



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV VÝROBNÍCH STROJŮ, SYSTÉMŮ A ROBOTIKY

INSTITUTE OF PRODUCTION MACHINES, SYSTEMS AND ROBOTICS

ROBOTICKÉ SVAŘOVÁNÍ HLINÍKOVÝCH SLITIN

ROBOTIC WELDING OF ALUMINIUM ALLOY

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Mojmír Pekárek

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Jan Vetiška, Ph.D.

BRNO 2018

Zadání bakalářské práce

Ústav: Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky
Student: **Mojmír Pekárek**
Studijní program: Strojírenství
Studijní obor: Základy strojního inženýrství
Vedoucí práce: **Ing. Jan Vetiška, Ph.D.**
Akademický rok: 2017/18

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 hliníkových slitin

1 Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Rešeršní práce, která je zaměřena na velmi perspektivní oblast nasazení průmyslových robotů. Práce má za cíl popsat problematiku robotizovaného svařování hliníkových slitin. Získané poznatky budou demonstrovány na ukázkové úloze v simulačním prostředí.

2 Cíle bakalářské práce:

Přehled současného stavu technologií sváření hliníku. Přehled současného stavu robotizování svářecích operací. Případová studie.

3 Seznam doporučené literatury:

PIRES, J. Norberto a Altino LOUREIRO. Welding robots technology, system issues and applications. Online-Ausg. London: Springer, 2006. ISBN 978-184-6281-914.

PIRES, J. Norberto. Industrial robots programming: building applications for the factories of the future. 1. New York: Springer, c2007. ISBN 978-0-387-23325-3.

SICILIANO, Bruno a Oussama. KHATIB. Springer handbook of robotics. 1. Berlin: Springer, c2008. ISBN 978-3-540-23957-4.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2017/18

V Brně, dne

L. S.

doc. Ing. Petr Blecha, Ph.D.

ředitel ústavu

doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.

děkan fakulty

ABSTRAKT

Tato bakalářská práce pojedná o robotickém svařování hliníkových slitin. Je rozdělena do čtyř částí, které jsou rešeršním souhrnem poznatků této problematiky. První část je zaměřena na robotiku a základní rozdělení průmyslových manipulátorů. Další část pojednává o třech možnostech svařování hliníkových slitin, přičemž dvě z nich jsou zaměřeny na obloukové svařování a poslední na svařování laserem. Ve třetí části jsou spojeny poznatky z přechozích kapitol a názorně demonstrovány na třech různých reálných případech, ke kterým je přidána i nadstavba o možných úpravách procesu. Na závěr práce je zpracována případová studie, která přináší aplikaci teoretických informací v praxi.

ABSTRACT

This bachelor's thesis investigates robotic welding of aluminium alloys. It is divided into four parts, which are a summary of the findings of this problematic. The first part is focused on the robotics and the main distribution of industrial manipulators. The next part investigates about three possibilities of aluminium alloys welding at which two of them are focused on arch welding and the last one on the laser welding. In the third part is illustratively demonstrated the knowledge from previous parts on three various real cases to which is added also superstructure about process modification possibilities. At the end of the thesis is processed case study, which brings application of theoretic information in practice.

KLÍČOVÁ SLOVA

Robotické svařování, hliníkové slitiny, průmyslové manipulátory, obloukové svařování, svařování laserem.

KEYWORDS

Robotic welding, aluminium alloy, industrial manipulator, arch welding, laser welding.

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

PEKÁREK, M. *Robotické svařování hliníkových slitin*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2018. 40 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Jan Vetiška, Ph.D..

PODĚKOVÁNÍ

Rád bych poděkoval panu Ing. Janu Vetiškovi, Ph.D. za jeho vedení a odborné rady, kterými mi pomohl během psaní této práce.

ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že tato práce je mým původním dílem, zpracoval jsem ji samostatně pod vedením Ing. Jana Vetišky, Ph.D. a s použitím literatury uvedené v seznamu.

V Brně dne 24.05.2018

.....

