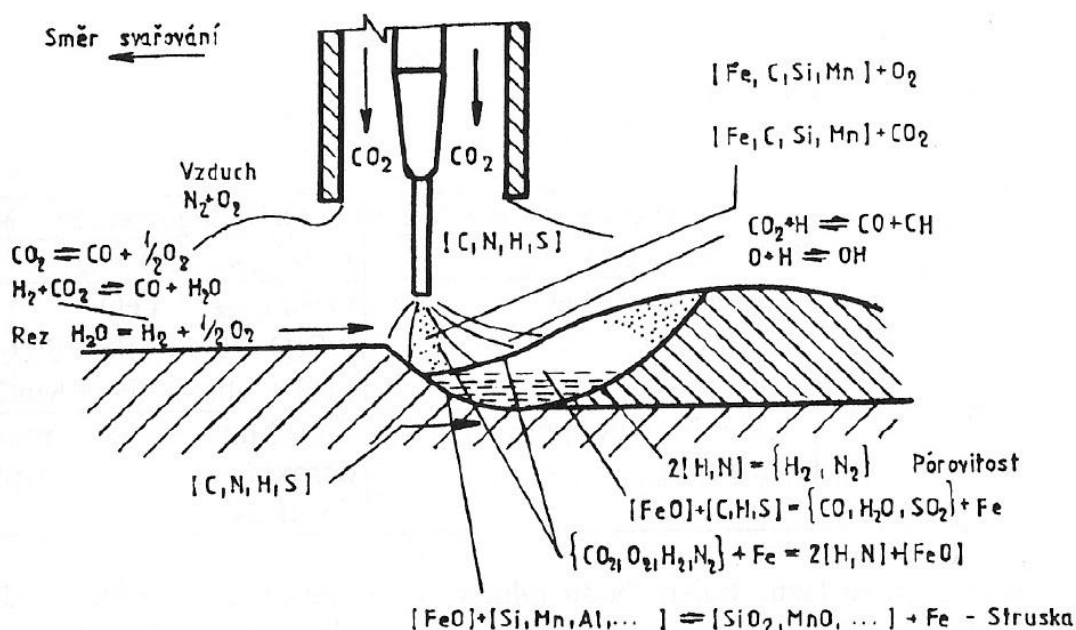
2.2. Chemické reakce při svařování v ochranné atmosféře [12]

Při svařování vzniká celá řada metalurgických reakcí. Mezi nejdůležitější patří reakce oxidační a dezoxidační, které se dějí na kapkách tavící se elektrody a v roztaveném svarovém kovu. Tyto reakce zásadně ovlivňují tvar oblouku, povrch svarové housenky, přechod svarové housenky do základního materiálu a vnitřní čistotu svaru.

Na velikosti metalurgických reakcí má především vliv množství disociovaného kyslíku, který má schopnost sloučit se s prvky v tavenině. Kyslík se do oblouku dostává z ochranných plynů. Jako příklad disociace molekul probíhající v oblouku uvádím rozpad sloučeniny CO_2 , která se rozpadá na CO a O_2 . Tyto reakce probíhají při vzniku kapky tavící se elektrody.

Nejdůležitější oxidační reakcí je sloučení O_2 s Fe , Mn a Si . Při těchto exotermických reakcích se dosahuje vysoké teploty tavné lázně. Vzniklé teplo proniká do okolního materiálu, což zajišťuje hlubší a oválnější svarovou lázeň. Při sloučení oxidu FeO s C se začnou tvořit bubliny CO , které mají za následek vznik pórovitosti a bublinatosti svarů. Tomuto jevu lze zabránit provedením dezoxidace taveniny svarového kovu.

Jako dezoxidační prvky se používají Mn a Si , které jsou obsaženy v přídavném materiálu. Na obr. 2.5 můžeme vidět chemické reakce ochranné atmosféry s povrchem svarové lázně.



Obr. 2.5 Chemické reakce ochranné atmosféry s povrchem svarové lázně [12]

Díky dezoxidačním reakcím je dosaženo vyplavování oxidů na povrch svarové lázně, kde ztuhnou a vytvoří malé ostrůvky strusky. Množství strusky je závislé na obsahu O_2 v ochranném plynu. V tab. 2.1 jsou ukázány chemické reakce v tavné lázni s legovaným a nelegovaným drátem.

Tab. 2.1 Chemické reakce v tavné lázni u různých přídatných materiálů [12]

Drát	Drát nelegovaný Si Mn	Drát legovaný Si Mn
Oblouk	$Co_2 \rightarrow CO + O$	$Co_2 \rightarrow CO + O$
Roztavená lázeň	$O + Fe \rightarrow FeO$ $FeO + C \rightarrow Fe + CO$	$O + Fe \rightarrow FeO$ $2FeO + Si \rightarrow Fe + SiO_2$ $FeO + Mn \rightarrow Fe + MnO$
Produkt	CO, který je příčinou pórovitosti ve svaru	SiO_2 , MnO způsobují desoxidaci a vyplavení strusky

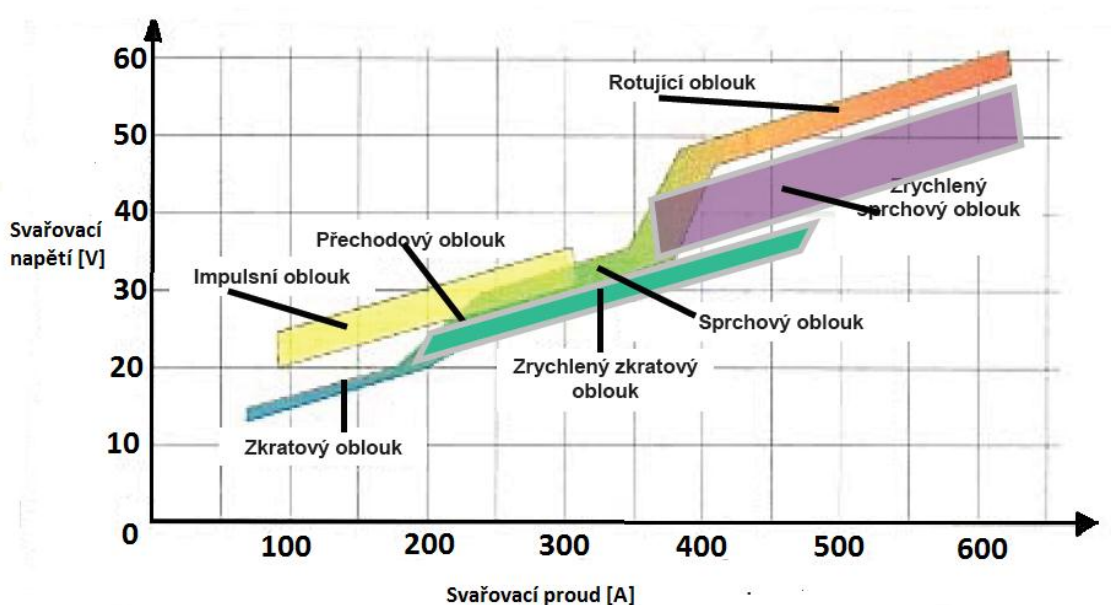
2.3. Způsoby přenosu kovu v oblouku [1], [12], [15]

Mezi základní charakteristiky metody svařování elektrickým obloukem tavící se elektrodou řadíme také přenos kovu v oblouku. Je závislý především na svařovacích parametrech, jako jsou proud a napětí. Přenos kovu významně ovlivňuje složení ochranného plynu, druh přídatného materiálu a technika svařování.

Přenos kovu můžeme rozdělit:

- a. Krátký oblouk se zkratovým přenosem kovu
- b. Krátký oblouk se zrychleným zkratovým přenosem
- c. Přechodový dlouhý oblouk s nepravidelnými zkraty
- d. Dlouhý oblouk se sprchovým bezzkratovým přenosem
- e. Impulzní bezzkratový oblouk
- f. Moderovaný bezzkratový přenos – zrychlený zkratový přenos
- g. Dlouhý oblouk s rotujícím přenosem kovu

Na obr. 2.6 můžeme vidět oblasti přenosu kovu v oblouku v závislosti proudu na napětí.



Obr. 2.6 Oblasti přenosu kovu v elektrickém oblouku [12]

2.3.1. Krátký oblouk se zkratovým přenosem

Tento přenos je možno použít v rozmezí svařovacího proudu od 60 do 180 A a napětí od 14 do 22 V. V rozmezích těchto parametrů se výkon navaření pohybuje v rozsahu od 1 do 3 kg.hod⁻¹.

Zkratový přenos funguje na principu přerušení oblouku zkratem, při kterém dojde k oddělení části kovu elektrody. Při tomto procesu je frekvence kapek malá, ale rozstřík kovu je velký. Díky pravidelnému zhasínání oblouku je do svaru vnášeno menší množství tepla, což zmenšuje tepelně deformační účinek. Zkratový přenos se zvukově projevuje jemným praskavým tónem. Krátký oblouk se zkratovým přenosem kovu můžete vidět na obr. 2.7.

Využití zkratového přenosu je hlavně v oblasti svařování tenkých plechů od tloušťky 1 mm, překlenutí širších mezer, svařování polohových svarů a také svařování vysokolegovaných ocelí.



Obr. 2.7 Krátký oblouk se zkratovým přenos kovu [1]

2.3.2. Krátký oblouk se zrychleným zkratovým přenosem

Zrychlený zkratový přenos probíhá za neobvyklých parametrů. Napětí je v rozsahu 14 – 25 V, tj. stejné jako v konvenčním zkratovém přenosu. Na rozdíl proud je v rozsahu nad 200 A, což je v oblasti sprchového přenosu. Díky tomu se musí zvednout i rychlost podávání přídatného materiálu. Výkon navaření se pohybuje v rozmezí 3 – 10 kg.hod⁻¹.

Při tomto procesu je drát tlačěn vysokou podávací rychlostí do svarové lázně, tím je zvyšována i frekvence zkratů, a proto nevzniká dostatečně dlouhá doba pro tvorbu velké kapky jako u klasického zkratového přenosu. Z důvodu velkého úhlu sklonu hořáku a velké vzdálenosti trysky od základního materiálu se musí zvýšit průtok ochranného plynu na 20 – 30 l.min⁻¹.

Zrychlený zkratový přenos je možno využít pro svařování tenkých plechů s vysokou rychlostí svařování. Díky malému rozstříku, dobrému profilu svarové housenky a velkému výkonu navaření se dále používá pro kořeny svarů a polohové svary.

2.3.3. Přechodový dlouhý oblouk s nepravidelnými zkraty

Tento oblouk vzniká při průměrných hodnotách oblouku. Svařovací napětí je v rozmezí 22 – 28 V a proud v rozmezí 190 – 300 A. Tento přenos způsobuje velký rozstřík kapek, což vede ke vzniku hrubé svarové housenky, a proto se nedoporučuje používat.

2.3.4. Dlouhý oblouk se sprchovým bezzkratovým přenosem

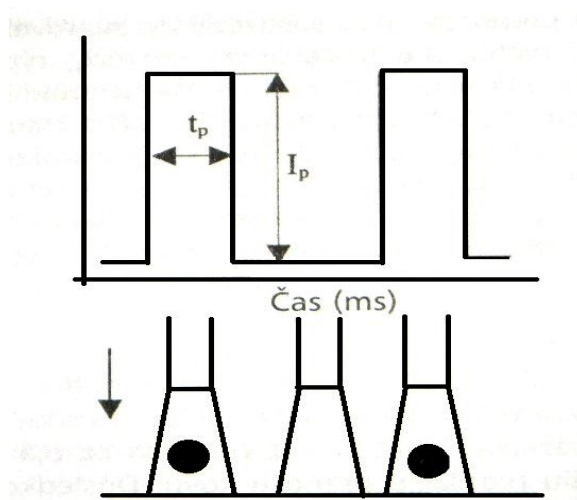
Při sprchovém přenosu je nastavení svařovacího proudu v rozmezí 200 – 500 A, napětí je od 28 do 40 V. Tento přenos je možné realizovat pouze ve směsných plynech tvořených Ar s CO₂. Charakteristické pro sprchový přenos je tvoření drobných kapek, které jsou urychleny k tavné lázni vysokou frekvencí od 150 do 350 Hz, tím pádem získáváme vysoký výkon navaření 3 – 12 kg.hod⁻¹.

Hlavními rysy tohoto oblouku jsou velká hloubka závaru, skoro žádný rozstřík a hladká a čistá svarová housenka. Zvukově se sprchový proces projevuje syčením s občasným prasknutím. Využití sprchového přenosu je pro výplňové housenky svarů středních a velkých tloušťek.

2.3.5. Impulsní bezzkratový přenos

Impulsní přenos je zvláštní formou bezzkratového přenosu. Svařovací parametry jsou v oblasti zkratového a sprchového přenosu. Tato forma přenosu je řízena elektrickým pravidelným cyklem, který je dán amplitudou frekvence impulsního proudu. Základní proud dosahuje nízkých hodnot v rozmezí 20 – 50 A a jeho hlavní funkcí je udržet ionizaci sloupce oblouku a tím i vedení proudu. Bez zkratový přenos dosahuje dobrého výkonu navaření a to 2 – 5 kg.hod⁻¹.

Nastavený impulsní proud je tvarově a časově řízený a v závěrečném úseku celé amplitudy dochází k odtavení kapky přídavného materiálu. Po celou dobu amplitudy oblouk hoří. Tento přenos je především závislý na frekvenci impulsů proudu, které udržují velikost kapky přídavného materiálu na skoro konstantní velikosti. Frekvence impulsů se v obecném použití pohybuje v rozmezí 25 – 500 Hz. Přenos kapky kovu při impulsním přenosu můžete vidět na obrázku číslo 2.8.



Obr. 2.8 Přenos kapky u impulsního přenosu [15]

Výhody impulsního svařování:

- možnost svařovat tenké plechy a polohové sváry bezzkratovým přenosem,
- snížení deformačního účinku díky menšímu vnesenému teplu do svaru,
- kresba povrchu svaru a kořene je pravidelná a jemná,
- možnost tavení drátů větších průměrů, které jsou levnější.

2.4. Ochranné plyny [1], [12], [16]

Zásadním úkolem ochranných plynů je ochrana tavné lázně před nežádoucími vlivy okolního prostředí. Hlavně před přítomností vzduchu, který způsobuje oxidaci a nitridaci svarového kovu, což má za následek zhoršení mechanických vlastností svarového spoje. Ochranné plyny umožňují stabilní hoření oblouku a ovlivňují přenos tepelné energie do svaru díky ionizační schopnosti.

Ochranné plyny výrazně ovlivňují:

- způsob přenosu svarového kovu obloukem,

- hloubku závaru a profil svaru,
- množství rozstříku,
- rychlost svařování,
- stabilitu elektrického oblouku.

Metoda MAG používá jako ochranný plyn čistý oxid uhličitý (CO_2), anebo jsou častěji aplikovány vícesložkové směsné plyny, jejichž základním prvkem je argon (Ar), např. $\text{Ar} + \text{CO}_2$, $\text{Ar} + \text{CO}_2 + \text{O}_2$ a $\text{Ar} + \text{He} + \text{CO}_2 + \text{O}_2$.

Při metodě MIG je používán většinou čistý argon a helium (He) nebo jejich dvousložková směs $\text{Ar} + \text{He}$. Čistota plynů a poměr pro jejich smíchání je stanoven normou ČSN EN 439.

2.4.1. Ochranné plyny metody MAG

Oxid uhličitý - CO_2

Je to nehořlavý, bezbarvý a nejedovatý plyn, který je těžší než vzduch. Oxid uhličitý má hustotu $1,976 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ a bod varu $-78,45^\circ \text{C}$. Při koncentraci 15% oxidu uhličitého ve vzduchu dojde k udušení člověka. Tento plyn má vysokou tepelnou vodivost a vysoký přenos tepla do svarové lázně a díky tomu způsobuje velmi dobré natavení svarových hran, hluboký průvar s oválným profilem svarové housenky a vyhovující odplynění svarové lázně.

Směsné plyny $\text{Ar} + 15 - 25\% \text{CO}_2$

Tyto směsi se uplatňují jako univerzální plyny pro svařování nelegovaných a nízkolegovaných ocelí. Hlavním představitelem této skupiny je směsný plyn $\text{Ar} + 18\% \text{CO}_2$, který se vyznačuje stabilním obloukem, hlubokým závarem a velmi dobrými svařovacími vlastnostmi. Tyto směsné plyny lze použít pro zkratový i sprchový přenos kovu s malým rozstříkem. Povrch sváru je hladký s dobrým přechodem do základního materiálu. Použitelnost je pro všechny tloušťky plechů.

Směsné plyny $\text{Ar} + 8\% \text{CO}_2$

Tyto směsi se používají pro impulsní a sprchový přenos kovu a jsou vhodné pro vysokovýkonné metody svařování. Pro tyto plyny je charakteristická vysoká rychlost svařování, nízký rozstřík, minimální tvorba strusky a plochý svar. Vhodnost jejich použití je pro ruční i mechanizované svařování všech tloušťek plechů.

Směsné plyny $\text{Ar} + 5 - 13\% \text{CO}_2 + 5\% \text{O}_2$

Poskytují hladké a čisté sváry, klidný svařovací proces s měkkým elektrickým obloukem. Vysoký obsah kyslíku způsobuje výborné odplynění a velmi dobrou tekutost tavné lázně. Tyto plyny umožňují sprchový přenos kovu i při nižší intenzitě proudu. Využití těchto směsí je pro svařování malých a středních tloušťek v mechanizovaném a robotickém procesu.

2.4.2. Ochranné plyny metody MIG

Argon – Ar

Je to inertní jednoatomový plyn, bezbarvý a bez chuti a zápachu, který nevytváří s žádným prvkem chemické sloučeniny. Argon je vyráběn destilací zkapalněného vzduchu, kde teplota varu je $-185,8\text{ }^{\circ}\text{C}$. Hustota je $1,784\text{ kg.m}^{-3}$ z toho vyplývá, že je těžší než vzduch. Tepelná vodivost argonu je malá. Čistý argon se používá pro svařování titanu, tantalu a zirkonu.

Helium – He

Tento plyn je jednoatomový, inertní, bez barvy a zápachu. Je vyroben separací některých druhů zemního plynu. Jeho hustota je $0,178\text{ kg.m}^{-3}$. Tepelná vodivost helia je vyšší než u argonu. Při použití helia se špatně zapaluje elektrický oblouk. Helium je především využíváno pro svařování materiálů větších tloušťek s vysokou tepelnou vodivostí, např. u hliníku nebo mědi.

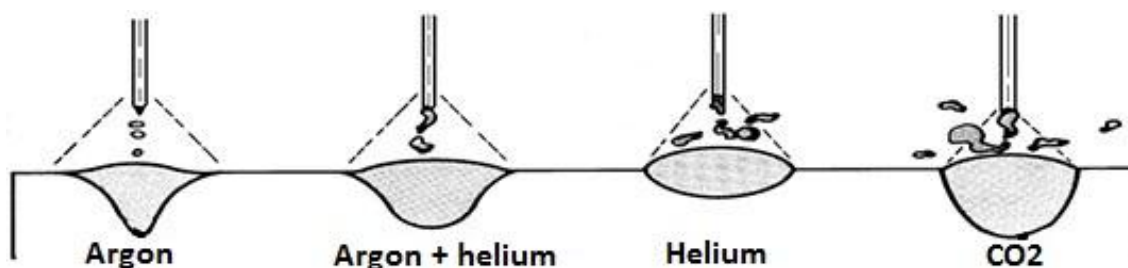
Směsi Ar + He

Směsi argonu a helia se využívají hlavně pro svařování mědi a hliníku pomocí ručního nebo strojního svařování. Nejčastěji používané směsi jsou 70% Ar + 30% He, 50% Ar + 50% He, 30% Ar + 70% He. Tyto směsi se při svařování vyznačují zvýšením svařovací rychlosti a zvětšením hloubky závaru.

Směsi Ar + H

Tyto směsi mají podobné vlastnosti jako směsi Ar + He, liší se pouze obsahem vodíku (H) a to v rozmezí 5 – 10%, který zlepšuje čistotu povrchu svaru díky redukcí oxidů. Použitelnost těchto plynů je jen pro svařování vysoce legovaných austenitických a austeniticko-feritických chromniklových ocelí nebo pro svařování Ni a jeho slitin. Směsi s vodíkem se nesmějí použít pro svařování martenzitických a feritických CrNi ocelí, jelikož H způsobuje praskavost za studena. Není doporučeno svařovat slitiny hliníku nebo mědi z důvodu vysoké lámavosti.

Na obr. 2.9 je ukázán vliv ochranného plynu na tvar housenky.



Obr. 2.9 Vliv ochranného plynu na tvar housenky [16]

2.5. Přídavné materiály pro metody MIG / MAG [12], [3], [17]

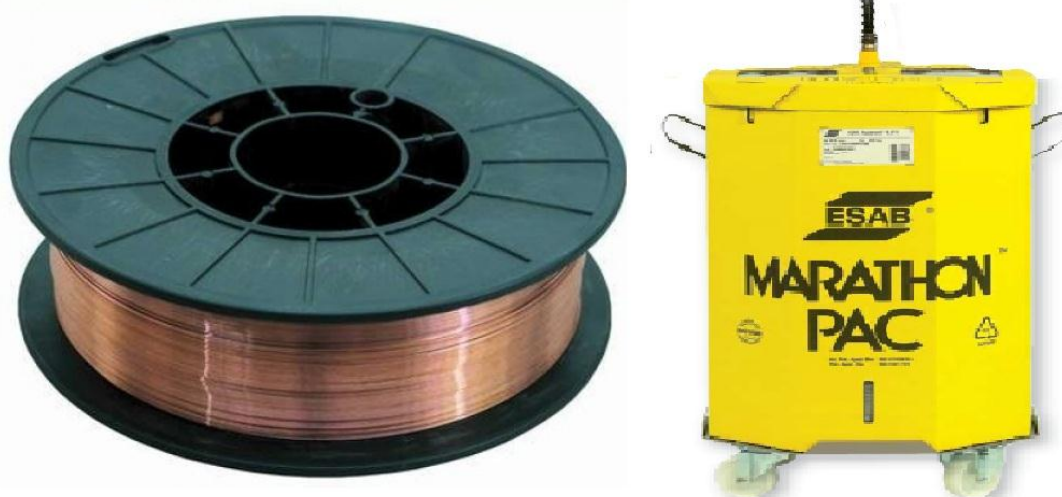
Jako přídavný materiál se pro metodu MIG / MAG používají dráty.

Druhy drátů:

- Plné,
- Trubičkové (plněné).

Přídavné dráty bývají většinou navinuty na plastových anebo drátěných cívkách o hmotnosti 15 kg. Dále jsou dodávány ve svitku v lepenkové krabici, která má hmotnost od 200 do 400 kg. Toto balení je používáno ve velkosériové nebo robotizované výrobě, kde práce není přerušována tak častou výměnou přídavného materiálu. Na obr. 2.10 je ukázáno balení přídavného materiálu ve formě cívky a svitku. Plné dráhy jsou vyráběny v průměrech od 0,6 do 2,4 mm. Nejčastěji se používají dráty v rozmezí 0,8 - 1,6 mm.

Obr. 2.10 Plastová cívka přídavného drátu a velkokapacitní balení [3], [17]



Každé balení přídavného materiálu musí být označeno štítkem, na kterém jsou základní údaje od výrobce:

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

Přídavné materiály musí být přepravovány a skladovány tak, aby byl drát chráněn proti oxidaci a znečištění. Doporučená teplota skladování je nad 10°C a relativní vlhkost maximálně do 50%.

2.6. Parametry a podmínky svařování [12]

Tato kapitola se bude zabývat nejdůležitějšími parametry, které ovlivňují proces svařování. Mezi nejdůležitější parametry patří svařovací napětí, svařovací proud, proudová hustota, druh a polarita svařovacího proudu a volná délka drátu. V následujících podkapitolách budou tyto parametry podrobně popsány.

2.6.1. Svařovací napětí

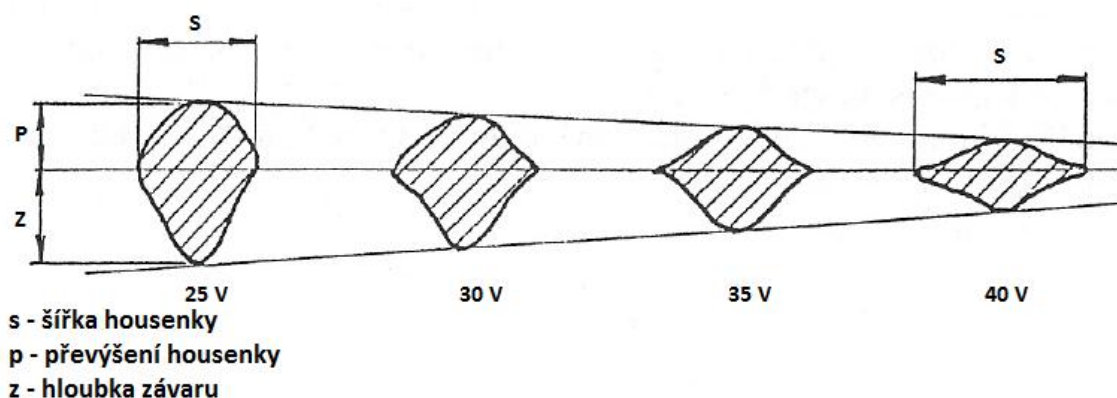
Svařovací napětí na elektrickém oblouku je definováno jako potenciální rozdíl mezi elektrodou a svarovou lázní. Změna napětí souvisí hlavně se změnou délky oblouku, což ovlivňuje výrazně šířku svarové housenky. Napětí na oblouku má značný vliv na dosažení optimálních podmínek pro ustálení pracovního bodu a samoregulaci délky oblouku. Svařovací napětí má velmi výrazný vliv na druh přenosu kovu v oblouku a zároveň na tvar a velikost oblouku. V tab. 2.6 můžeme vidět rozsah napětí při základních typech přenosu kovu v elektrickém oblouku.

Tab. 2.6 Rozsah svařovacího napětí pro základní typy přenosu kovu [12]

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

Při vysokém napětí dochází ke zvětšení délky oblouku a k propalu prvků, rozstřík se zvětšuje, svary jsou náchylné na pórovitost. Tvar svarové housenky je díky vysokému napětí široký a mělký, může zde docházet k předbíhání svarové lázně před elektrickým obloukem.

Pro nízké napětí je charakteristické, že proces bývá nestabilní. Díky nízkému napětí nedochází k dokonalému natavení svarových ploch a u vícevrstvých svarů vznikají studené spoje. Svarová housenka je u nízkého napětí úzká s velkým převýšením svaru. Na obr. 2.11 můžete vidět tvar housenky v závislosti na velikosti svařovacího napětí.

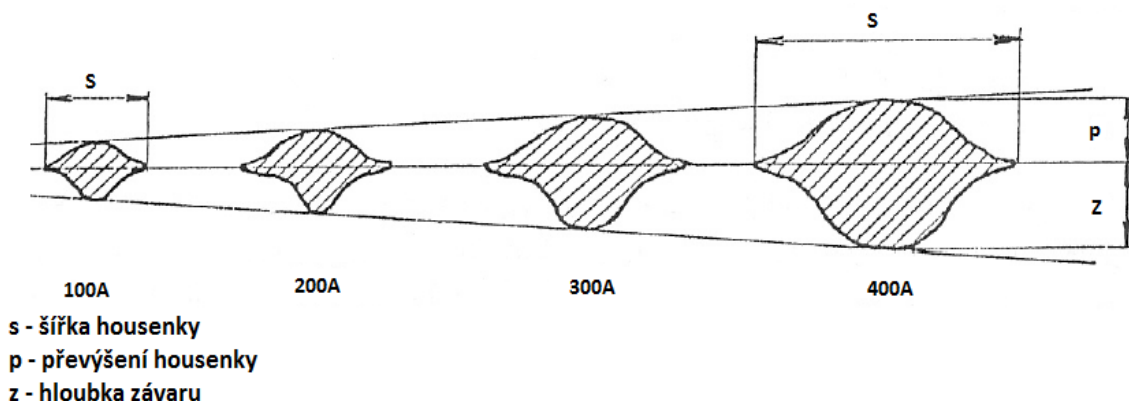


Obr. 2.11 Závislost tvaru housenky na napětí [12]

2.6.2. Svařovací proud

Svařovací proud stejně jako svařovací napětí má velký vliv na přenos kovu v elektrickém oblouku. Proud ovlivňuje hlavně tvar a průřez svarové housenky. Na obrázku 2.12 můžete vidět závislost intenzity proudu na tvaru svarové housenky. Pokud stoupá hodnota svařovací proudu, zvětšuje se proudová hustota, tekutost a velikost svarové lázně, ale hlavně se zvětšuje výkon odtavení. Při zachování stejného napětí a

zvětšení proudu dochází k nárůstu hloubky závaru a k malému růstu šířky a převýšení housenky. Svařovací proud výrazně ovlivňuje frekvenci a objem kapek kovu a síly působící na kapku.



Obr. 2.12 Závislost tvaru housenky na proudu [12]

2.6.3. Proudová hustota

Vyjadřuje zatížení přídavného drátu proudem s ohledem na průřez drátu a její jednotka je definovaná v $A \cdot mm^{-2}$. Čím menší průřez drátu, tím se zvětšuje proudová hustota. Proudová hustota ovlivňuje hloubku závaru a výkon odtavení. Při běžném typu svařování MIG/MAG se tato hustota pohybuje v rozmezí $80 - 350 A \cdot mm^{-2}$ pro drát v rozmezí $0,8 - 1,2 mm$. Při použití plněných drátů se hodnota proudové hustoty zvětšuje zhruba třikrát.

2.6.4. Druh a polarita svařovacího proudu

Pro svařování metodou MIG/MAG se používá stejnosměrný proud zapojený na elektrodách. Při zapojení na kladný pól zdroje vzniká nepřímá polarita, která se vyznačuje vyšší hloubkou závaru, malým převýšením a poměrně širší housenkou. Používá se hlavně pro plné přídavné materiály.

Zapojíme-li elektrody na záporný pól, vzniká přímá polarita, která se používá především pro plněné materiály. Přímá polarita způsobuje zmenšení hloubky závaru a šířky a převýšení housenky rostou.

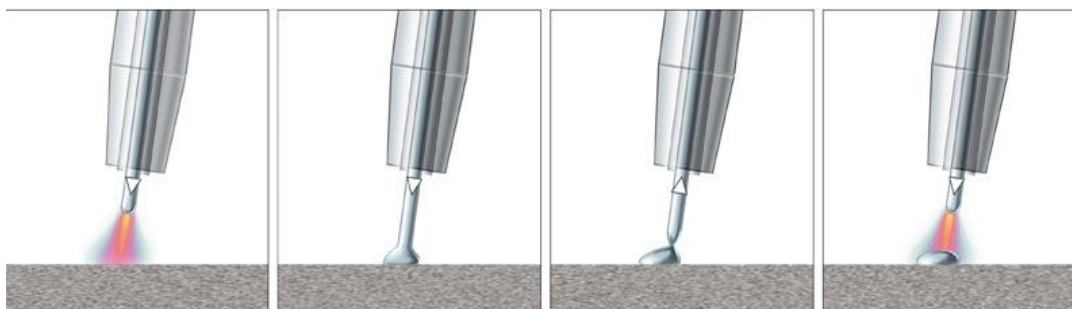
2.7. Speciální techniky svařování metody MIG/MAG [5], [6], [8], [12]

Tato kapitola se bude zabývat moderními metodami svařování, mezi které patří studené svařování, využití laseru, svařování bez ochranné atmosféry, tandemové svařování a MIG pájení pozinkovaných plechů.

2.7.1. Metoda CMT – cold metal transfer

CMT je nazýváno studeným svařováním, kde nedochází k velkým tepelným deformacím. Princip této metody je založen na tavení se elektrodě v ochranné atmosféře, kde nastane horká fáze hoření oblouku. Při této fázi dojde k tavení drátu a základního materiálu. Potom následuje studená fáze procesu, kdy po kontaktu nataveného drátu

s tavnou lázní se sníží intenzita proud a drát je mechanicky vrácen do hubice. Na obrázku číslo 2.13 můžete vidět ukázkou pohybu drátu u metody CMT.



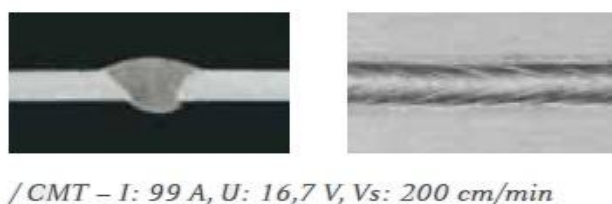
Obr. 2.13 Pohyb drátu u metody CMT [6]

Tato metoda podporuje správné oddělení kapky bez rozstříku. Proces je digitálně řízen a zpětný pohyb drátu probíhá zhruba 70 krát za sekundu. Řídící procesor má zpětnou vazbu a udržuje konstantní vzdálenost a rozměr housenky bez závislosti na podmínkách svařování.

Výhody technologie CMT:

- nízké tepelné zatížení,
- dobrá přemostitelnost spáry,
- malé tepelné deformace,
- bez rozstříkový přechod materiálu.

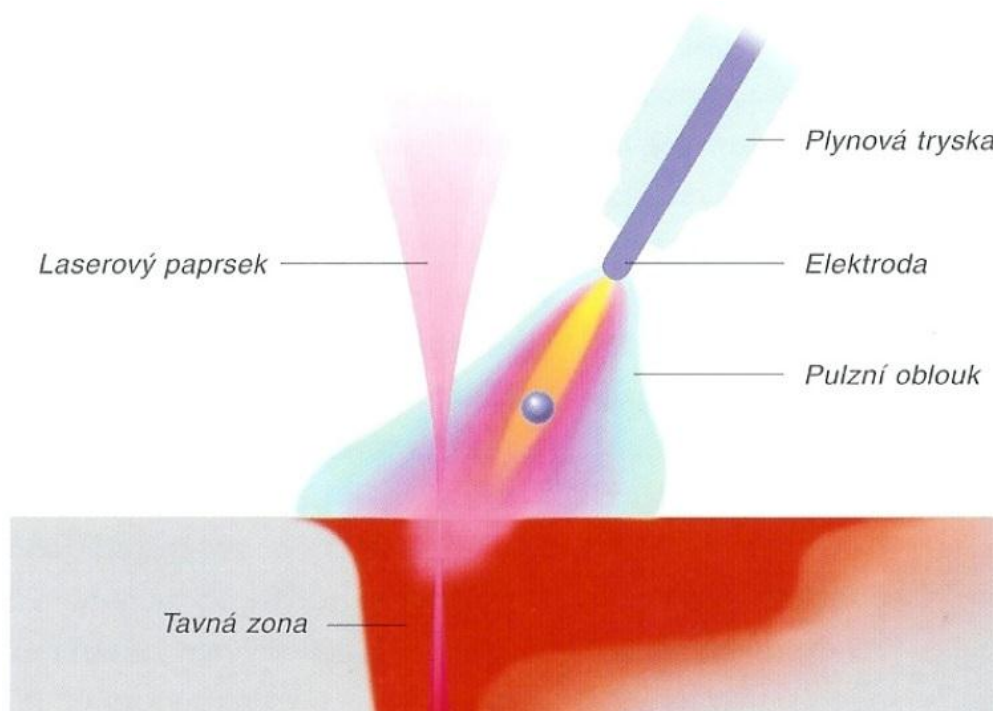
Tento proces je využíván v automatizovaných procesech pro svařování tenkých plechů z oceli a hliníku (0,8mm) nebo také pro pájení pozinkovaných plechů. Tato metoda má největší využití v automobilovém a leteckém průmyslu, ale i v kovovýrobě. Na obrázku číslo 2.14 můžete vidět svar svařený metodou CMT.



Obr. 2.14 Svar metodou CMT [6]

2.7.2. Metoda Laserhybrid

Tato metoda využívá dvě technologie a to MIG a Laser svařování. Principem této metody je, že laserový paprsek a elektrický oblouk působí ve stejné svařovací zóně a vzájemně se podporují. Laserový paprsek do svarové lázně přivádí další teplo. Díky tomu vznikne velmi stabilní pracovní proces, který umožňuje téměř bezrozstříkové svařování. Na obrázku číslo 2.15 můžete vidět ukázkou metody Laserhybrid. Svařovací rychlost se pohybuje až do 9 m/min. Odtavovaný výkon se pohybuje v rozmezí 2 – 4 kg. hod⁻¹.



Obr. 2.15 Metoda Laserhybrid [12]

Výhody technologie Laserhybrid:

- nízké tepelné zatížení,
- malá tepelně ovlivněná oblast,
- úzký svar,
- nízké tepelné deformace,
- malá spotřeba přídavného materiálu.

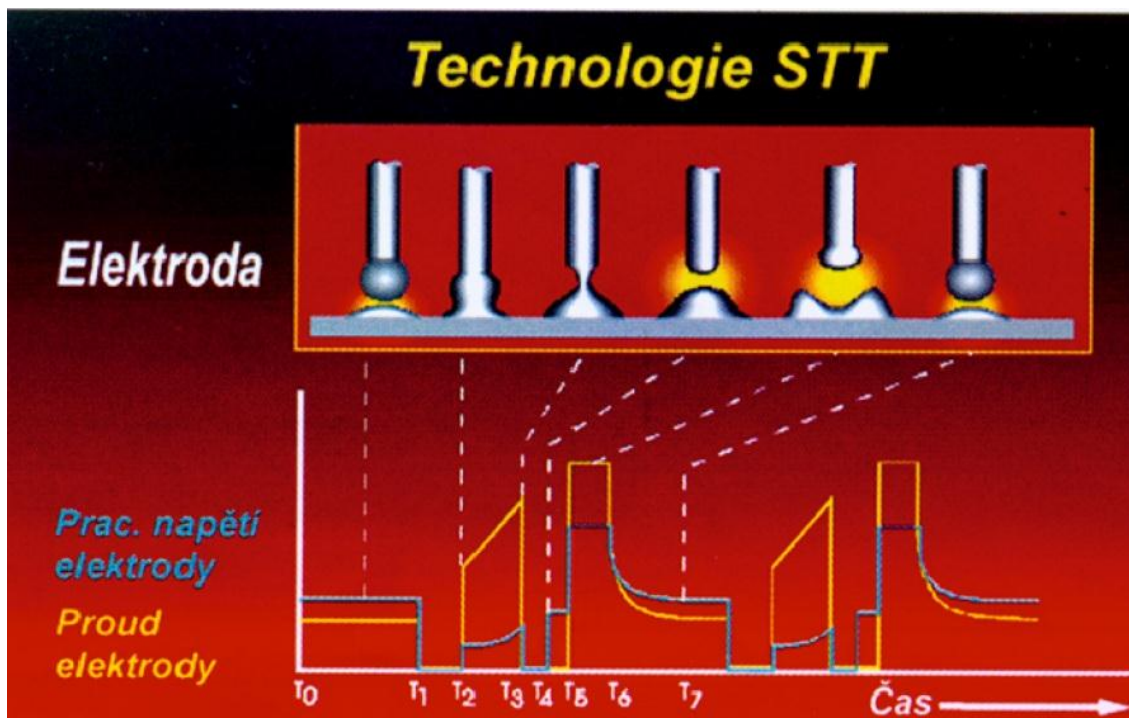
Metoda Laserhybrid se využívá především pro spojování tenkých plechů z povlakovaných a nepovlakovaných materiálů, vysokolegovaných ocelí a především pro spojení hliníkových slitin.

2.7.3. Metoda STT – surface tension transfer

Překlad zkratky STT znamená svařování s přenosem kovu řízeným povrchovým napětím. Je to proces plně řízený pomocí zpětné vazby, kde řídicí systém zdroje proudu mění svařovací parametry. Tyto parametry jsou v celém svařovacím procesu kontrolovány a to snímáním změny napětí v čase. Měření změny napětí je prováděno detektorem $\frac{dV}{dt}$. Detektor snímá změnu závislosti odporu na napětí při zaškrcování

krčku odtavující se kapky. Tento proces má nastavenou základní hodnotu proudu v rozsahu 50 – 120 A, zatím co hodnota horního proudu dosahuje až 450 A dle druhu svařovaného materiálu a průměru elektrody.

Průběh procesu STT můžete vidět na obrázku 2.16.



Obr. 2.16 Průběh metody STT [12]

Výhody metody STT:

- svařovací proces plně řízený procesorem,
- malé množství vneseného tepla,
- minimální rozstřík,
- velmi dobrý vzhled svaru,
- vysoká účinnost procesu,
- snížení množství škodlivých zplodin při svařování,
- přemostění velkých mezer,
- jednoduchost nastavení parametrů.

Metoda STT se používá především pro svařování nelegovaných, nízkolegovaných, vysoce legovaných a galvanicky pokovených ocelí, kde je potřebné svařovat bez rozstříku. Dále je tento proces aplikován pro navařování tvrdonávarů na hrany a plochy, ale i pro přemostování velkých mezer anebo pro svařování kořenových housenek.

2.7.4. Metoda tandemového svařování

Tato metoda bývá používána především pro mechanizované svařování. Principem je využití dvou drátových elektrod, které jsou umístěné v jedné plynové hubici. Obě elektrody jsou vzájemně izolovány, jsou napájeny vlastním zdrojem, ale mají jeden řídicí systém. Pro svařování je využito impulsního proudu a jedna elektroda je časově posunutá o počátek nárůstu proudu v pulsu. Tím je tedy dosaženo toho, že na jedné elektrodě dochází k odtavení kapky a na druhé je proud na základní úrovni. Tandemové

svařování dosahuje výkonu odtavení až 30 kg / hod. Na obrázku číslo 2.17 je ukázáno tandemové svařování.



Obr. 2.17 Tandemové svařování [8]

Výhody tandemového svařování:

- velmi stabilní oblouk,
- řízené odkapávání,
- nízké tepelné zatížení,
- vzhledově rovnoměrný svar po celé délce,
- delší doba odplynění zajišťuje dokonalejší odplynění.

Použitelnost tandemového svařování je pro automobilový a dodavatelský průmysl, stavbu lodí, stavebních strojů a kolejových vozidel.

3. Teoretická část – svařovací roboty a manipulátory

V této kapitole budou blíže rozebrány svařovací roboty a jejich charakteristické vlastnosti, mezi které patří kinematické pohyby, nosnost, druhy pohonů, pracovní hlavice, snímače, řídicí systém a programování.

3.1. Úvod do automatizace a robotizace ve svařování [1], [18]

Automatizace a robotizace výroby používá různé technické prostředky, které mají za úkol pracovat samočinně na dílčích nebo celých pracovních procesech podle předem stanoveného programu. Ve svařování musíme automatizaci chápat komplexně a je možné ji řešit univerzálními, jednoúčelovými zařízeními nebo jejich vzájemnou kombinací.

Využití automatizace a robotizace je především ve velkosériové výrobě, ale v posledních letech se uplatňuje i v kusové a malosériové výrobě. Díky využití těchto technologií je při práci vyloučen lidský faktor, a proto je následně zvyšována spolehlivost a výkonost.

Výhody automatizace a robotizace ve svařování oproti ručnímu svařování:

- Zvýšení kvality, odstranění nebo snížení poruchových veličin svařovacího procesu (kolísání délky oblouku, nerovnoměrná rychlost),
- Zvýšení produktivity svařování, přesnosti a především snížení výrobních nákladů,
- Nepřetržitost práce, eliminace únavy,
- Možnost dálkového ovládání robotu,
- Možnost pracovat v těžkých podmínkách atd.

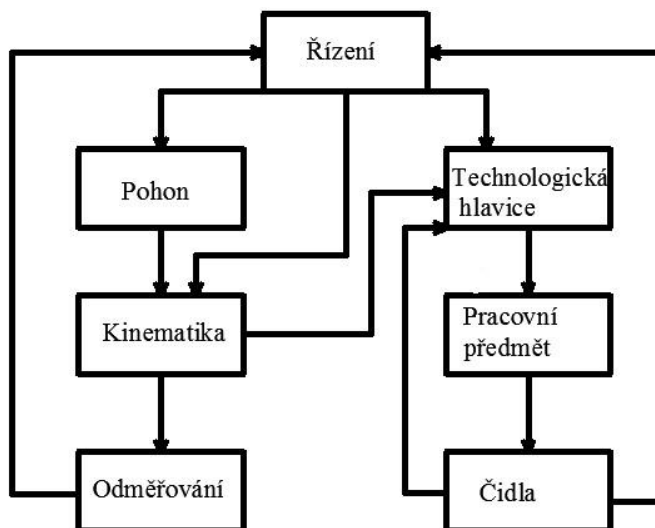
3.2. Průmyslové roboty a manipulátory pro svařování [1], [18]

Veškerá automatizace a robotizace ve svařovacích procesech je vykonávána pomocí manipulátorů, automatických rukou a průmyslových robotů. Tyto zařízení mají podobné pohyby jako lidská ruka, kterou se v tomto případě snaží napodobovat.