Mojmír Pekárek

OBSAH

1	ÚVOD.....	14
2	ROBOTICKÉ MANUPULÁTORY A SYSTÉMY	15
2.1	Úvod do automatizace svařování	15
2.2	Svařovací manipulátory a roboty	15
2.3	Typy manipulátorů.....	16
2.3.1	Manipulátory s pevným programem (1. generace).....	16
2.3.2	Manipulátory s proměnlivým programem (2. generace)	16
2.3.3	Kognitivní roboti (3. generace)	16
2.4	Kinematika průmyslového robotu	17
2.4.1	Struktura TTT	17
2.4.2	Struktura RTT.....	17
2.4.3	Struktura RRT.....	18
2.4.4	Struktura RRR	19
2.4.5	SCARA (RRTR).....	19
2.4.6	Struktura s paralelní kinematikou.....	20
2.4.7	Robot s dvěma rameny	21
3	TECHNOLOGIE SVAŘOVÁNÍ HLINÍKOVÝCH SLITIN.....	22
3.1	Hliníkové slitiny	22
3.2	Svařitelnost	22
3.3	Svařování metodou TIG (Tungsten Inert Gas)	22
3.3.1	Svařovací hořák pro metodu TIG	23
3.3.2	Svařovací proudy	24
3.3.3	Rychlost svařování	25
3.3.4	Délka oblouku.....	25
3.3.5	Ochranné plyny.....	25
3.3.6	Přídavný materiál.....	26
3.4	Svařování metodou MIG (Metal Inert GAS).....	26
3.4.1	Svařovací hořák pro metodu MIG	27
3.4.2	Svařovací proud.....	28
3.4.3	Svařovací napětí	28
3.4.4	Svařovací rychlost	28
3.4.5	Délka elektrody.....	28
3.4.6	Přídavný materiál.....	28
3.4.7	Ochranné plyny.....	28
3.5	Svařování laserovým paprskem	29
3.5.1	Zdroje laserového záření	29
3.5.2	Působení paprsku na materiál	30
3.5.3	Svařovací rychlost	30
3.5.4	Formování plazmy	30
3.5.5	Plyny pro sváření	30
4	APLIKACE ROBOTICKÉHO SVAŘOVÁNÍ HLINÍKOVÝCH SLITIN.....	31
4.1	TIG svařování pomocí robota ABB.....	31
4.2	MIG svařování robotem Panasonic	33
4.3	Svařování laserem robotem Kuka	34
5	PŘÍPADOVÁ STUDIE.....	36
6	ZÁVĚR.....	38
7	SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ.....	39

1 ÚVOD [1]

Vývoj trhu s sebou nese nutnost úprav průmyslové výroby, zejména v podobě nárůstu objemu výroby a zaměření se na kvalitu výrobků. Tyto kroky jsou dnešní firmy nuceny činit z důvodu konkurenceschopnosti vůči ostatním výrobcům a je tak vytvořeno velké pole působnosti pro automatizaci.

Automatizace jako taková je čím dál častěji uskutečňována využitím průmyslových robotů. Tito roboti mají nemalou výhodu ve své všestrannosti, ale hlavně ve schopnosti nahrazování lidské činnosti na místech, kde není lidský faktor nějakým způsobem ideální, či přímo nežádoucí. Za taková místa můžeme považovat pracovní pozice v prostorech životu škodlivých, místa člověku špatně přístupná, nebo pracovní místa, kde lidská přesnost a schopnost přesnosti při opakovaném procesu nejsou zcela možné. V takovém případě je nasazení průmyslového robota velice výhodné.

V oblasti svařování hliníku je užívání robotů naprosto běžné, a to hlavně z důvodu, že svařování je proces pro automatizaci ideální. Při velkosériovém svařování je neustále prováděna jedna a ta samá svařovací operace. Robot je takovouto operaci schopen provádět takřka v neomezeném cyklu. Vyloučení lidského faktoru má také velkou výhodu v eliminaci nároků na pracovní podmínky, organizace práce, nemocí pracovníků, a hlavně vyplácení mezd. Pořizovací náklady robota jsou sice vysoké, ale vzhledem k zefektivnění práce a snížení zmetkovitosti je návratnost investice relativně rychlá. Samotná návratnost robotu se velice liší s vykonávanou činností. Pořizovací cena robotu totiž zákonitě roste s velikostí a požadavky na vybavení. Návratnost jako taková závisí na vytíženosti robotu a typu činnosti. U svařování se uvádí návrat zhruba dva a půl roku.

Nasazení robotu ale nemusí být jen v případě velkosériové výroby. V oblasti zakázkové výroby je automatizace taktéž velice vítaná, a to z důvodu neomezené škály křivek, po kterých je robot schopen svařovat. Díky tomu je možno robota účelně aplikovat, neboť jsou jednotlivé svařovací operace programovány programy, které pracují s modely vytvořenými v CAD systémech a umožňují tak relativně snadné programování. V takovémto případě se jedná v podstatě o jedinou možnou automatizaci, jelikož aplikování takzvané tvrdé automatizace, kdy je linka nastavena na určitý výrobek, samozřejmě není možná.

Z hlediska preciznosti má robotické svařování velkou výhodu v možnostech nastavení rychlosti svařování a svařovacích proudů. Tato možnost je samozřejmě i v případě manuálního svařování, je ovšem potřeba přihlédnout k faktu, že kontrola svařovacího procesu a jeho úpravy v průběhu operace jsou velice obtížné a vyžadují značné zkušenosti, protože se jedná o metodu, kdy se působí velikou teplotou na malou část dílu a vznikají tak změny v materiálové struktuře, které mohou vést i k znehodnocení materiálu v podobě vzniku koncentrátorů napětí a následně plastických deformací v teplem ovlivněné oblasti, se kterými se v původním návrhu svaru nepočítalo. V tomto ohledu je svar vytvořený robotem omezen pouze schopnostmi člověka, který celý proces nastavuje, a proto v odzkoušeném programu není možnost vytváření dalších chyb.

2 ROBOTICKÉ MANUPULÁTORY A SYSTÉMY

Tato kapitola pojednává o robotických manipulátorech používaných pro svařování, zejména pak jejich technických vlastnostech, konstrukci a problematice ve spojení se svařovacím procesem.