Manipulátor je ručně nebo strojně řízené manipulační zařízení, které má pevný program.

Průmyslový robot je automatické zařízení, které je volně programovatelné. Je složen z pohonu, řízení, odměřovacího systému, kinematického mechanismu a výstupní technologické hlavice.

Svařovací průmyslové roboty a manipulátory mají za úkol umožňovat pohyb svařovacího hořáku po předepsané dráze, která je dána programem. V programu jsou určeny svařovací parametry, dráha, natočení manipulátorů atd. Svařovací roboty bývají používány pro robotizované linky anebo jako robotizovaná pracoviště. Na obr. 3.1 můžete vidět blokové schéma průmyslového robotu.



Obr. 3.1 Blokové schéma průmyslových robotů [1]

3.2.1. Dělení průmyslových robotů a manipulátorů

Průmyslové roboty a manipulátory jsou rozděleny podle složitosti jejich provedení a stupně řízení. Na obr. Můžete vidět blokové schéma rozdělení manipulačních zařízení.

Jednouúčelové manipulátory bývají především součástí obsluhovaného stroje a jsou řízeny strojem. Pohon je zajištěn odvozením pohybu od stroje.

Univerzální manipulátory mají vlastní řízení a mnohem větší rozsah manipulačních možností. Velmi důležité zde jsou kinematické podmínky a rozsah jednotlivých pohybů.

Synchronní manipulátory (teleoperátory) je to zařízení, kde řízení je zajištěno pracovníkem. Tyto manipulátory slouží jako zesilovací ústrojí pro zesílení silových a pohybových veličin, dle pokynů řídicího pracovníka.

Programovatelné průmyslové roboty a manipulátory jsou zařízení s programovacím ústrojím. Průmyslové roboty a manipulátory dále jen PRam můžeme rozdělit do tří skupin.

1. PRam s pevným programem

Tyto zařízení pracují na základě programu, který se během činnosti nemění.

2. PRam s proměnlivým programem

Možností těchto zařízení je přepínání a volba programu dle okamžité situace, ve které se právě nachází.

3. Kognitivní roboty

Jsou vybaveni speciálními zařízeními, která jim umožňují vnímání a racionální myšlení.

PRam vykonávají činnosti manipulačního charakteru anebo výrobně technologického charakteru, kde jsou kladeny požadavky na provedení manipulačních mechanismů, počtu stupňů volnosti a úroveň řízení. Roboty jsou zpravidla mnohem složitější než manipulátory a jsou řízeny počítačem, většinou dle vlastního programu.

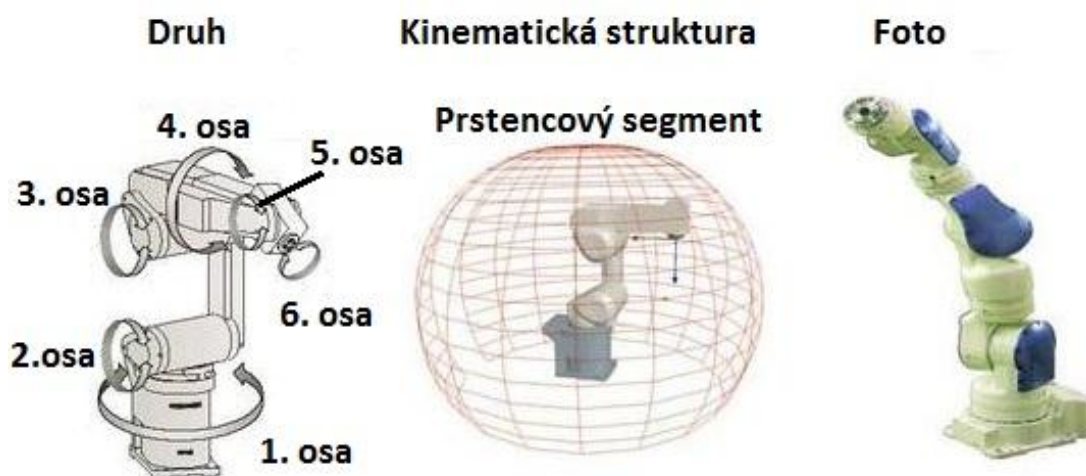
3.3. Kinematické pohyby průmyslových robotů [1], [9], [18]

Svařovací roboty mají většinou 6 – 7 stupňů volnosti pro dosažení správné polohy. Svými pohyby se snaží napodobovat pohyb lidské ruky. Každý pohyb robota je složen z určitých kinematických operací, které jsou dány programem. Tyto operace odpovídají kinematickému schématu a jsou popsány třemi základními složkami:

- Kinematickou základnou
- Kinematikou polohovacího ústrojí
Tím je myšlena kinematika mechanické ruky, která je tvořena obvykle třemi pohybovými jednotkami.
- Kinematickým orientačním ústrojím
Zde patří kinematika zápěstí, které slouží pro orientaci nástroje vůči souřadnicovým osám a je ukončeno výstupní hlavicí.

Všechny pohyby robotů jsou tvořeny na základě kombinace různých přímočarých nebo rotačních pohybů.

Průmyslové roboty používají 4 druhy zadávání souřadnic. U svařovacích robotů se používá úhlový systém se třemi rotačními dvojicemi. Tento druh zadávání souřadnic je velice podobný sférickému zadávání souřadnic. Pohyb technologické hlavice je odvozen od tří rotačních os. Na obrázku číslo 3. 2. je ukázka kinematiky robota se 6 osami. Pracovním prostorem svařovacích robotů je torusový prstenec, který můžete vidět na obrázku 3.2.



Obr. 3.2 Kinematická struktura robota se 6 osami [9]

3.4. Pohony průmyslových robotů [1], [18]

Pohybové úkony u svařovacích robotů jsou vykonávány v jednotlivých souřadnicových osách. Tyto pohony mohou být hydraulické, pneumatické a elektrické.

3.4.1. Hydraulický pohon

Tento pohon má velký výkon při relativně malých hydraulických komponentech. Hydraulický pohon umožňuje plynulé řízení rychlosti a libovolný počet pracovních mezi poloh a dále je vyznačován velkou tuhostí a vysokou účinností pohonu. Hlavním nedostatkem je potřeba hydraulického agregátu, který je závislý na změně viskozity média.

3.4.2. Pneumatický pohon

Je využíván u robotů s menšími výkony s jednoduchými pracovními cykly. Dosažení rychlých přímočarých pohybů s velkými zdvihy patří mezi největší výhody tohoto pohonu. Dále se vyznačuje konstrukční jednoduchostí, spolehlivostí a jednoduchým rozvodem energie. Naopak řízení rychlosti pohybu a polohy zastavení patří spolu s velkou poddajností v důsledku stlačitelnosti vzduchu, nižší přesností polohování a většími rozměry zařízení mezi hlavní nevýhody tohoto pohonu.

3.4.3. Elektrický pohon

Tento druh pohonu je stále více využíván díky progresivnímu vývoji elektrických prvků. Mezi hlavní výhody patří především snadný rozvod energie, který je dostupný z veřejných sítí, a také vysoká přesnost polohování díky použití krokových motorů. Další výhodou je jednoduchost spojení s řídicím systémem, kde není potřeba zavádět převodník energie. Elektrické pohony jsou i po cenové stránce výhodnou variantou, jelikož jsou vyráběny z typizovaných prvků, které mají snadnou údržbu. Tento pohon má poněkud složitější realizaci přímočarých pohybů, což je jeho určitou nevýhodou.

3.5. Snímače [1], [18]

Jsou to prvky informačního systému průmyslových robotů, které slouží jako hlavní funkční část vnímacího subsystému. Snímače umožňují sběr a přenos informací o stavu pracovních částí průmyslových robotů (např. odměřování polohy) a informují řídicí systém o stavu a změnách vnějšího prostředí, ve kterém se robot nachází. Snímače se skládají z jednoho nebo více senzorů (čidel), což jsou prvky, které provádí vlastní snímání veličin a naměřená data převádí do řídicího systému pomocí elektrického signálu. Signál je dále zpracován řídicím systémem na výstupní signál, který následně působí na ovládací prvky pohybových částí robotů. Sensory (čidla) se dělí na senzory pro vnitřní a vnější informace.

Senzory vnitřní informace:

Slouží pro sledování činností, které vykonává samotný průmyslový robot. Jedná se především o snímání informací o poloze a změně polohy, o rychlosti pohybu jednotlivých členů robotu a o funkčních parametrech pohonu.

Senzory vnější informace:

Slouží pro sledování stavu pracovního prostředí a interakci průmyslového robotu s tímto prostředím. Jedná se o snímání informací o relativní poloze výstupní hlavičky a předmětu v prostoru, o rozměrech, tvaru a vlastnostech předmětu v prostoru, o

parametrech pracovního prostoru. Dále jsou snímány hodnoty hlavních technologických svařovacích parametrů (proud, napětí, vnesené teplo, délka oblouku).

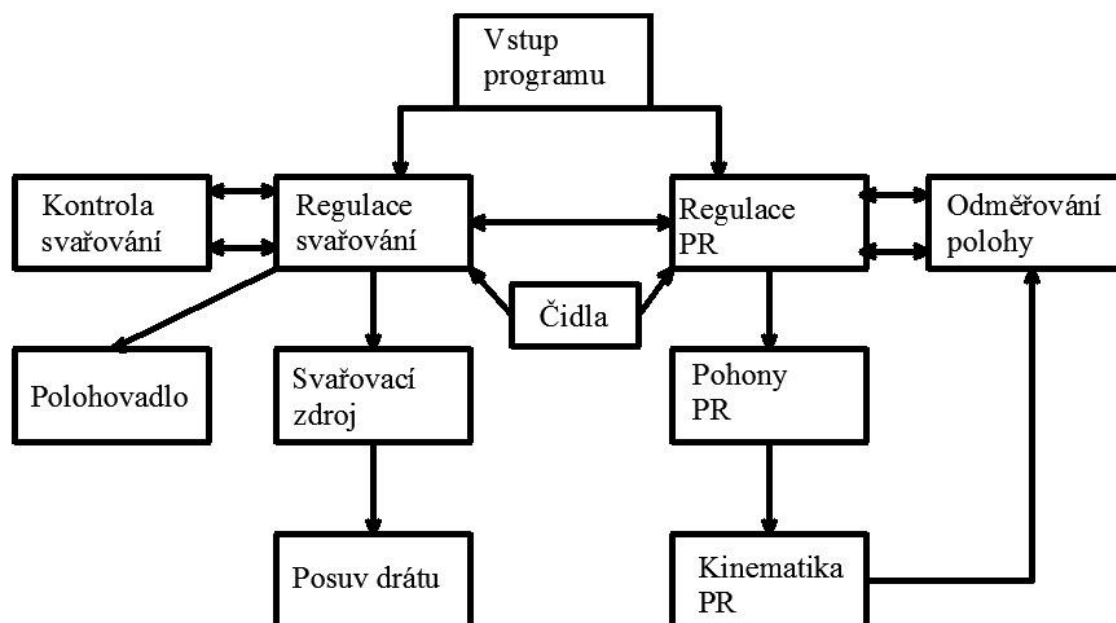
Dle charakteru výstupního signálu dělíme snímače na:

- Analogové:
Do této kategorie patří snímače odporové, indukční a kapacitní.
- Číslicové:
Do této kategorie patří impulsní a s kódovými obrazci.

3.6. Řídicí systémy průmyslových robotů [1], [18]

Řídicí systém průmyslových robotů slouží pro řízení jednotlivých průběhů manipulačních nebo technologických operací. Tento sled operací je nazýván pracovním cyklem, který je vlastně sledem pohybů. Řídicí systém ovládá polohu výstupní hlavičky, trajektorii dráhy, rychlost pohybu a různé další pohyby na základě zadaného programu, kterým je vybaven. Programem se rozumí řada povelů, která má daný přesný sled operací v časové návaznosti. Dále řídicí systém zpracovává informace od senzorů a následně je vyhodnocuje a předává jako výstupní signál zpět do jednotlivých pohonů.

U svařovacích robotů musí řídicí systém zajistit celý svařovací proces tak, aby bylo dosaženo požadované kvality spoje. Dochází tedy k řízení trajektorie technologické hlavičky a parametrů svařování (regulace proudu, napětí, délky oblouky atd.). Na obrázku číslo 3.3 můžete vidět blokové schéma struktury řízení průmyslového robotu pro obloukové svařování.



Obr. 3.3 Blokové schéma řízení průmyslového robotu [1]

Řídicí systémy se rozdělují na dvě základní části:

- Řídicí systémy s pevným programem

Program se během chodu robotu nebo manipulátoru nemění a je pořád stejný. Tyto řídicí systémy mohou být cyklové, souřadnicové, souvislé nebo kombinované. Cyklové řídicí systémy bývají složeny z logických obvodů, které jsou realizovány pomocí elektrických nebo pneumatických prvků. Souřadnicové a souvislé systémy zastávají funkci polohování manipulátoru a robotů bez zpětné vazby.

- Řídicí systémy s pružným programem

Program je uložen na nějakém druhu přenosného média (disku, pásce atd.). Změna programu je prováděna výměnou přenosného média nebo pouze jeho úpravou anebo přeprogramováním programu.

Řídicí systémy můžeme dělit podle souslednosti úkonů:

- Řídicí systém otevřený

Tento řídicí systém zajišťuje zvolený sled úkonů bez zpětné kontroly jejich provedení. Vstupní a výstupní veličiny nejsou zabezpečeny zpětnou vazbou, a proto není možné zamezit vlivu náhodných veličin.

- Řídicí systém uzavřený

U tohoto řídicího systému dochází ke sledování jednotlivých úkonů, které jsou podmínkou pro pokračování dalšího pracovního cyklu. Probíhá zde měření výstupních veličin, které jsou následně vyhodnoceny a použity pro vstupní veličiny zpětné vazby. Díky sledování jednotlivých úkonů dochází např. k okamžitým korekcím svařovacích parametrů, které mohou zabránit vzniku náhodné veličiny.

Řídicí systém dále slouží pro řízení polohy a pohybu výstupní technologické hlavice. Tyto druhy řízení dělíme:

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

Tento typ řízení dosahuje požadovaného bodu v prostoru postupnými pohyby v jednotlivých pohybových osách. Pohyby mohou probíhat současně, protože nejsou vzájemně vázány. Bodové řízení se používá pro odporové a bodové svařování.

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

Je zde zajištěn pohyb po předepsané křivce, při současných pohybech v jednotlivých osách. Díky tomu je přechod z jednoho bodu do druhého plynulý dráze. Řízení dráhy je propojeno s řízením rychlosti pohybu. Tento druh řízení je používám pro obloukové svařování.

3.7. Programování průmyslových robotů [1], [18]

Programováním je myšleno ukládání informací o sledu úkonů o požadovaných polohách, trajektoriích, o rychlostech pohybu, informace o svařovacích parametrech atd. Princip programování je takový, že se nejprve sestaví algoritmus svařovacího cyklu, kde jsou nastaveny posloupnosti operací s jejich instrukcemi. Po zápisu programu do

řídícího systému robota je v programovacím jazyce robota vytvořen program s NC kódem. Pro programování je využíváno následujících způsobů:

- Prvotním předváděním

U toho programování jsou jednotlivé polohy výstupní hlavice nastaveny a doladovány při nízkých pohybových rychlostech obsluhou stroje. Sled pohybu je určen tím, jak jsou za sebou uspořádány jednotlivé pohyby výstupní hlavice. Po celém naprogramování a uložení programu svařence je celý postup opakován při reálných rychlostech dle programu.

- Učením

Principem tohoto programování je řízení centrálním počítačem, kde je výstupní hlavice plynule vedena přímo rukou programátora po zadané trajektorii podle požadované rychlosti. Dle pohybu jsou odpovídající parametry rozloženy a uloženy v reálném čase do paměti řídícího systému, kde dojde k uložení programu.

3.8.Kritéria pro uplatnění průmyslových robotů ve svařování [1]

Využití průmyslových robotů v oblasti obloukového svařování je hlavně proto, aby bylo dosaženo zvýšení kvality svaru a produktivity svařovací operace. Při návrhu robotizovaného pracoviště musíme vycházet z hodnot svařovacího robota, svarku a celkové ekonomie projektu.

Svařovací robot a polohovadlo jsou dány svými technickými parametry, které nám určují, zda je zvolený svarek možný na daném pracovišti svařit. Mezi další důležité faktory patří ukazatel životnosti robota a jeho poruchovost.

Při hodnocení svarku musíme vycházet ze zvoleného robotizovaného pracoviště, kde musí být provedena kontrola technologičnosti, zda je možné svarek svařit a pokud ne, tak navrhnout možnou změnu konstrukce. Řeší se především dostupnost svarů, upnutí svařovaných dílců, přídavné materiály atd.

Pro hodnocení ekonomie nasazení výrobku na robotizované pracoviště je důležité vycházet z úspory na pracnosti vzhledem k ručnímu svařování, která by měla být větší než 30 %.

4. Rozbor technologičnosti součásti – svařování [13], [14]

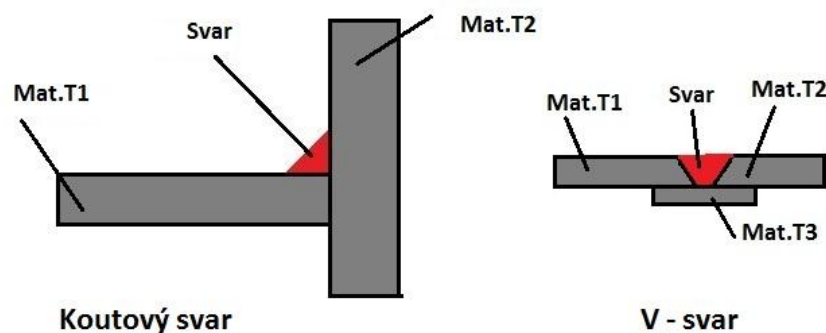
Vyráběná součást podkovového tvaru o rozměrech 1620 x 1640 mm je současně svařována ruční metodou 135 (MAG) a metodou 141 (TIG). Tento svařenec vznikne postupným svařením 12 různých dílců, které jsou vyrobeny z válcovaných plechů z materiálu S235JGR2 (11 321.1). Tento materiál má dle strojírenských tabulek zaručenou svařitelnost a je vhodný pro svařování. Tloušťky materiálu jsou od 3 do 6 mm. Na svařenci je použito 7 typů svarů, které jsou uvedeny v tabulce číslo 4.1.

Tab. 4.1 Použité svary na svařenci [13]

Typ svaru	Schématické zobrazení	Název svaru	Použitelná metoda	Tloušťka materiálu
		Plochý koutový svar	3, 111, 131, 135, 141	$t \geq 2 \text{ mm}$
		Vydutý koutový svar	3, 111, 131, 135, 141	$t \geq 2 \text{ mm}$
		Převýšený koutový svar	3, 111, 131, 135, 141	$t \geq 2 \text{ mm}$
		½ plochý V svar	111, 131, 135, 141	$3 \leq t \leq 10 \text{ mm}$
		½ vydutý V svar	111, 131, 135, 141	$3 \leq t \leq 10 \text{ mm}$
		Plochý I svar	111, 141	$t \leq 8 \text{ mm}$
		Děrový svar	3, 111, 135, 141	-

Dle uvedených typů svarů použitých na svařenci z tab. 4.1 vyplývá, že plochý I svar není pro metodu 135 na robotickém pracovišti vhodný a proto bude zaměněn za ½ V svar.

Z důvodu svařování svařence na robotickém pracovišti je velmi důležité zhodnotit i správné provedení svaru. Na obrázku číslo 4.1 jsou ukázky provedení svarů pro robotizované svařování. Všechny svary jsou vhodné pro robotické svařování.



Obr. 4.1 Ukázka provedení svarů pro robotizaci [14]

Z výkresové dokumentace svařence, která je v příloze č.2 bylo následně vyhodnoceno, že všechny svary uvedené na výkrese nejsou možné zhotovit na robotizovaném pracovišti. Pozice 123 musí být přivařena na svařenec již při zakládání dílce do svařovacího přípravku, jelikož slouží jako výztuha pro dosednutí pozice 115. Na tuto pozici musí být přivařena poz.121, která je přivařena na spodní straně tohoto dílce. Dále při zakládání pozice 113 do přípravku musí dojít k přivaření na pozici 111 z důvodu svarů pod poz. 115. Pro svaření pozice 120 na pozici 119 a 114 bude využito stávajícího přípravku pro ruční svařování z důvodů těžkého a složitého zapolohování dílců do svařovacího přípravku pro robotizované svařování a následnou špatnou dostupnost svařovací hubice. Ostatní svary budou svařeny na robotizovaném pracovišti.

Dle výkresové dokumentace jsou patrné podmínky zákazníka, že označené svary musí být olejotěsné. Díky tomu jsou na svařenci poměrně dlouhé koutové svary, které budou svařeny v 5 úsecích z důvodu deformace dílce.

5. Návrh dispozičního uspořádání pracoviště

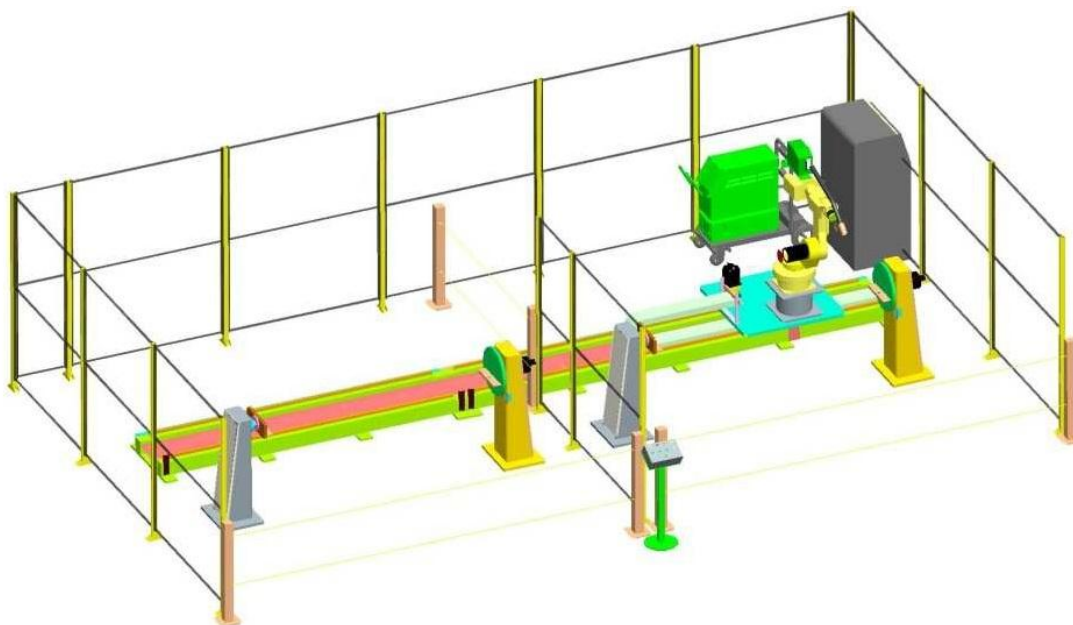
Při návrhu dispozičního uspořádání pracoviště musíme vycházet z rozměrové velikosti svařence. Tento výrobek je nejrozměrnějším svařencem ve firmě Hestego a. s. Na robotizovaném pracovišti budou svařovány i další výrobky této společnosti, a proto musí být uspořádání pracoviště co neoptimálnější. Další tvary a rozměry svařenců, které tato společnost vyrábí, jsou především krabicového tvaru o rozměrech (d x š x v) 2200 x 1000 x 800 mm.

Pro návrh pracoviště je důležité vycházet z průtočného průměru součásti s přípravkem. Dle navrhnutého přípravku je zapotřebí průtočného průměru 1750 mm a upínací rozteče 2500 mm. Nosnost polohovadla by se měla být minimálně 500 kg.

Podle stanovených kritérií byly osloveny firmy zajišťující dodávání robotických svařovacích buněk a dle jejich návrhů byly jako nejvhodnější vybrány 4 varianty dispozičního uspořádání robotické svařovací buňky.

5.1. První varianta uspořádání pracoviště [4], [22]

Toto pracoviště je vybaveno dvěma pracovními stanicemi, které jsou umístěny paralelně. Na obrázku číslo 5.1 můžeme vidět 3D uspořádání pracoviště pro variantu 1.



Obr. 5.1 Uspořádání pracoviště pro variantu 1[22]

Princip pracovní činnosti je takový, že na jedné stanici se svařuje a na druhé se vyjímá svařenec a zakládá nový. U tohoto pracoviště je důležité, aby vyložení a založení svařence nebylo delší, než svařovací cyklus na druhém pracovišti. Tato pracovní stanice je vybavena dvěma jednoosými polohovadly, která budou přikotveny k zemi. Tato polohovadla budou muset mít speciální ukotvení, aby bylo zajištěno otočení průměru 1720 mm. Svařovací robot je připevněný na pojezdovém vozíku, který je umístěn na pojezdové dráze.

Díky využití pojezdové dráhy se zvyšuje dostupnost robota na maximum. Při této variantě je možnost mít svařovací zdroj a přídatný materiál upevněn na pojezdu robota

pro jednodušší vedení kabeláže. Pro čištění svařovací hubice je u svařovacího zdroje umístěna čistící stanice hořáku.

Svařovací buňka je vybavena světelnými závory, které zabraňují vstupu operátora do stanice, pokud probíhá svařování. Celé pracoviště je oploceno bezpečnostním oplocením se servisním vstupem. Buňka je postavena tak, aby odpovídala českým bezpečnostním předpisům pro robotické svařovací buňky. Odsávání můžeme být řešeno centrálním odsávacím systémem nebo pomocí dvou digestoří. Rozměry celého pracoviště jsou v příloze č. 3.

Parametry robota Fanuc AM 120 iC/10L:

- Poloměr dosahu: 2009 mm
- Přesnost polohování: $\pm 0,15$ mm
- Robot má 6° volnosti a duté rameno pro vedení kabelového svazku
- Nosnost 6. osy je 6 kg

Na obrázku číslo 5.2 je fotografie robota Fanuc AM 120 iC/10L



Obr. 5.2 Robot Fanuc AM 120 iC / 10L [4]

Parametry jednoosého polohovadla s opěrným koníkem:

- Maximální rozměry upínacího přípravku: 2500 x 1800 mm
- Rozsah otáčení: 740°
- Maximální rychlost otáčení: 22 ot / min
- Opěrný koník s dutou hřídelí pro přívod energie
- Řízení pomocí servomotoru se synchronním řízením pohybu
- Ukotvení k podlaze

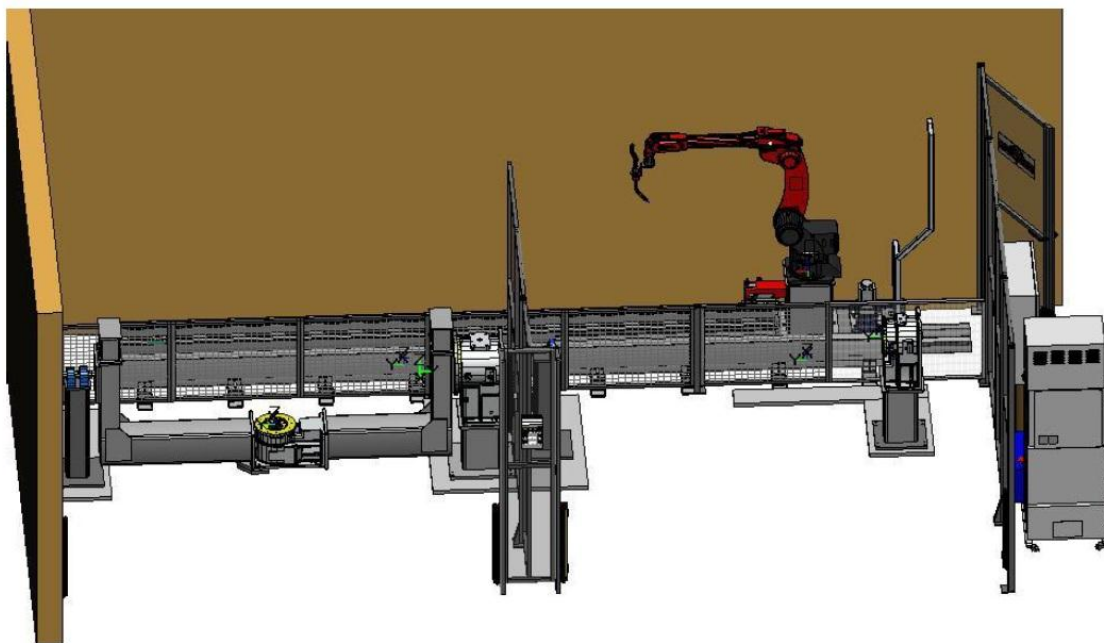
Parametry pojezdové dráhy

- Délka dráhy je 6 m
- Synchronní řízení dráhy s pohybem robota
- Řízení servomotorem

- Vozík dráhy je připraven pro ustavení svařovacího zdroje, sudu s drátem a čistící stanice

5.2.Druhá varianta uspořádání pracoviště [10], [20]

Pracoviště má dvě svařovací stanice, které jsou uspořádány vedle sebe. Robot je zde opět na pojezdové dráze. První stanice je vybavena jednoosým polohovadlem a druhá má dvousó polohovadlo. Na obrázku číslo 5.3 můžeme vidět 3D model uspořádání u varianty dva.



Obr. 5.3 Uspořádání pracoviště pro variantu 2 [20]

Princip pracovní činnosti je stejný jako u varianty 1. Na jednom pracovišti se vykládají a zakládají dílce a na pracovišti druhém se svařuje. Díky pohybu robota po pojezdové dráze získáme velkou využitelnost pracovního prostoru. Robot je přichycen na pojezdovém vozíku, který může nést robota, svařovací zdroj, sud s drátem a čistící stanici.

Bezpečnost svařovací buňky je řešena stejně jako u první varianty. Odsávání je možné řešit centrálně nebo pomocí digestoří. Rozměry celého pracoviště jsou přesně ukázány v příloze číslo 4.

Parametry robota Panasonic TA 1900 WG:

- Poloměr dosahu 1895 mm dosah ramene bez hubice
- Přesnost polohování $\pm 0,15$ mm
- Vedení kabeláže nad ramenem
- 6°volnosti
- Nosnost 6. osy 6 kg
- Speciální design ramene

Na obrázku číslo 5.4 je fotografie robota Panasonic TA 1900 WG



Obr. 5.4 Robot Panasonic TA 1900 WG [10]

Parametry dvouosého polohovadla:

- Průměr rotace polohovadla 3000 mm
- Nosnost polohovadla 500 kg
- Rychlost otáčení osy x je 20 ot / min a osa y 16 ot / min
- Ukotvení k podlaze

Parametry jednoosého polohovadla s opěrným koníkem:

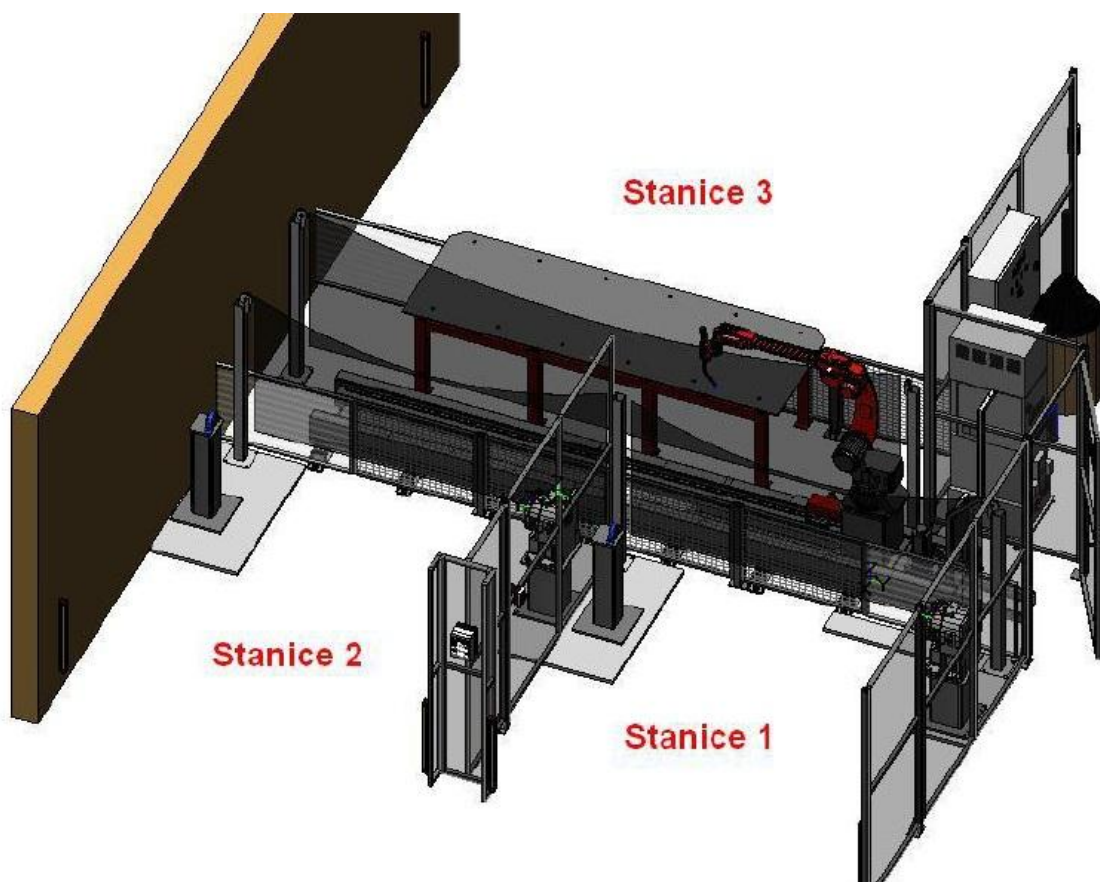
- Nosnost polohovadla 500 kg
- Rychlost otáčení 16 ot / min
- Opěrný koník s dutou hřídelí pro přívod energetických medií
- Řízení od řídicí jednotky Panasonic pro externí osy
- Ukotvení k podlaze

Parametry pojezdové dráhy

- Délka dráhy je 5 m
- Synchronní řízení dráhy s pohybem robota
- Řízení servomotorem
- Vozík dráhy připraven pro ustavení svařovacího zdroje, sudu s drátem a čistící stanice

5.3. Třetí varianta uspořádání pracoviště [20]

Pracoviště 3 je rozšířenou variantou prvního pracoviště a to tak, že přibude jedno pracoviště. Uspořádání je ukázáno na obrázku číslo 5.5.



Obr. 5.5 Uspořádání varianty 3 [20]

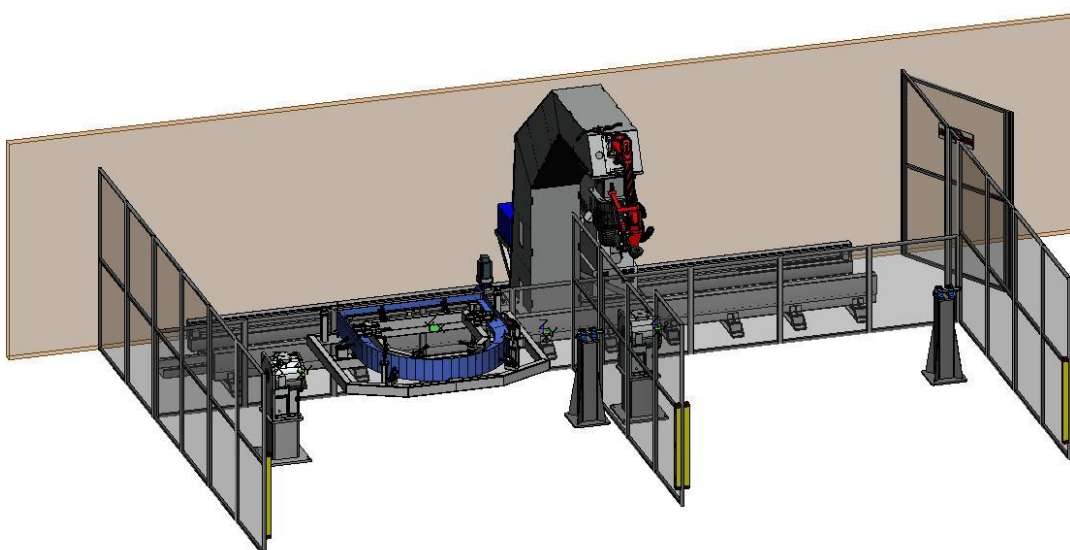
V tomto uspořádání jsou dvě stanice vedle sebe s jednoosými polohovadly. Robot se pohybuje po pojezdové dráze. Toto uspořádání je rozšířeno o pevný stůl, který je určen pro svařování jednoduchých dílců.

Stanice 3 má sloužit také pro vykrytí času při vkládání a vykládání dílců, u kterých je doba přichystání stanice do dalšího pracovního cyklu delší. Vybavení této varianty je stejné, jako u varianty 2 akorát není použito dvouosé polohovadlo. Místo něj je použito druhé jednoosé polohovadlo. Pevný stůl má rozměry 3000 x 1250 mm.

Rozměrově je tohle pracoviště větší díky třetímu pracovišti. V příloze číslo 5 je ukázáno přesné rozměrové uspořádání pracoviště a dosah pracovní obálky robota.

5.4. Čtvrtá varianta uspořádání pracoviště [20]

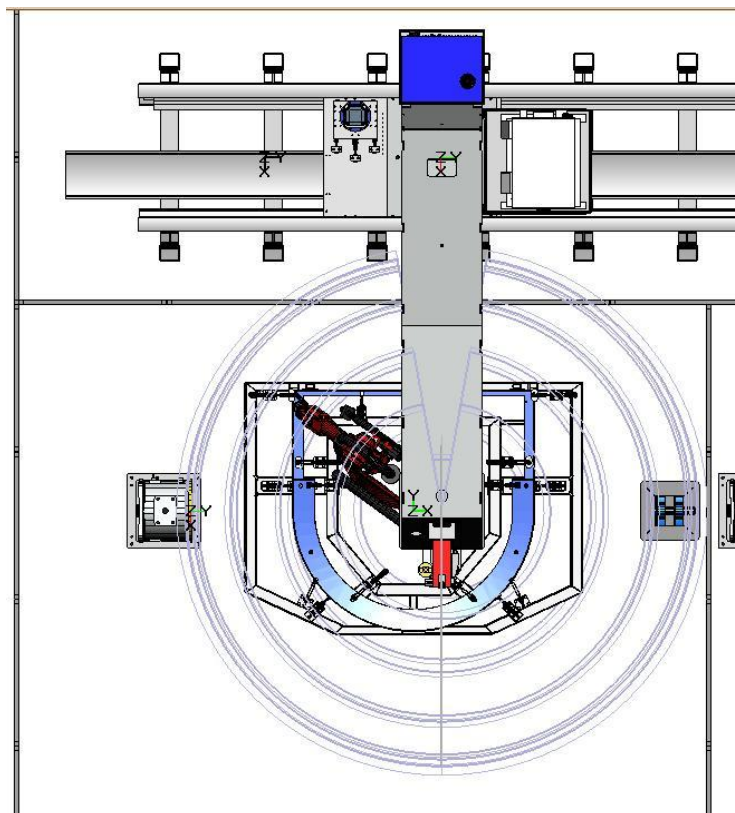
Pracoviště je řešeno podobně jako první varianta. Pracoviště obsahuje dvě pracovní stanice s jednoosými polohovadly. Robot je zde umístěn na pojezdové dráze a zavěšen na C rámu. Detail celého pracoviště je zobrazen na obrázku číslo 5.6. Toto uspořádání je dle pana Tymráka nejlepší variantou uspořádání pro svaření svařence. Díky použití C rámu je pracovní obálka robota větší, jelikož se pohybuje přesně nad svařencem. Detail pracovní obálky je ukázán na obr. 5.7.



Obr. 5.6 Uspořádání pracoviště varianty 4 [20]

Vybavení této varianty je stejné jako u varianty číslo 3, akorát zde není třetí pracoviště s pevným stolem. Jako další nadstandartní vybavení je zde právě konstrukce C rámu, která je dodávána firmou zajišťující realizaci pracoviště.

Zabezpečení této varianty je stejné, jako u předchozích variant jsou zde použity bezpečnostní závory.



Obr. 5.7 Detail pracovní obálky robota zavěšeného na C rámu [20]

6. Návrh vybavení svařovací buňky

V této kapitole se budu zabývat návrhnutím svařovacího zdroje a doplňkovým vybavením svařovací buňky.

6.1.Svařovací zdroj [20], [22]

Svařovací zdroj je dodáváný podle toho, která firma provádí dodávku pracoviště, jelikož každý dodavatel preferuje pro svou svařovací buňku jiného dodavatele svařovacích zdrojů.

6.1.1. Svařovací zdroj pro variantu 1

Zde je navrhnut svařovací zdroj Migatronic Sigma 400 C - V - GALAXY – ROBO. Firma Migatronic patří mezi světoznámé výrobce svařovacích zdrojů. Tento svařovací zdroj se vyznačuje těmito hlavními parametry:

- Je to plně řízený digitální impulsní inventar, který podporuje režim zkrat, sprcha, DUOPLUS puls a pájení pozinkovaných plechů
- Umožňuje studené svařování díky technologii IAC
- Obsahuje patentovaný systém úspory plynu
- Integrovaný vodní modul chlazení
- Zatěžovatel při 100% je 290 A

6.1.2. Svařovací zdroj pro variantu 2, 3, 4

Pro tyto varianty je svařovací zdroj stejně jako svařovací robot dodáváný od firmy Panasonic. Tato firma Panasonic patří mezi dodavatele, kteří si celou svařovací buňku osazují vlastními výrobky. Svařovací zdroj Tawers WG se vyznačují těmito technickými parametry:

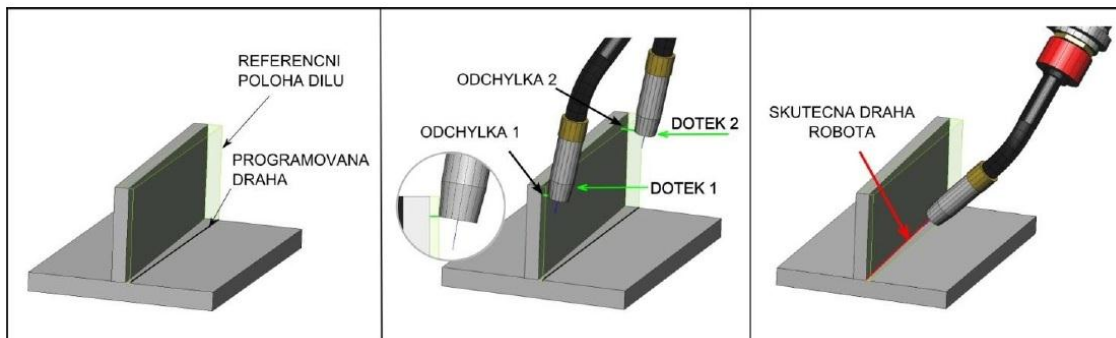
- Extrémně vysoká komunikační rychlost mezi řízením robota a svařovacím zdrojem
- Čas zapálení oblouku je menší než 0,2 sec.
- Umožňuje svařování v režimech zkrat, puls, studeným procesem SP-MAG a pájení pozinkovaných plechů
- Zatěžovatel při 100% je 320 A

6.2.Doplňkové vybavení svařovací buňky

Do této kategorie patří celá řada doplňků, které firmy dodávají od vyhledávání pozice svařovacím drátem až po programování off-line. U všech navrhnutých variant je jako doplňkové vybavení uváděno vyhledávání pomocí hubice nebo drátu, sledování svarové spáry a off-line programování.

6.2.1. Dotykové vyhledání pomocí svařovací hubice

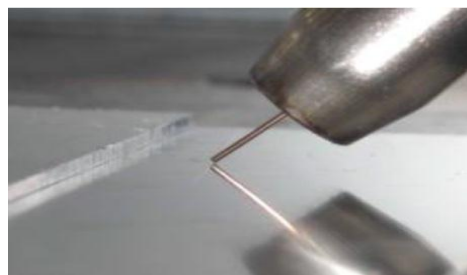
Tento druh vyhledávání je určen pro korekci nepřesnosti jednotlivých dílů při svařování. Dotykový senzor snímá polohu svaru za pomoci trysky svařovacího hořáku. Po provedení detekce jsou naměřené hodnoty zpracovány a provedou se korekce programu. Princip detekce pomocí svařovací hubice je ukázán na obr. 6.1.



Obr. 6.1 Ukázka principu detekce pomocí svařovací hubice [20]

6.2.2. Detekce pomocí svařovacího drátu

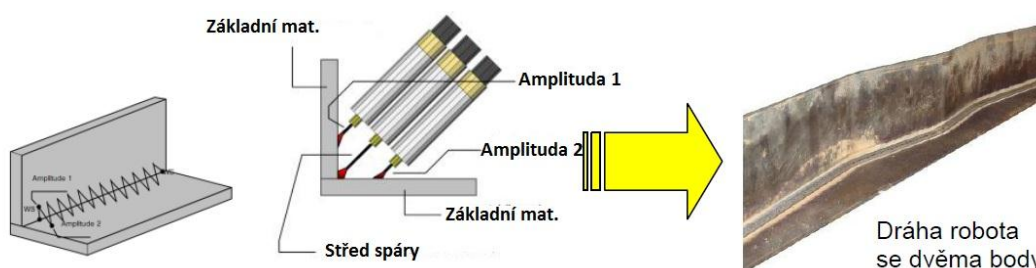
Detekce svařovacím drátem je určena pro korekci nepřesnosti polohy součástí. Toto vyhledávání umožňuje dohledávání velmi malých dílců nebo svarových ploch pro V svary, které vyhledávání pomocí hubice nedokáže. Ukázka vyhledávání pomocí drátu je na obrázku číslo 6.2.



Obr. 6.2 Detekce svařovacím drátem [20]

6.2.3. Systém pro sledování svarové spáry

Tento systém slouží pro regulaci dráhy robota. Vlivem vneseného tepla může při svařování docházet k deformacím. Regulování je prováděno korekcí dráhy a to tak, že je snímáno napětí při kmitu svařovacího hořáku, které je následně vyhodnoceno a dává robotu informaci o poloze svarové spáry. Robot pak automaticky provádí korekce trajektorie. Na obr. 6.3 je možné vidět princip vyhledávání pomocí sledování svarové spáry.



Obr. 6.3 Sledování spáry [20]

6.2.4. Univerzální upínací rám

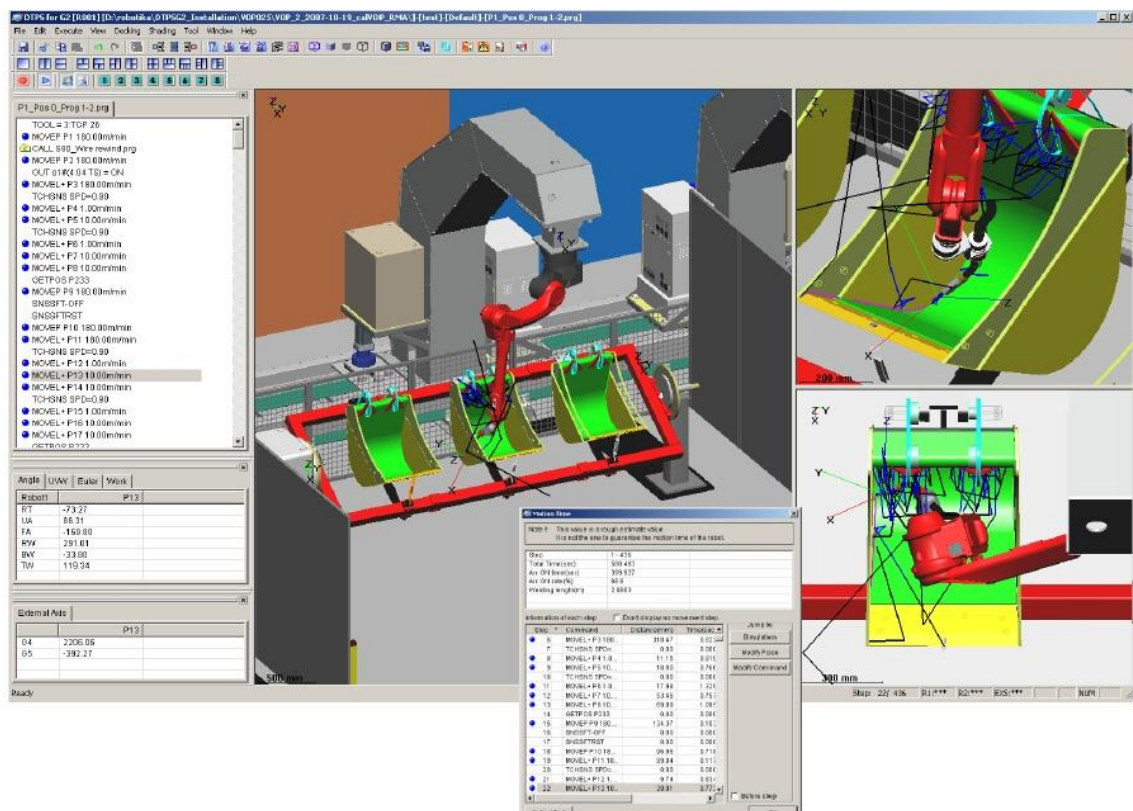
Tento rám slouží pro upínání svařovacích přípravků na polohovadlo. Na rámu jsou upnuty kalené dorazy pro opakované umístění přípravků. Výhodou těchto rámu je rychlá a snadná výměna přípravků s možností upínat i více přípravků najednou. Rám můžeme vidět na obr. 6.4.



Obr. 6.4 Univerzální přípravek [20]

6.2.5. Off-line programování

Tento druh programování umožňuje programovat robota mimo svařovací buňku. Programování probíhá na PC, kde dochází k určení trajektorie pohybů, svařovacích parametrů i výpočet skutečného času svařování. Lze ho také dobře používat pro nacenění obchodních nabídek. Off-line programování je v poslední době čím dál více populární. Pracovní prostředí programu u off-line programování je na obrázku číslo 6.5.



Obr. 6.5 Pracovní prostředí Off-line programovacího softwaru [20]

Z obrázku je patrné, že v programu se pracuje s kompletním 3D modelem pracoviště.

7. Návrh svařovacího přípravku

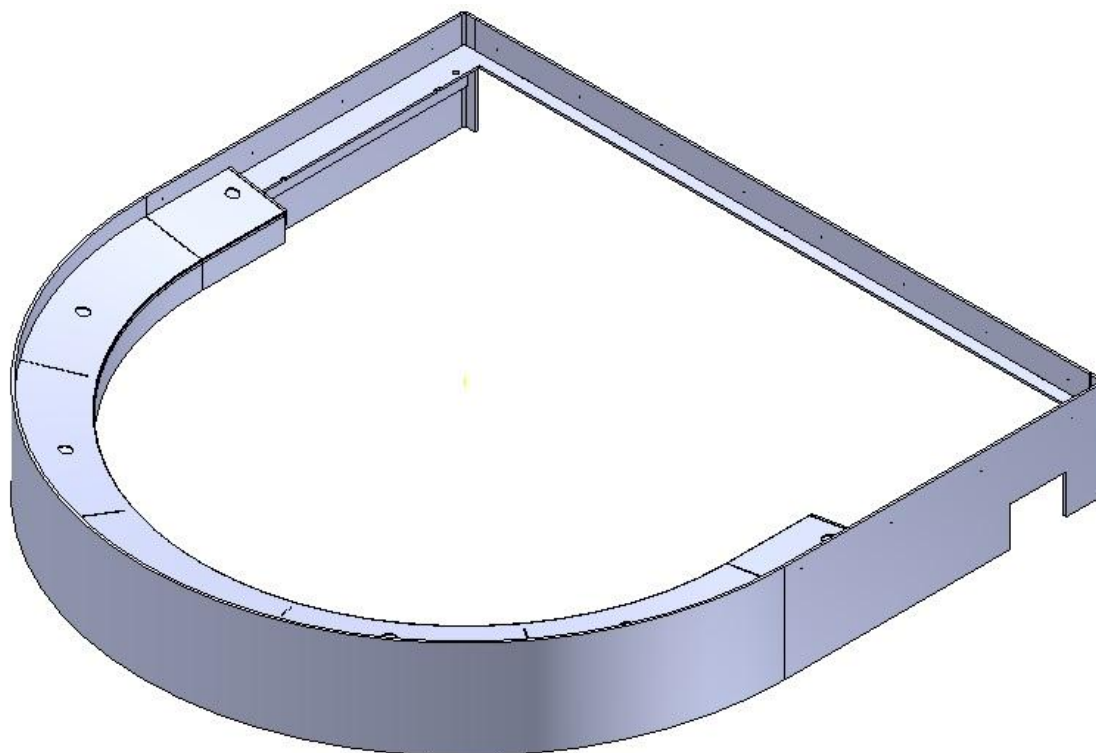
Svařovací přípravek je zařízení, které je určeno pro daný výrobek, aby zjednodušil a urychlil výrobu svařence. Výroba přípravků bývá většinou nákladná, a proto je důležité používat přípravky pro opakující se výrobky.

Při vlastní návrhu a konstrukci svařovacího přípravku je důležité vycházet ze svařovaného dílce a v dnešní době z 3D modelu svařence. Z přílohy číslo 2 můžeme vidět rozměry svařence a jeho tvar, který musí být upnut a svařen na robotickém pracovišti při použití přípravku.

7.1. Požadavky na konstrukci přípravku:

- Zajistit přesné ustavení dílů a podskupin svařence,
- Nutnost upnout díly anebo podskupiny svařence,
- Po svaření zajistit olejotěsnost,
- Hmotnost přípravku a svařence nesmí přesáhnout 500 kg,
- Průtočný průměr nesmí být větší než 1800 mm,
- Maximální upínací šířka přípravku nesmí být větší než 2500 mm,
- Realizaci výroby provést ve firmě Hestego a. s.

Na obrázku číslo 7.1 je zobrazen svařenec, který má být zapřípravkován.



Obr. 7.1 Vyráběný svařenec

7.2. Vlastní návrh a konstrukce přípravku

Dle zadaných kritérií pro návrh přípravku byl zkonstruován svařovací přípravek, který splňuje všechna zadaná kritéria. Na obrázku číslo 7.2 je ukázán navrhnutý svařovací přípravek. Sestava svařovacího přípravku je součástí přílohy této práce.



Obr. 7.2 Navrhnutý svařovací přípravek pro robotické svařování

7.3. Postup návrhu

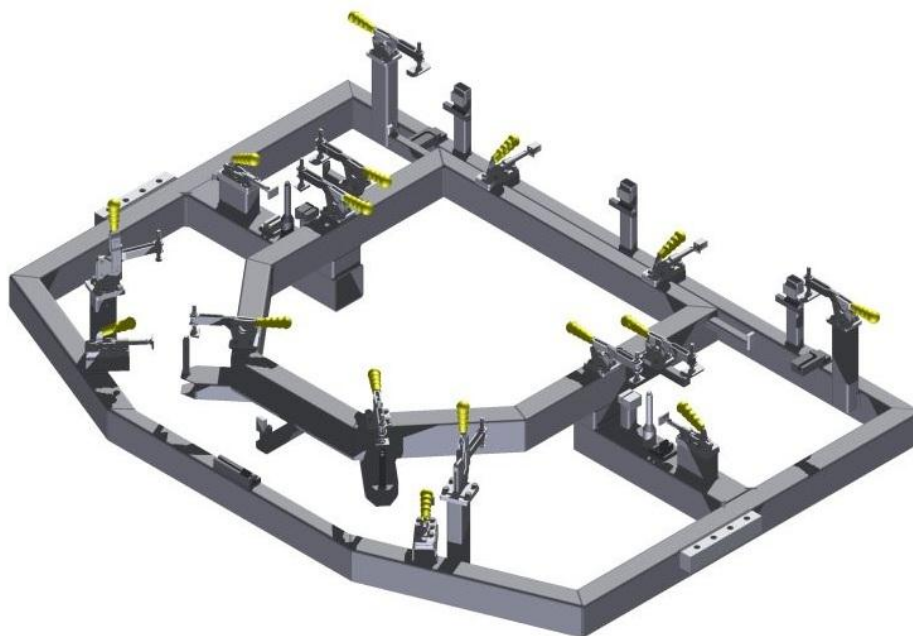
Při návrhu svařovacího přípravku je důležité vycházet z rozměrů svařovací buňky a dosahu robotu. Dle výkresové dokumentace z přílohy 2 musíme přípravek navrhnout tak, aby bylo možné jeho protočení z důvodu svarů z obou stran. Dle technologického rozboru svařence bylo zjištěno, že některé svary není možné svařit pomocí robotu, a proto budou svařeny už při zakládání dílců do přípravku.

Přípravek je navrhnut jako svařovaný rám vnější a vnitřní, který kopíruje tvar upínaného svařence. Rám bude vyroben z tyčí hutního materiálu obdélníkového a čtvercového průřezu. Tloušťka stěny u použitých průřezů je 5 mm. Na obr. 7.3 můžeme vidět konstrukci rámu přípravku. Pro ustavení svařence jsou použity obráběné dílce, které zabezpečují přesné ustavení tak, aby byla poloha svařence vždy stejná.

Jako první budou ustaveny pozice 114, 119 a 120, které jsou svařeny do jednoho svařence. Ten bude zapolohován na obrobené dorazy a následně přistehován na pozici 113, která bude ustavena na dva druhy ustavovacích čepů. Tyto čepy využijí otvorů v poz. 113. Čepy budou vyrobeny soustružením, a pak přivařeny k rámu přípravku. Po ustavení této pozice bude dále ustavena pozice 111, u které bude využito ohybů na konci dílu a zakruženého rádiusu. Pro tento díl jsou speciálně obráběné ustavovací

dorazy, které budou na rám přivařeny. Následně bude tato pozice doražena pomocí čtyř přímých rychloupínek 320 od firmy JC – Metal s. r. o.

Všechny použité upínky jsou přišroubované k závitové desce, která je vždy přivařena k rámu přípravku. Po zapolohování těchto dvou pozic dojde ke stehování dle výkresové dokumentace.



Obr 7.3 Rám svařovacího přípravku

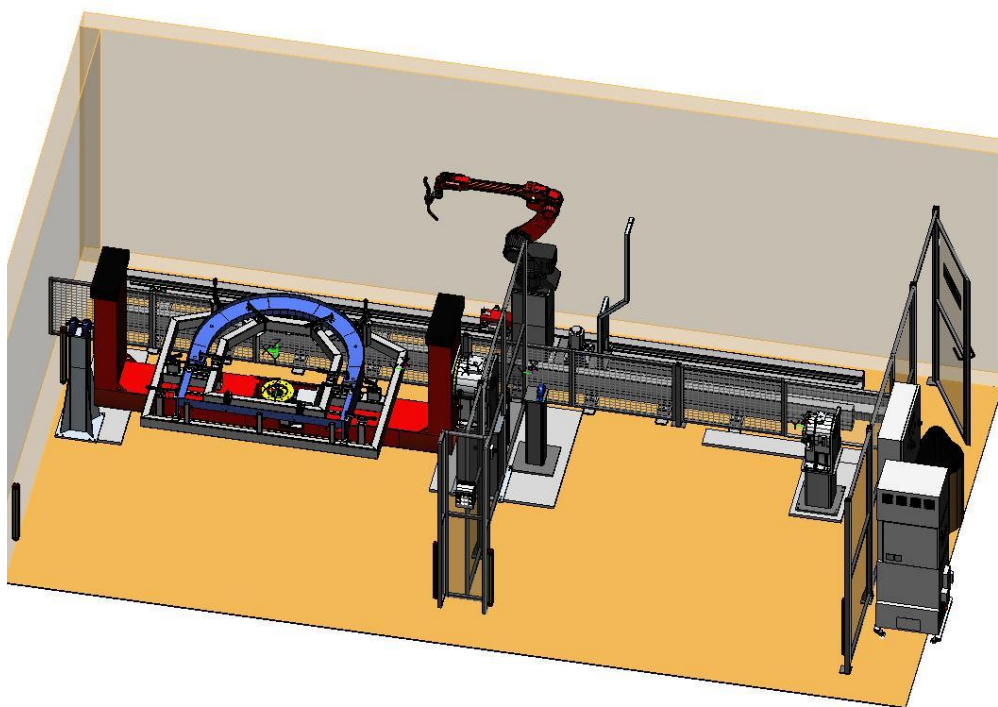
Po svaření těchto pozic bude ustavena poz. 112 na dorazy. K této pozici bude do zámků ustavena poz. 118 a doražení bude provedeno pomocí přímých rychloupínek 320 s přivařenými speciálními dorazy.

Následně musí být ustavena a přistehovaná poz. 117 pomocí dvou zámků, pak dojde k zapolohování pomocí vodorovných rychloupínek 150 UZ. K pozici 113 se při zakládání musí přivařit šest krát poz. 123, která slouží pro ustavení pozice 115. Po zapolohování musí být pozice 115 doražena pomocí čtyř vodorovných rychloupínek 150 UZ, které mají speciální dosedací plošku.

Na této pozici je předem navařena poz. 121, která slouží k svrtání celého krytování při montáži. Jako poslední pozici ustavíme a nastehujeme pozici 116. Potom musíme zavřít dvě svislé rychloupinky 260UZ a dvě vodorovné upínky 150UZ.

7.4.Odzkoušení dostupnosti přípravku v navrhnutých variantách

Pro odzkoušení bylo využito off-line programovacího softwaru od firmy Valk welding za spolupráce pana Hynka Tymráka, který prováděl simulaci odzkoušení a dostupnosti přípravku. Bylo provedeno odzkoušení přípravku u dvouosého a u jednoosého polohovadla. Jako alternativní varianta bylo p. Tymrákem provedeno simulování dostupnosti svařence na pevném stole, kde by byl svařenec předem ručně nastehován a pak dovařen na pevném stole.



Obr. 7.4 Upnutí přípravku ve variantě 2 [20]

7.4.1. Odzkoušení dostupnosti pro variantu 2

Svařovací přípravek bude upínán pomocí základní desky, která musí být umístěna ve vnitřním rámu. Upnutí svařovacího přípravku je na obrázku číslo 7.4. Na dvouosém polohovadle je přípravek otočen kolem osy Y. Bližší ukázky simulace pohybu svařovacího robota při svařování můžeme vidět v příloze číslo 6.

Z prvního obrázku v příloze číslo 6 je vidět přesné rozmístění svařovací buňky s ukázkou upnutí svařence v přípravku. Na obrázku 2 jsou provedeny simulace pohybu svařovacího robota při svařování horní části svařence. U třetího obrázku byla provedena simulace pro svařování dolní části. Můžeme vidět, jak je veden hořák při provádění olejotěsného svaru.

Polohovadlo muselo být otočeno kolem osy X a robot musel využívat horní část své pracovní obálky. Rotace kolem osy Y, která bude využívána při svařování půlkruhu, je ukázána na obrázku 4 a na obrázku 5 je simulováno protočení kolem osy X.

7.4.2. Odzkoušení dostupnosti pro variantu 3

U této varianty byly provedeny simulace pro svařování předem nastehovaného svařence, který by mohl být dovařen na pevném stole. Tyto simulace jsou zdokumentovány v příloze číslo 7.

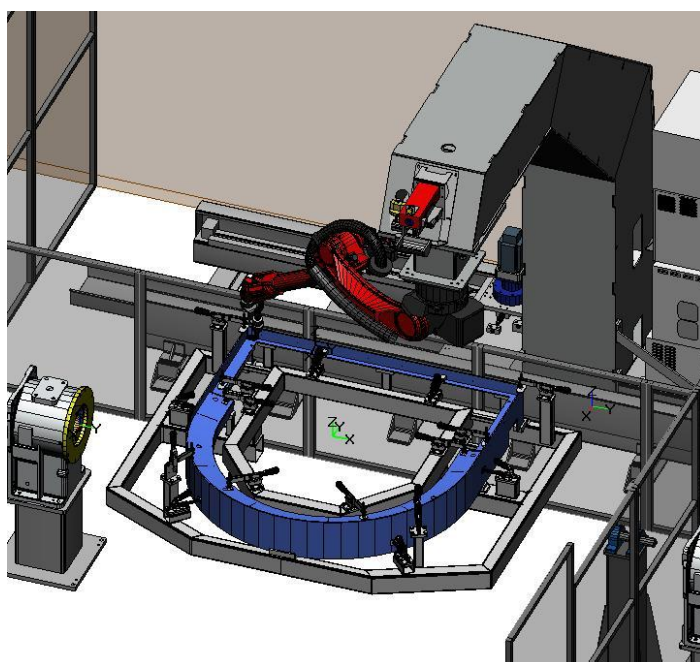
Z obrázků vyplývá, že je možné využít tohoto pevného stolu pro svaření předem nastehovaných svařenců, u kterých zákazník může vyžadovat např. hezký vzhled svaru anebo nepřerušovaný dlouhý svar. Tento stůl bude modulárního charakteru, aby bylo možné lehké a přesné ustavování dílců a aby se nemuseli provádět korekce programů. Dále by se stůl dal využít pro svařování rámu, u kterých je lehká zapolohovatelnost.

7.4.3. Odzkoušení dostupnosti pro variantu 4

Byly provedeny simulace, které jsou zdokumentovány v příloze číslo 8. Simulace pro variantu 4 byly provedeny pro svařování horní i spodní části svařence a následně pro protočení kolem osy X u jednoosého polohovadla. Ukázka upnutí přípravku v této variantě je na obrázku číslo 7.5.

U žádné ze simulací nebyla zaznamenána kolize s přípravkem. Na posledním obrázku v příloze je ukázka protočení přípravku na jednoosém polohovadle, kde je speciálně upraveno ukotvení a to tak, že vzdálenost středu otočeného průměru byla větší než u standardních konfigurací.

Díky zavěšení na C rám zde není žádný problém s dostupností a dle slov pana Tymráka je podle jeho vlastních zkušeností se sestavováním robotických svařovacích buněk tato varianta nejlepší pro svaření svařence tohoto typu.



Obr. 7.5 Upnutí přípravku ve variantě 4 [20]

7.5. Postup výroby přípravku

Výroba přípravku bude probíhat nařezáním tyčového materiálu v divizi dělení materiálu na pásové pile. Následně tyto nadělené dílce budou postupně svařeny na svařovně, kde bude využito jeřábu pro manipulaci s těmito dílci. Po svaření vnitřního a vnějšího rámu dojde k jejich vzájemnému spojení.

Po zavaření základního rámu budou přivařeny díly, které slouží pro správné ustavení a následné přivaření dorazů. Výroba dorazů bude probíhat na obrobně, kde budou vyrobeny dorazy a upínací desky se závitem pro upnutí rychloupínacích upínek. Všechny dorazy budou kaleny a následně popuštěny.

Při sestavování bude využito dílců svařence, protože je důležité průběžné odzkoušení funkčnosti a správnosti ustavení v přípravku. Po přivaření dorazů na

správné místo budou přivařeny upínací desky pro rychloupínací upínky, kam se následně upínky přišroubují.

Nakonec bude na vnější rám přivařen upínací systém pro jednoosé polohovadlo. Po celkovém vyrobení přípravku bude přípravek převezen do robotické svařovací buňky a následně upnut. Po upnutí přípravku a celého svařence dojde k sestavení programu robota a jeho odzkoušení.

8. Volba technologických parametrů svařování

Volba parametrů byla navržena panem Tymrákem na základě požadavků co nejmenšího vneseného tepla do svařence z důvodu zamezení vzniku propalů. Technologické parametry pro robotické svařování jsou uvedeny v tabulce číslo 8.1.

Tab. 8.1 Technologické parametry robotického svařování [20]

Průměr drátu [mm]	Proud [A]	Napětí [V]	Svařovací rychlost [mm/min]
1	160	19	400

9. Ekonomický propočet

V této části se budu zabývat celkovým ekonomickým zhodnocením ceny pro všechny navrhnuté varianty robotických svařovacích buněk. Následně budou propočteny výrobní náklady na navrhnutý svařovací přípravek. Na závěr bude vypočtena celková hodnota úspory při svařování v robotické buňce.

9.1. Ekonomické zhodnocení navrhnutých svařovacích buněk

U všech navrhnutých uspořádání svařovacích buněk bude zakoupeno jako doplňkové vybavení senzor dotyku hubicí a drátem, systém sledování svarové spáry, off-line programování a univerzální upínací rám, který bude sloužit pro upínání výrobků krabicového tvaru. Ceny jsou stanoveny za základní vybavení svařovací buňky a za doplňkové vybavení. V tab. 9.1 jsou uvedeny ceny za jednotlivé varianty pracovišť.

Tab. 9.1 Ceny navrhovaných variant svařovacích buněk

Varianta [-]	Cena za základní vybavení [Kč]	Cena za doplňkové vybavení [Kč]
1.	3 900 000	600 000
2.	4 750 000	550 000
3.	4 100 000	550 000
4.	4 800 000	550 000

Z tabulky číslo 9.1 vyplívá, že varianta číslo 1 je nejlevnější, ale u této navržené varianty nebyly dodavatelem zařízení provedeny simulace dostupnosti, i když dodavatel zařízení potvrdil možnost protočení přípravku a dosah až po průtočný průměr 1800 mm. Nevýhodou tohoto pracoviště je, že při svařování v maximálním dosahu ramene není možné využívat funkci sledování spáry z důvodu rozkmitu ramene.

Jako druhá nejlevnější varianta vyšla varianta číslo 3, u které je uvažováno svařování nastehovaného svařence bez přípravku. Možnost svařovat na jednoosém polohovadle není možná z důvodu malého dosahu svařovacího robota. Varianta číslo 3 není vhodná z důvodu toho, že každé polohovadlo je jiné, a proto by výrobky musely být svařovány pouze na jednom určitém polohovadle nebo by se musely vytvářet programy pro každé polohovadlo.

Z technologického hlediska je nejlepší, ale také nejdražší varianta číslo 4. V této variantě je robot zavěšen na C rámu, ze kterého má robot do svařence nejlepší dostupnost pro svařování. Díky tomu je také jednodušší programování trajektorie robota. Z těchto důvodů navrhuji pro svařování spodního rámu zakoupit variantu číslo 4, kde je robot na pojezdové dráze a zavěšen na C rámu. Celková cena této varianty i s doplňkovým vybavením je 5 350 000 Kč.

9.2. Výpočet nákladů na výrobu svařovacího přípravku

Výpočet nákladů svařovacího přípravku bude složen z nákladů za materiál, upínací příslušenství, obráběné dílce, práci konstruktéra a technologa, mzdu dělníka.

9.2.1. Náklady na upínací příslušenství

Pro upínání bude použito rychloupínek od firmy JC-Metal s. r. o., která je výrobcem upínacího nářadí. Na svařovacím přípravku budou použity tři druhy upínek. Typy upínek a jejich ceny jsou uvedeny v tabulce číslo 9.3.

Tab. 9.3 Cena upínek

Typ upínky [-]	Požadované množství [Ks]	Cena [Kč/ks]	Cena za upínky [Kč]
150 UZ	8	439	3512
260 UZ	2	439	878
320 UZ	6	492	2952
Celková cena za upínky:			7342

Celkové náklady za rychloupínky jsou 7342 Kč cena je bez DPH.

9.2.2. Náklady na hutní materiál

Materiál je nakupován od dodavatelů firmy Hestego a. s. Ceny za potřebný materiál pro výrobu přípravku jsou uvedeny v tabulce 9.2. Délky profilů jsou započítány i s prořezem při dělení materiálu.

Tab. 9.2 Cena hutního materiálu

Rozměr materiálu [mm]	Požadovaná délka [mm]	Cena [Kč/m]	Cena materiálu [Kč]
120 x 120 x 6	1260	517,92	652,6
120 x 80 x 5	7745	325,25	2520
120 x 60 x 5	4850	288,95	1401,5
100 x 60 x 5	440	273,37	120,3
70 x 50 x 4	1150	178,5	205,3
60 x 40 x 4	150	133,2	20
50 x 30 x 4	920	108,65	100
40 x 40 x 4	240	92,5	22,5
40 x 20 x 3	62	80,45	5
30 x 30 x3	660	51,5	34
Celková cena za hutní materiál:			5082

Celkové náklady na materiál jsou 5082 Kč bez DPH.

9.2.3. Náklady na obráběné díly

Obráběné dílce jsou vyrobeny na různých typech pracovišť, které mají rozdílnou hodinou sazbu. Přesný propočet nákladů je uveden v tab. 9.4.

Tab. 9.4 Cena obráběných dílů

Název dílce	Požadovaný mat. [kg]	Cena mat. [Kč]	Cena práce [Kč]	Požadovaný počet ks [ks]	Celková dílce [Kč]
Ustavovací čep 1	0,33	6,5	16	2	45
Ustavovací čep 2	0,99	19,64	80	2	199,3
Doraz vedení 1	0,19	4	80	1	84
Doraz vedení 2	0,51	9,8	50	2	119,6
Doraz spodní 1	0,5	9,8	100	2	219,6
Doraz spodní 2	1,15	23	150	1	173
Doraz spodní 3	1,4	28	140	1	168
Doraz spodní 4	1,15	28	150	1	173
Doraz zadní 1	0,28	2,5	8	4	42
Doraz zadní 2	0,13	2	4	3	18
Doraz zadní 3	0,14	2,8	5	3	23,4
Výztuha dorazu	0,17	2,4	7	2	18,8
Doraz k 320 spec.	0,25	5	15	2	40
Doraz k 320	0,1	2	7	4	36
Doraz k 150 – 10°	0,1	2	15	4	68
Doraz k 150	0,1	2	2,5	4	18
Upínání přípravku	5,66	170	300	2	940
Deska pod 150UZ	0,55	11	84	8	760
Deska pod 260UZ	0,99	19,62	84	2	207,3
Deska pod 320	0,72	14,5	104	6	711
Celkové náklady na obráběné dílce:					4064

Náklady na obráběné díly jsou včetně materiálu a mzdy pracovníků. Celkem náklady činí 4064 Kč.

9.2.4. Náklady na mzdy konstruktéra, technologa, svářeče a obsluhy pily

Náklady na jednotlivé pracovníky jsou uvedeny v tabulce 9.5. Hodinové mzdy jsou dány firemním tarifem, ve kterém jsou započítány i náklady na provoz pracoviště.

Tab. 9.5 Náklady na práci zaměstnanců

Zaměstnanec	Hodinová mzda [Kč/hod]	Trvání práce [Kč]	Cena za práci [Kč]
Konstruktér	200	17	3400
Technolog	200	3	600
Obsluha pily	470	3	1410
Svářeč	550	8	4400
Celkové náklady za práci:			9810

9.2.5. Celkové náklady na výrobu svařovacího přípravku

Celkové náklady jednotlivých skupin vstupujících do ceny svařovacího přípravku jsou uvedeny v tabulce číslo 9.6.

Tab. 9.6 Celková cena svařovacího přípravku

Náklady	Cena [Kč]
Hutní materiál	5082
Upínací příslušenství	7342
Obráběné dílce	4064
Práce zaměstnanců	9810
Náklady celkové:	26 298 $\approx$ 26 300

Celkové náklady na výrobu jednoho svařovacího přípravku jsou 26 300 Kč.

9.3. Výpočet celkové fiktivní úspory při výrobě svařence

Propočet celkových úspor bude proveden pro výrobu tohoto svařence při 2 směnném provozu v pěti pracovních dnech. V tab. 9.7 jsou uvedeny časy ručního a robotizovaného svařování.

Tab. 9.7 Doba svařování svařence

Způsob svařování	Norma [min]	Norma [hod]
Ruční	600	10
Robotické	120	2

Roční výroba při svařování ručním a robotickým je uvedena v tabulce číslo 9.8. V této tabulce je také uvedena sazba daného pracoviště. Jedna pracovní směna má 7,5 hod. Rok 2012 má 252 pracovních dnů.

Tab. 9.8 Počet vyrobených ks/rok

Svařovací pracoviště	Vyrobený počet ks/den [Ks]	Vyrobený počet ks/rok [Ks]
Ruční	1,5	378
Robotické	5,83	1469
Rozdíl mezi robotickým a ručním svař.		1147

Při svařování na robotickém pracovišti bude vyráběno 1469 ks spodního rámu za rok. Je to o 1147 ks více než při stávajícím ručním svařování. Náklady na výrobu 1469 ks při svařování ručním a robotické jsou uvedeny v tab. 9.9.

Tab. 9.9 Úspora při robotickém svařování

Svařovací pracoviště	Náklady na pracoviště [Kč/hod]	Náklady na 1ks [Kč/ks]	Náklady na výrobu 1469 ks [Kč]
Ruční	550	5 500	8 079 500
Robotické	850	1 700	2 497 300
Úspora při robotické svařování:			5 582 200

V robotické svařovací buňce je možné ročně vyrobit 1469 ks s náklady 2 497 300 Kč. Úspora při použití tohoto způsobu svařování je 5 582 200 Kč. Tato úspora dokáže pokrýt náklady na zakoupení robotické svařovací buňky, které jsou 5 350 000 Kč. Dále je možné zaplatit i výrobu svařovacího přípravku. Z vypočtených hodnot vyplývá, že při svařování spodního rámu svařence při 2 směnném provozu dojde k návratnosti zařízení za 1 rok.

10. Závěr

V bakalářské práci jsem se zabýval návrhem robotické svařovací buňky a návrhem svařovacího přípravku pro svaření spodního rámu brusky.

Robotické svařovací v posledních letech se stalo trendem jak rychle a efektivně svařovat jak malé tak i velké svařence, a proto i firma Hestego a. s. se rozhodla pořídit robotickou svařovací buňku. V této firmě by robotické svařování mělo být aplikováno na kusou až středně sériovou výrobu.

Při návrhu svařovací buňky bylo vycházeno z rozměrů spodního rámu. Byly osloveny firmy zabývající se touto problematikou, které podali návrhy pracoviště, které jsem uvedl v této práci. Tyto varianty byly nakonec vyhodnoceny jak po stránce technologické tak i ekonomické. Jako nejlepší technologické uspořádání svařovací buňky bylo vybráno řešení s robotem na pojezdové dráze, kde robot je upevněn na C rám. Jako polohovadla zde budou použita dvě jednoosá polohovadla, která budou mít speciální konstrukci z důvodu velkého průtočného průměru. Tato varianta je nejdražší variantou, ale dle ekonomického propočtu návratnosti zařízení vyplývá, že při ročním svařování spodního rámu brusky bude tato investice mít návratnost 1 rok.

Při koupi svařovacího robotického pracoviště by se měla návratnost investice pohybovat do 2 let, jelikož návratnost tohoto pracoviště je 1 rok může být pracoviště zakoupeno.

Pro návrh svařovacího přípravku bylo využito 3D modelu svařence a softwaru Auto Desk Inventor Profesional 2010. Celý návrh konstrukce přípravku byl proveden v tomto programu. Konstrukce přípravku byla zvolena svařovaná s požadavkem firmy, aby bylo možné vyrobení přípravku ve firmě. Pro výrobu byly zvoleny normalizované šrouby a podložky a hutní materiál. Upínání je zajištěno rychloupínacím systémem od firmy JC – Metal s. r.o. Pro zajištění přesného ustavení byly navrženy obráběné dorazy, které budou kaleny a popuštěny na 50 HRC a následně přivařeny na konstrukci svařovacího přípravku.

Po návrhu přípravku byly firmou Valk welding provedeny simulace dostupnosti při svařování v navrhovaných variantách uspořádání pracoviště. Z provedených simulací vyplynulo, že přípravek je plně funkční.

V ekonomickém propočtu byly vypočteny ceny svařovacího přípravku a robotického svařovacího pracoviště. Cena vybrané varianty robotického pracoviště je 5 350 000 Kč. Ceny výroby svařovacího přípravku činí 26 300 Kč. Celkové náklady na svařovací buňku a přípravek jsou 5 376 300 Kč. Dle vypočtené úspory při robotickém svařování vyplývá, že úspora pokryje náklady na celé robotické pracoviště i se svařovacím přípravkem.

Na závěr této práce bych doporučil realizaci navrženého pracoviště i svařovacího přípravku, jelikož dle provedených simulací a ekonomického propočtu je zajištěno bezproblémové robotické svaření svařence.

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. 2012-05-22]. Dostupné z: <http://automig.cz/o-svarovani/metody/migmag-co2/>
3. Esab: Česká republika. *Sortiment na CD Rom 2011* [online]. 2011 [cit. 2012-05-22]. Dostupné z: <http://products.esab.com/Templates/T129.asp?id=130282>
4. FANUC: Czech. *Arc Mate 120iC/10L* [online]. 2009 [cit. 2012-05-22]. Dostupné z: http://www.fanucrobotics.cz/cs/products/a_industrial-robots/arc%20mate/arc%20mate%20120ic-10l#
5. FRONIUS. *Vysokovýkonové svařování: LaserHybrid, TimeTwin Digital, plochý drát, dráty velkých průměrů*. V Olšínách, 2010.
6. Fronius: Česká republika. *Cold Metal Transfer* [online]. 2011 [cit. 2012-05-22]. Dostupné z: http://www.fronius.com/cps/rde/xbcr/SID-12A7E057-4EE69E48/fronius_international/CS_leaflet_CMT_112_www_44540_snapshot.pdf
7. Fronius: Česká republika. *MIG/MAG svařování* [online]. 2006 [cit. 2012-05-22]. Dostupné z: http://www.fronius.com/cps/rde/xchg/SID-31ECD902-373F5CB4/fronius_ceska_republika/hs.xsl/29_3916.htm#Prinzip
8. Fronius: Česká republika. *TIME/TIME TWIN* [online]. 2011 [cit. 2012-05-22]. Dostupné z: http://www.fronius.com/cps/rde/xchg/SID-D693D217-B31877CD/fronius_ceska_republika/hs.xsl/29_3922.htm
9. IFR - international federation of robotics: Česká republika. *Types of industrial robots* [online]. [cit. 2012-05-22]. Dostupné z: <http://www.ifr.org/industrial-robots/products/>
10. Industrial panasonic: Evrope. *TA - 1900 - Industrial robot* [online]. 2012 [cit. 2012-05-22]. Dostupné z: http://industrial.panasonic.com/eu/i/29606/rw/rw/industrial_robots/ta_1900.htm
11. KOVAŘÍK, Rudolf. *Technologie svařování*. 2. vyd. Plzeň: Západočeská univerzita, 2000, 185 s. ISBN 80-708-2697-5.
12. KUBÍČEK, Jaroslav. *Technologie 2 : Část svařování: Studijní opory* [online]. Brno: VUTBR FSI, 2006 [cit. 2012-05-22]. Dostupné z www: <http://ust.fme.vutbr.cz/svarovani/opory.htm>
13. KUBÍČEK, Jaroslav. *Technologie pro robotizaci*. Brno, 2011.

14. 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.
15. ONDREJČEK, P. *Zváranie ocelí v ochrane plynov*. Bratislava. ETERNA PRESS 2003. 202 s. ISBN 80-968359-5-5
16. Robot industrial suppliers. *Training center - Thermadyne S.A. Welding Information Bulletin #13* [online]. [cit. 2012-05-22]. Dostupné z: <http://www.robotindustrial.co.za/infoweld13.aspx>
17. R-R náradí. *Příslušenství k svářečkám* [online]. 2010 [cit. 2012-05-22]. Dostupné z: <http://www.rr-naradi.cz/svarovaci-drat-1-2-mm-15-kg>
18. RUMÍŠEK, Pavel. *Automatizace výrobních procesů II. Tváření*. 1. vyd. Brno: VUT Brno, 1990, 192 s. ISBN 80-214-0221-0.
19. TPCA. *Toyota Peugeot Citroen Automobile* [online]. 2006 [cit. 2012-05-22]. Dostupné z: <http://www.tpca.cz/cz/vyroba/svarovna>
20. TYMRÁK, Hynek. VALK WELDING. *Nabídka pracoviště*. Mošnov, 2012.
21. Valk welding: Česká republika. [online]. [cit. 2012-05-22]. Dostupné z: http://www.valkwelding.nl/index.cfm/site/valk_welding_home_cz/pageid/3141661E-93BB-CCF2-59C709EA3F378D76/objectid/313E4F96-AEB3-09B9-BC4C3B38E2992002/index.cfm
22. Veselý, Jaroslav. MIGATRONIC. *Nabídka pracoviště*. Teplice, 2012.
23. Wikipedie. *Wikipedie: Česká reublika* [online]. 2002 [cit. 2012-05-22]. Dostupné z: http://cs.wikipedia.org/wiki/Soubor:MIG_cut-away.svg
24. Wildeck. *Wildeck Inc.* [online]. 2011 [cit. 2012-05-22]. Dostupné z: http://www.wildeck.com/about_us/manufacturing.html
25. Zámečnictví Stanislav Baumruk. *Svařování MIG/MAG* [online]. 2010 [cit. 2012-05-22]. Dostupné z: <http://www.zamecnictvibaumruk.cz/svarovani-tig-mig-a-mag-technologie.html>

Seznam použitých symbolů a zkratek

Zkratka	Význam	Jednotka
A	Tažnost	[%]
I	Elektrický proud	[A]
I_s	Svařovací proud	[A]
MAG	Metal active gas	[-]
MIG	Metal inert ga	[-]
MIG/MAG	Svařování elektrickým obloukem v ochranné atmosféře	[-]
R_e	Mez kluzu	[MPa]
R_m	Mez pevnosti	[MPa]
t_p	Čas svařování	[ms]
U	Elektrické napětí	[V]
v_s	Svařovací rychlost	[mm/min]

Seznam příloh:

Příloha 1: Atest materiálu

Příloha 2: Výkres svařence

Příloha 3: Rozměry pracoviště pro variantu 1

Příloha 4: Rozměry pracoviště pro variantu 3

Příloha 5: Rozměry pracoviště a pracovní obálka pro variantu 1

Příloha 6: Zkušební simulace přípravku pro variantu 2

Příloha 7: Zkušební simulace přípravku pro variantu 3

Příloha 8: Zkušební simulace přípravku pro variantu 4

Příloha 1

ALFON



Dodavatel:

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

Kontaktní osoba odběratele:

Ivanková Alena
FAX: +420-517 321 010

ATEST dle EN 10204; 2.2

Číslo atestu : 16012012
Interní kód atestu : AT12100433
Zákazník : **Hestego a.s. (Na Nouzce 470/7 Vyškov, 682 01)**
Číslo objednávky : 120345/12/Ivankova
Číslo dodacího listu : DL121005193
Zhotovil : Truchliková Markéta Dne : 23.2.2012

Atest: AT12100433/16012012 (AT12100433)

ATEST (Transcript of inspection cert.)

Tavba (Heat No.) Datum zhotovení (Date)
342703 16.01.2012

Obsažené prvky (Contained elements)

C	Mn	Si	P	S
0,070	0,380	0,008	0,009	0,007

Mechanické hodnoty (Mechanical properties)

Rm [MPa]	Re [MPa]	A	A80
331,000	227,000	37,000	

Vlastnosti materiálu dle EN 10130, EN 10131&br,(Material characteristics according to EN 10130, EN 10131)

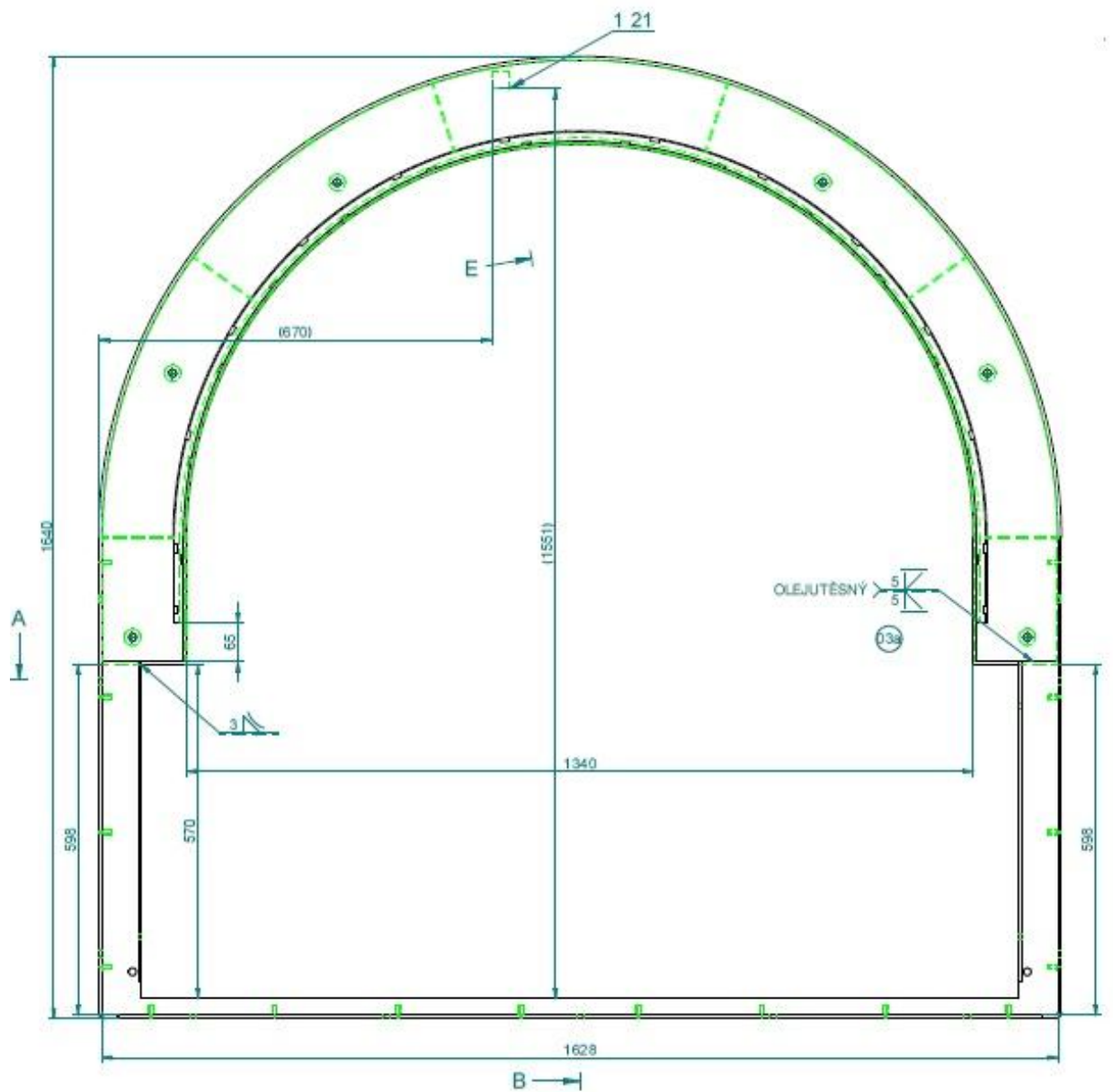
Charakteristika materiálu

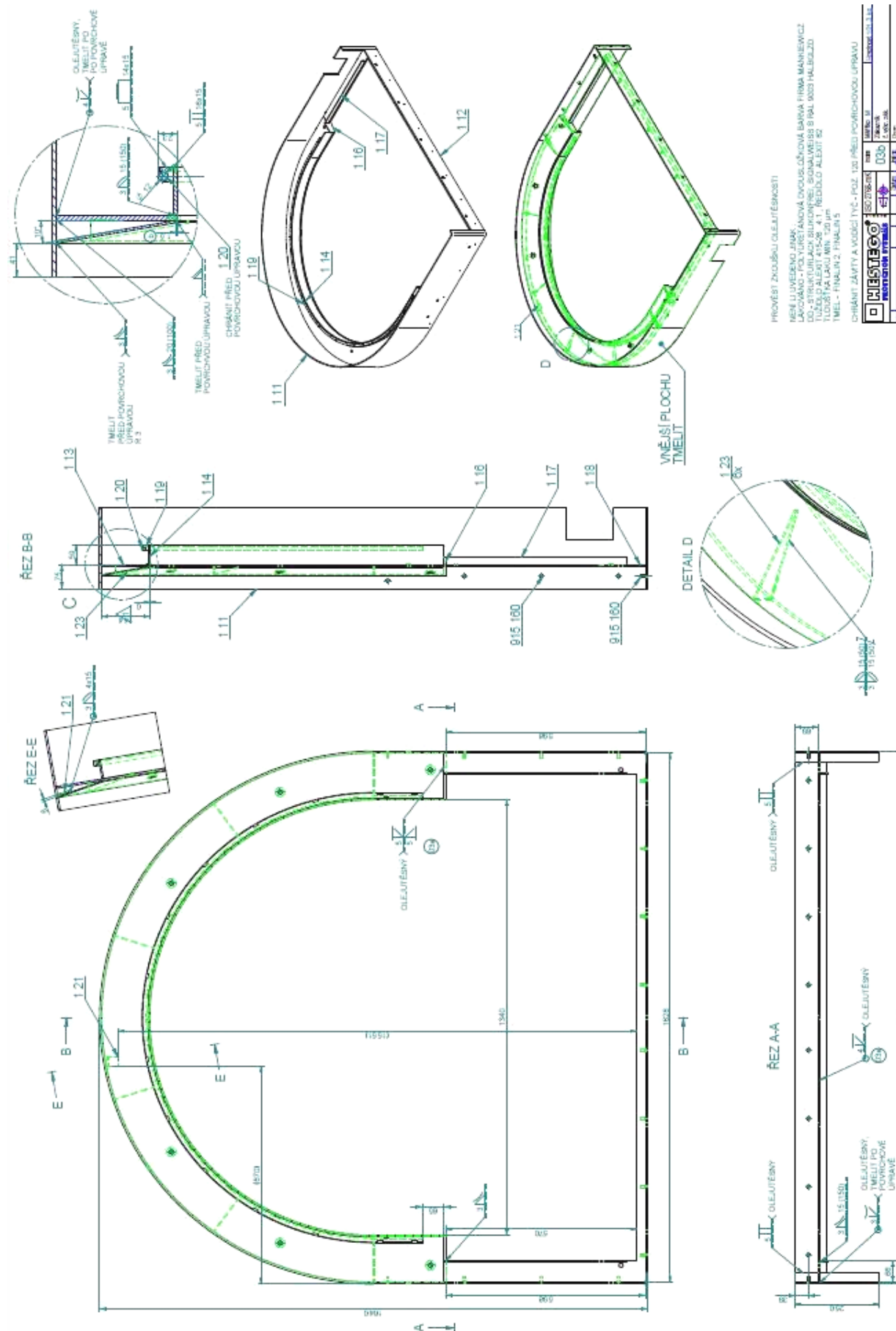
Označení chemického složení, stav, rozměry[mm]
DC01 3.0x1250x2500

Popis materiálu: 913013

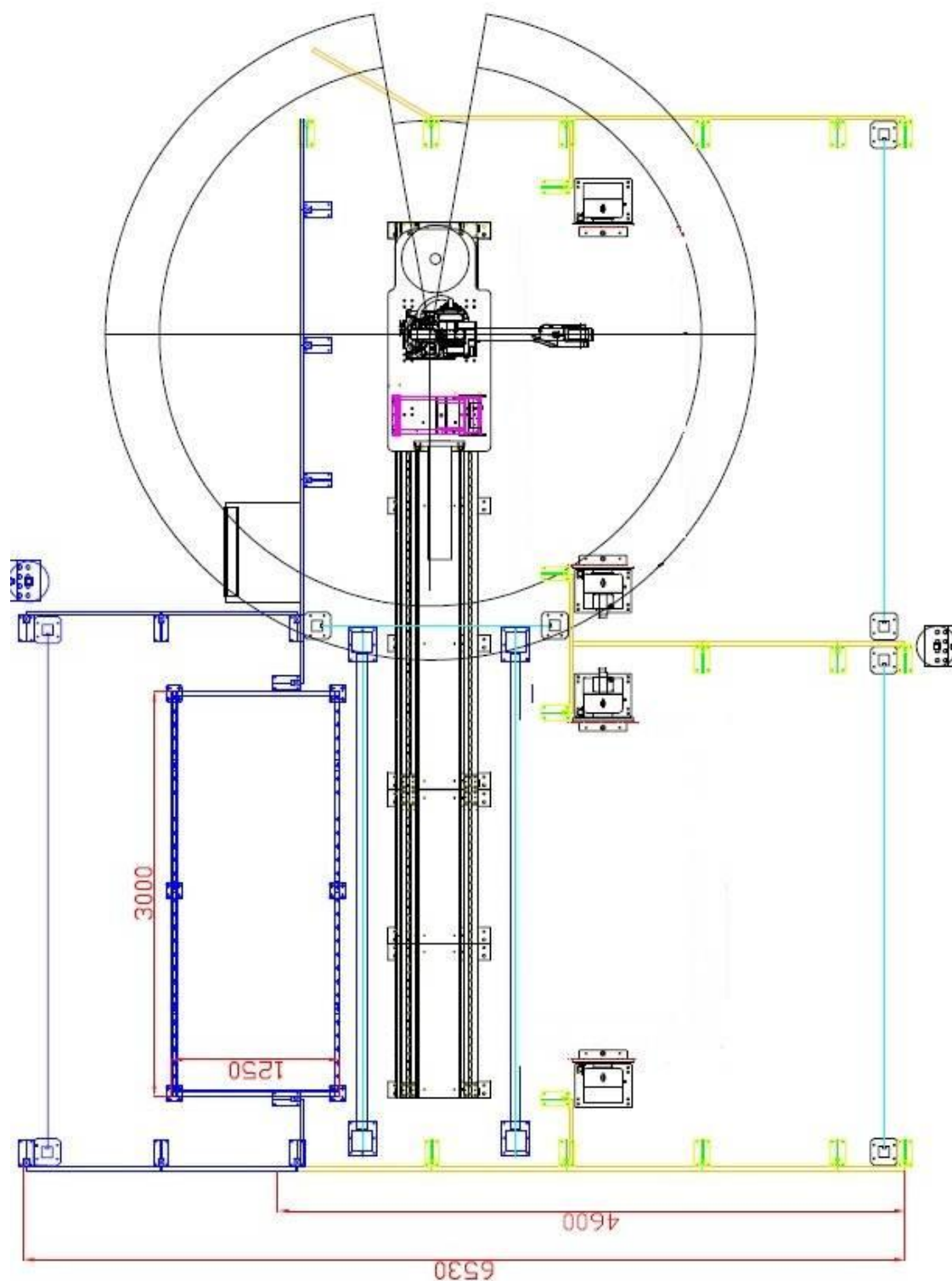
Za správnost údajů odpovídá:	Truchliková Markéta	Podpis
------------------------------	---------------------	--------

Příloha 2



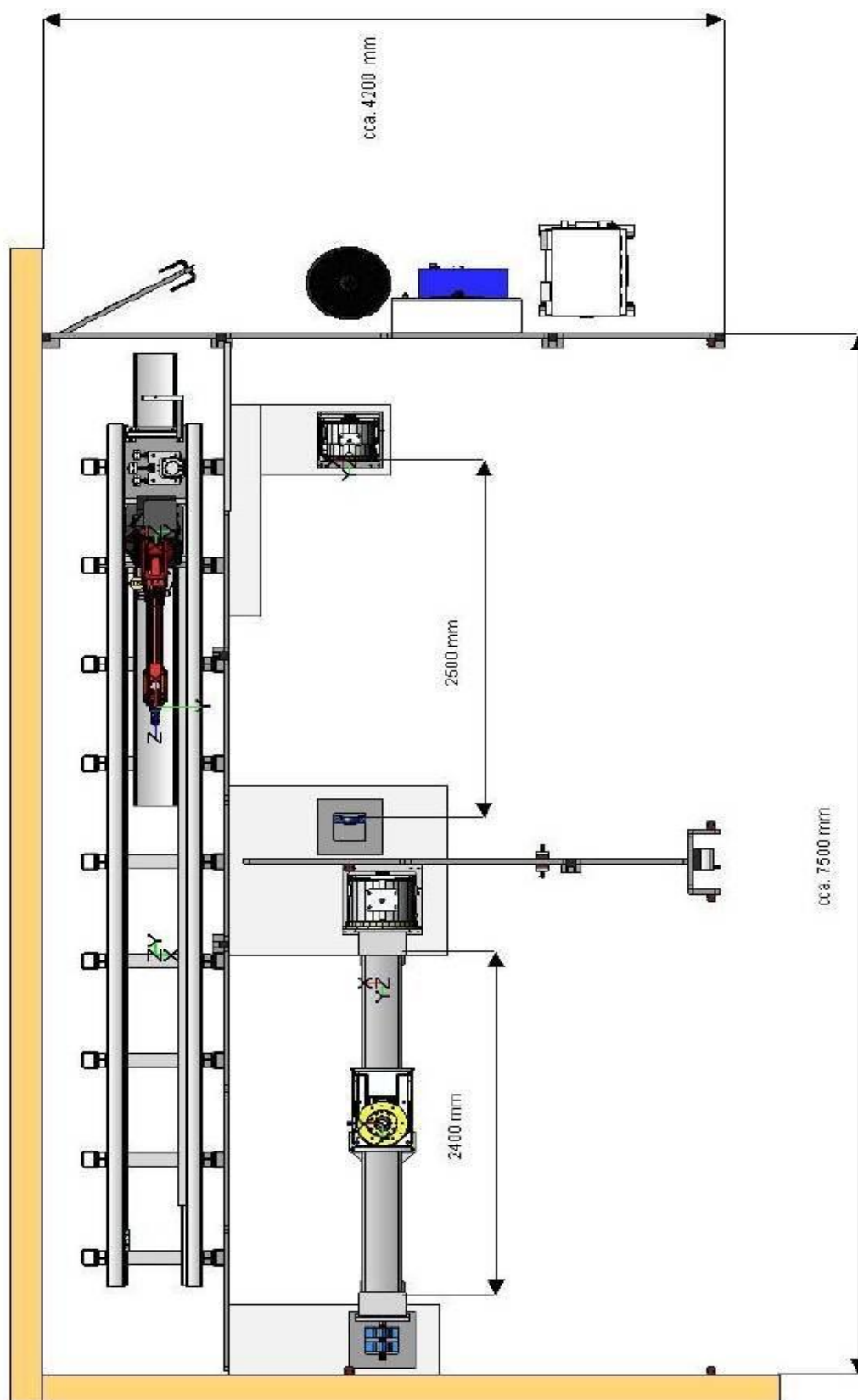


Příloha 3



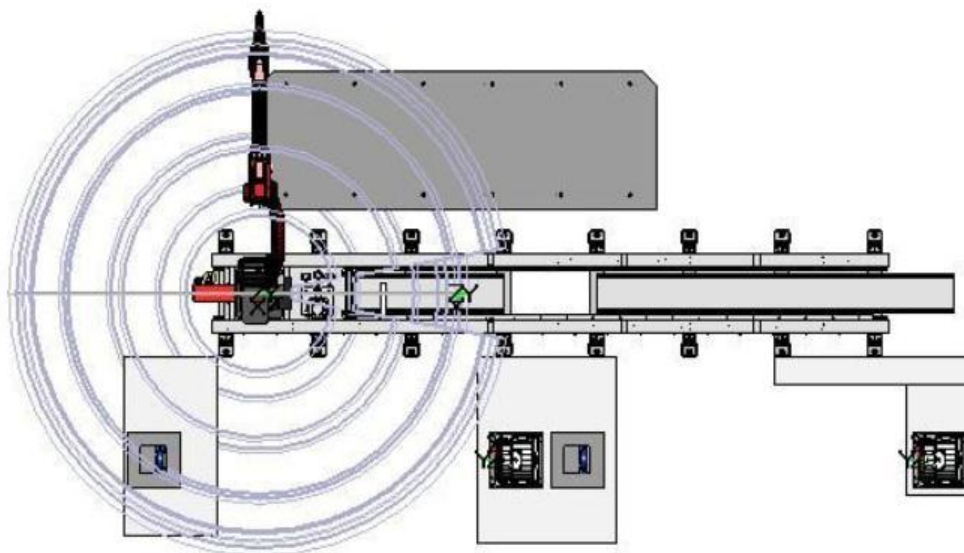
Rozměry pracoviště pro variantu 1, ve kterém je zakreslena modře i varianta s přidáním pevného stolu.

Příloha 4

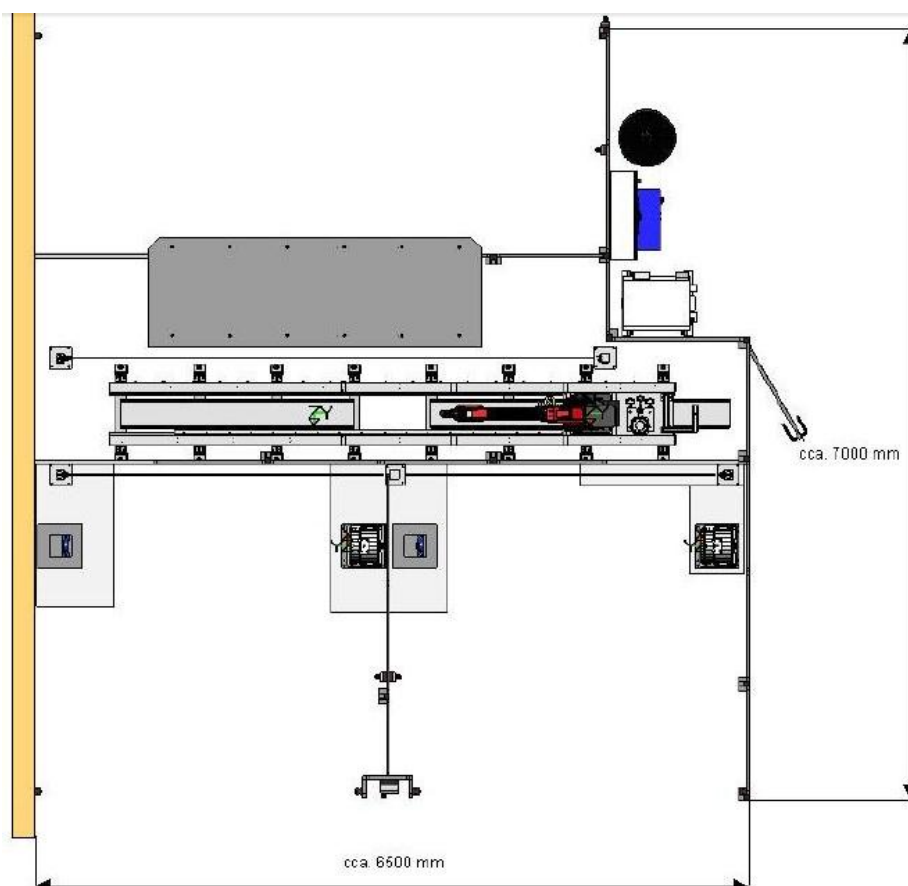


Rozměry svařovací buňky pro variantu 2

Příloha 5

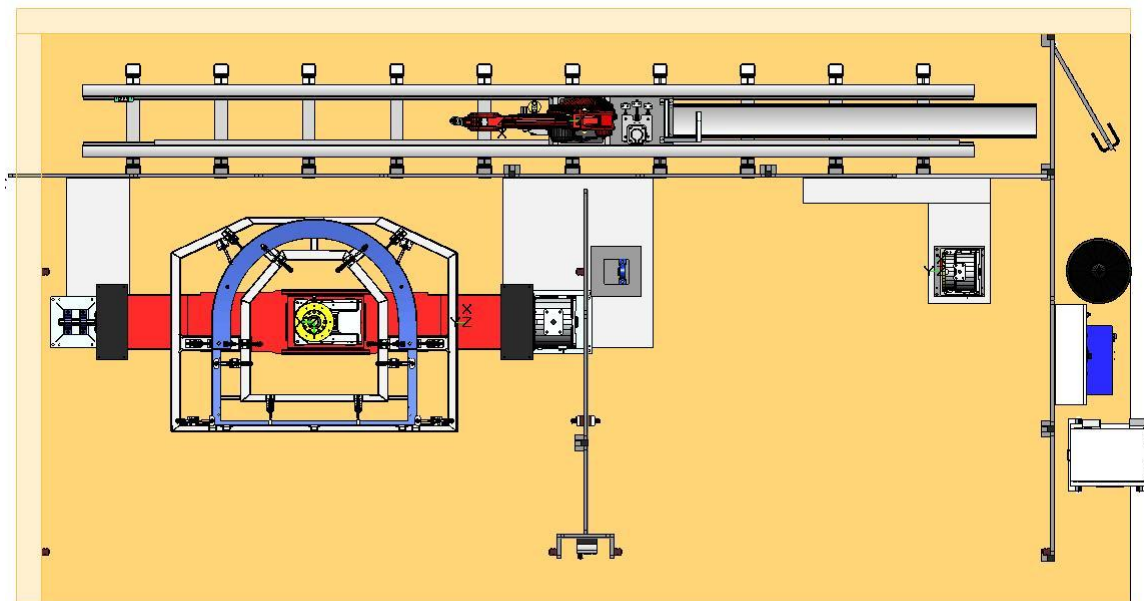


Pracovní obálka varianty 3

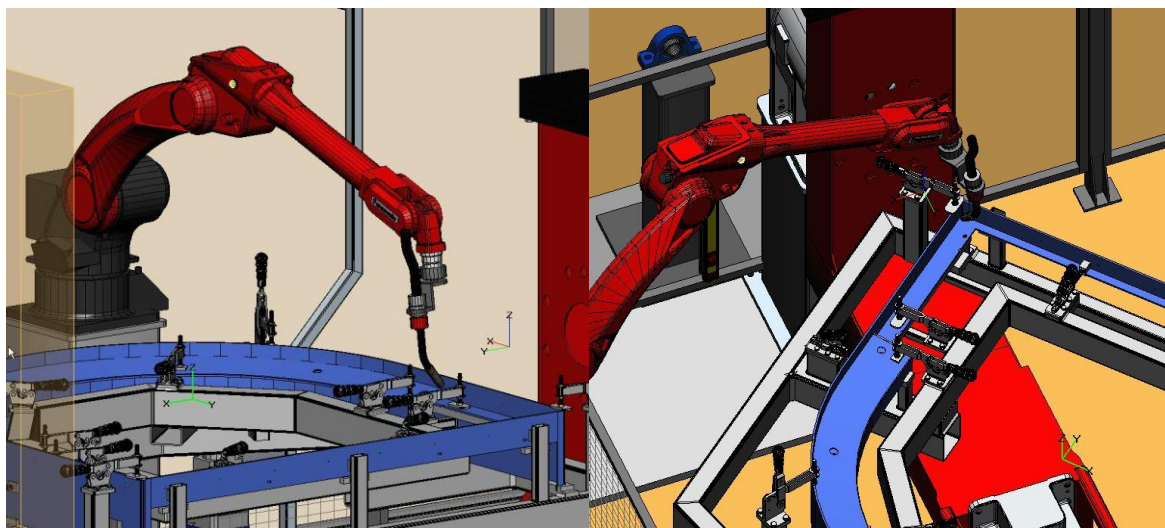


Rozměry svařovací buňky pro variantu 3

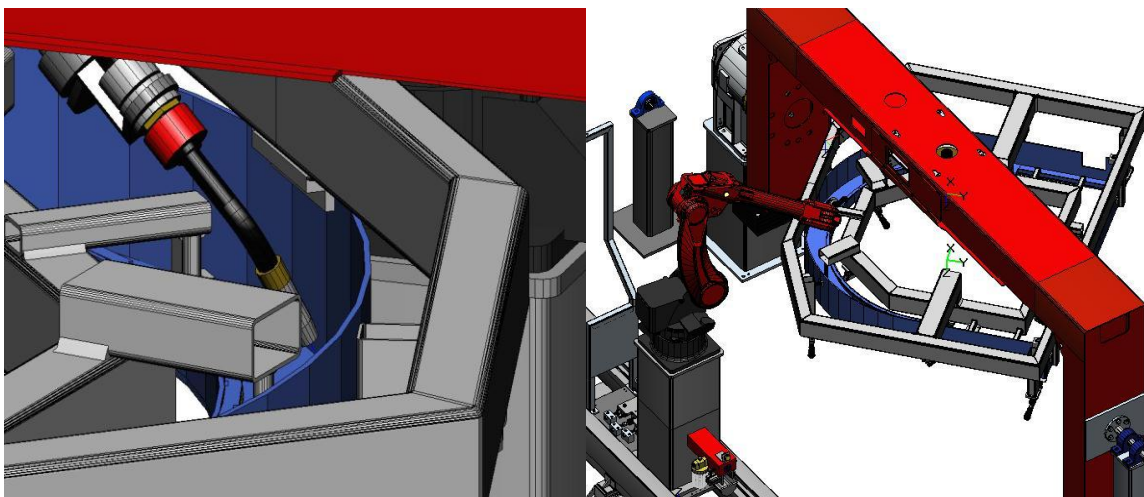
Příloha 6



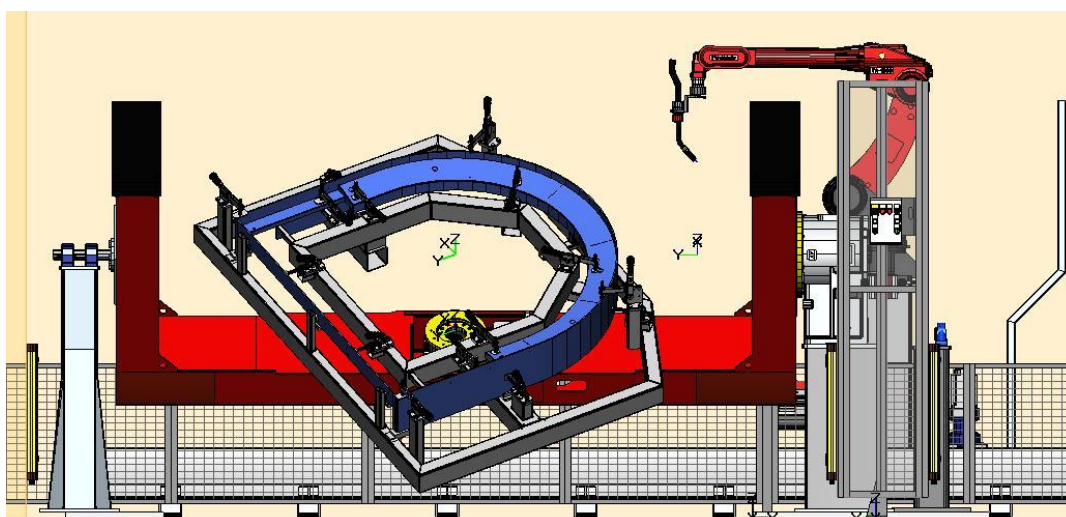
Obr. 1 Rozmístění pracoviště



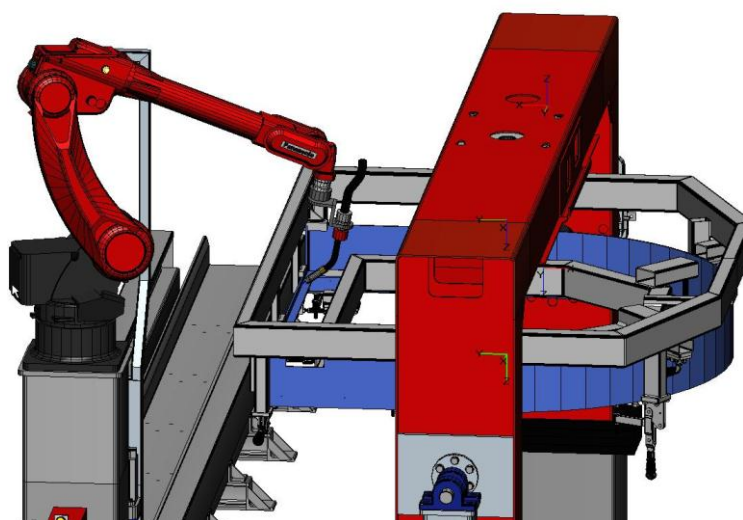
Obr. 2 Ukázka pohybu robota při svařování z horní strany



Obr. 3 Ukázka pohybu robota při svařování ze spodní strany

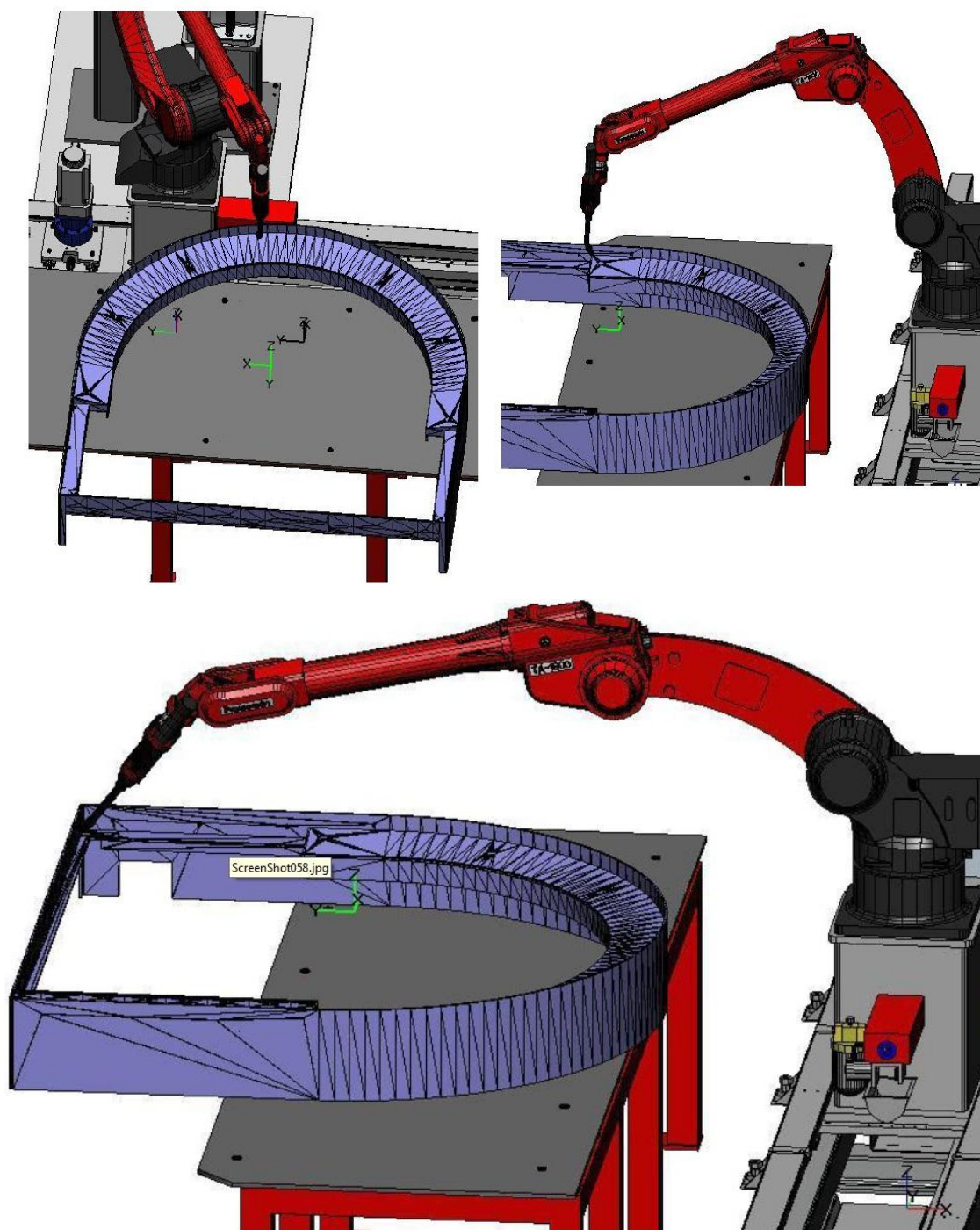


Obr. 4 Protáčení kolem osy Y



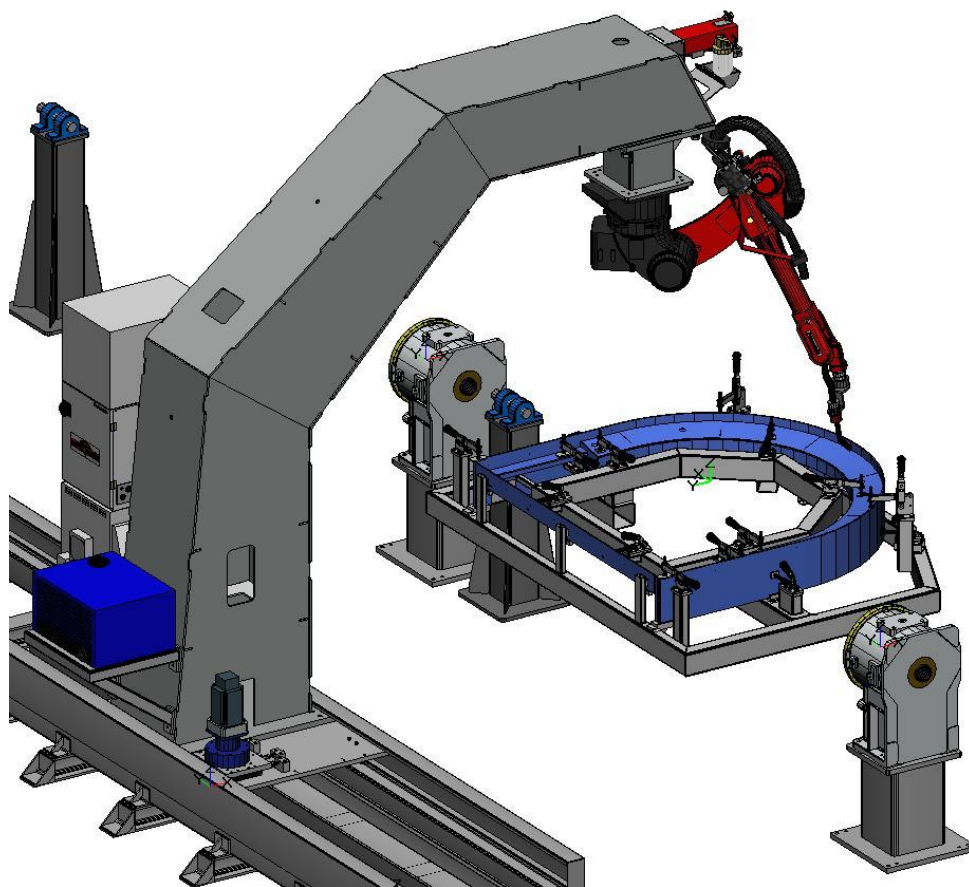
Obr. 5 Svařování spodní části po otočení kolem osy X

Příloha číslo 7

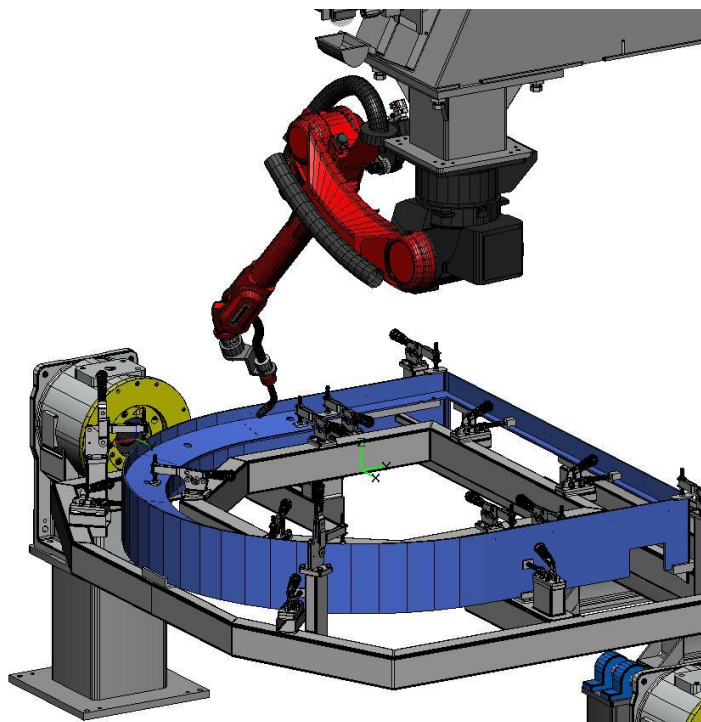


Simulace svařování na pevném stole při předem nastehovaném dílu

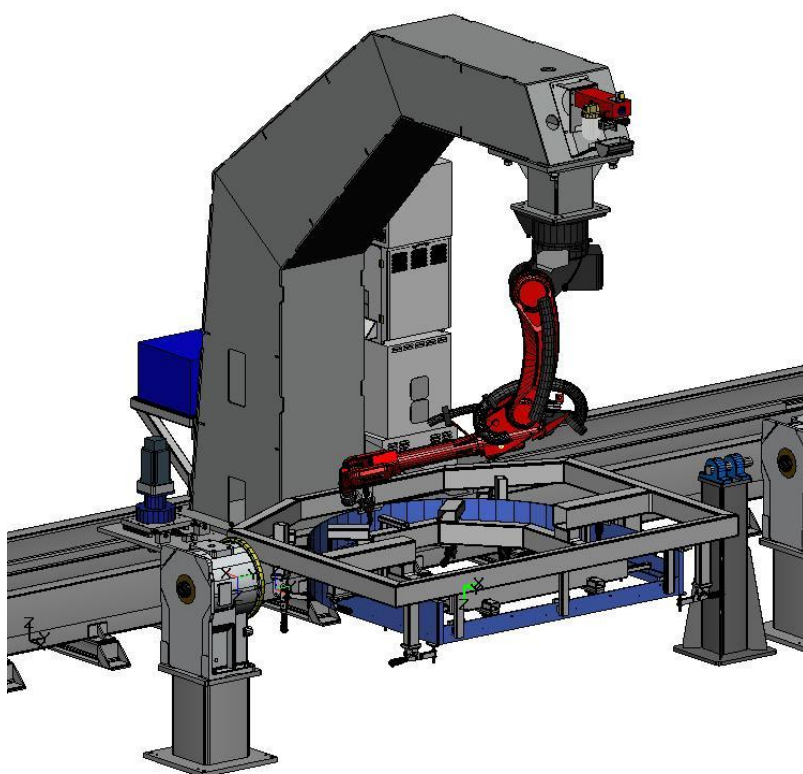
Příloha 8



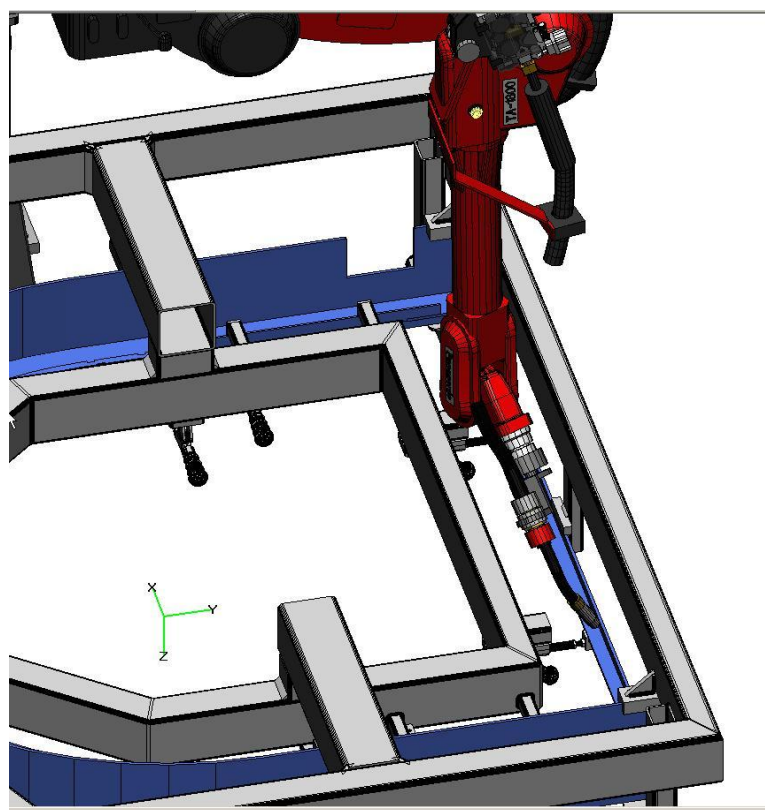
Obr. 1 Simulace svařování horní části svařence



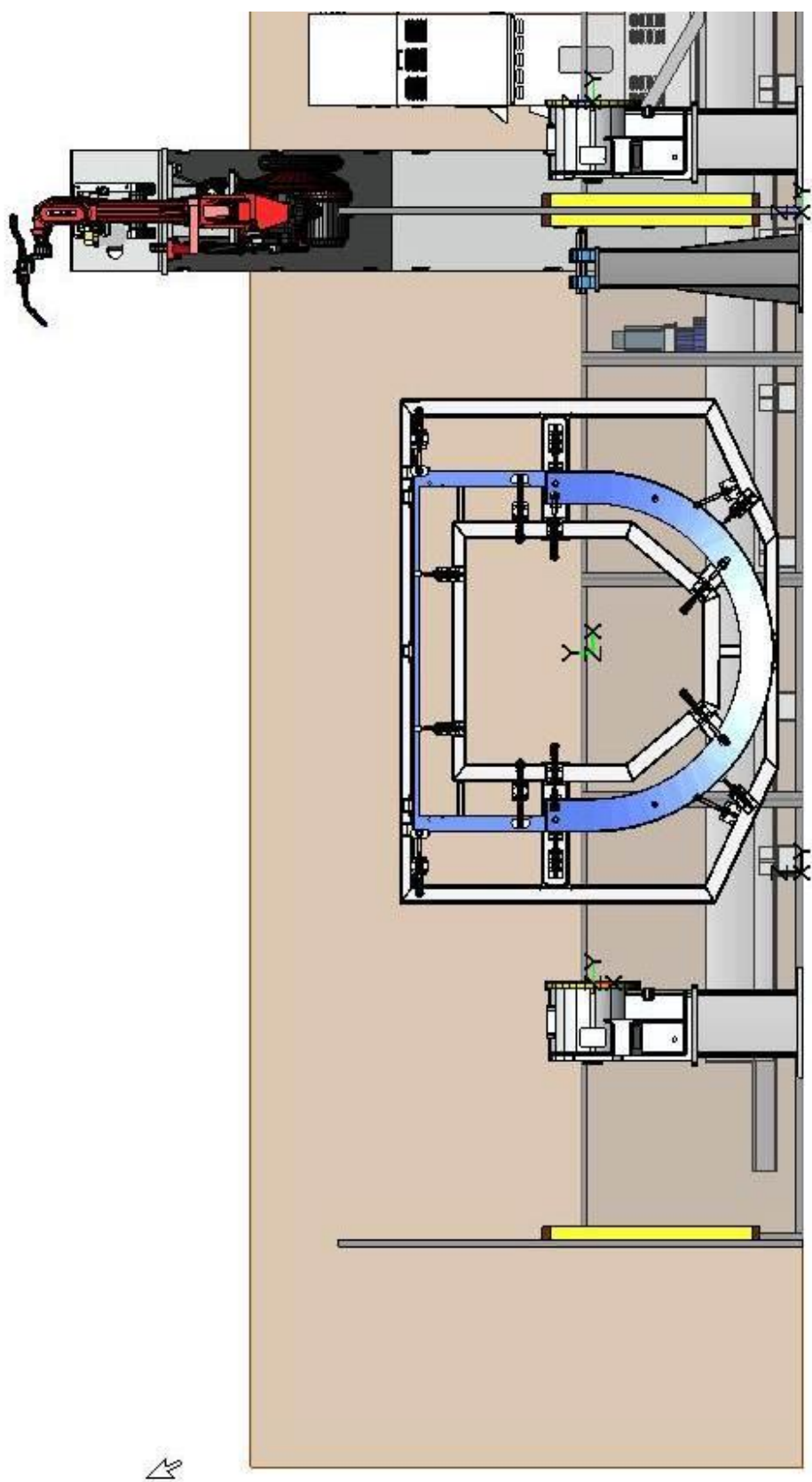
Obr. 2 Simulace svařování svaru u obloukové části



Obr. 3 Simulace svařování spodní části svařence



Obr. 4 Detail svařování spodní části svařence po jeho protočení v jednoosém polohovadle



Obr 5 Nasimulované protočení přípravku při použití jednoosého polohovadla