2.1 Úvod do automatizace svařování [1], [2]

Důvodem automatizace svařování je potřeba zjednodušovat svařovací proces, aby se tak stal efektivnější a kvalitnější. Zjednodušení je uskutečňováno využitím technických prostředků tak, aby byly schopny pracovat samostatně, pokud možno absolutně bez zásahu člověka. Takový proces je potom řízen pouze řídicím softwarem, který je v dnešní době již schopen reagovat na zpětné vazby z čidel, které kontrolují významné hodnoty a upravovat tak průběh, aby eliminoval případné chyby.

Velikým průkopníkem této metody je hlavně automobilový průmysl. Zde je totiž požadavek na velký objem výroby a zároveň vysoké kvality svarů, což k automatizaci a odstranění lidského faktoru přímo vybízí. Strojové svařování má totiž tyto výhody:

- vysoká kvalita svarů díky stabilnímu oblouku, délce svaru a rychlosti,
- stejná kvalita při opakování,
- vyšší rozměrová přesnost,
- vysoká pracovní frekvence a snížení výrobních nákladů,
- nepřetržitý provoz,
- nízké nároky na pracovní podmínky.

Na druhou stranu jsou zde i nevýhody:

- vysoká pořizovací cena strojů řídicích jednotek,
- nutnost stálé dodávky energie (pořízení záložních zdrojů a kvalitní rozvodní sítě),
- pravidelná údržba,
- správa výroby z hlediska informační technologie (velký přenos dat, úprava programů).

2.2 Svařovací manipulátory a roboty [2]

Průmyslový robot je podle normy definován jako „Automaticky řízený, programovatelný, víceúčelový manipulátor pro činnost ve třech nebo více osách“. Robotické svařování je realizováno právě pomocí těchto programovatelných manipulátorů. Jedná se o stroje s vysokou přesností, a schopností opakování. U manipulátorů se střední nosností, kam řadíme břemena o hmotnosti 16 až 20 kg, se přesnost pohybuje okolo 0,1 mm. Je zjevné, že tato přesnost není dostatečná pro obrábění, ale pro svařování ano. Menší manipulátory mají pak přesnost až 0,01mm. Samotný manipulátor je koncipován z řady tuhých částí, které jsou na koncích spojeny, celý řetězec je potom uchycen na jednom konci pevně k podkladu a na druhém konci je otevřený. Na tomto konci bývá uchycen koncový efektor, který vykonává požadovanou operaci. Model jako takový má nahrazovat lidskou ruku, která na konci drží nástroj.

2.3 Typy manipulátorů [3]

S vývojem vznikalo více typů, které se liší hlavně v možnostech programování a jejich chování ve výrobním procesu. Zejména kvůli tomuto postupnému vývoji se dělí do tří takzvaných generací.

2.3.1 Manipulátory s pevným programem (1. generace)

Program těchto manipulátorů je jasně daný a během prováděné operace se nijak nemění. Řízení je prováděno elektro-mechanickým řídicím ústrojím, ve kterém je program specifikován logickými obvody a záložkami. Program je tedy možné změnit jejich přenastavením. Nevýhodou těchto manipulátorů je jejich jednostrannost, ovšem jsou případy, kdy tato konfigurace postačí. Na druhou stranu je jejich výhodou velká spolehlivost a jednoduchost.

2.3.2 Manipulátory s proměnlivým programem (2. generace)

Tyto manipulátory mají v paměti naprogramováno vícero programů a jsou schopni je měnit v závislosti na jejich poloze v pracovním procesu. Jejich řízení už je plně zabezpečováno elektronickým řídicím systémem, což zajišťuje jejich vysokou inteligenci a samostatnost. Hlavní výhodou těchto manipulátorů je jejich všestrannost při jednom nastavení a čistě softwarová interakce.

2.3.3 Kognitivní roboti (3. generace)

Vývoj těchto robotů je směřován hlavně směrem ke zvyšování jejich inteligence. Na rozdíl od předchozích typů jsou kognitivní roboti schopni reagovat na své okolí a kooperovat s ním. Tato vlastnost je využívána hlavně při činnostech, ve kterých je nutná spolupráce člověka s robotem. Tito roboti nemusí být izolováni na svém pracovišti a zavření v bezpečnostní kleci. Díky schopnosti pozorovat své okolí a reagovat na silové působení nejsou nijak nebezpeční a zvládají přímý kontakt. Mnoho z nich je také vybaveno obrazovkou, jako můžeme vidět na obrázku 1), která zobrazuje oči, a má tak okolí dát najevo, na co se zrovna robot soustředí a jakým směrem má jeho program pokračovat. Nevýhodou je však bezpečností omezená rychlost a odpovídající snížená účinnost. Proto je pro velkou část operací stále výhodnější využití robotů druhé generace, jelikož je při nich lidská přítomnost nepotřebná a rychlost procesu je směrodatná.



Obr. 1) Kognitivní robot [4].

2.4 Kinematika průmyslového robotu [2]

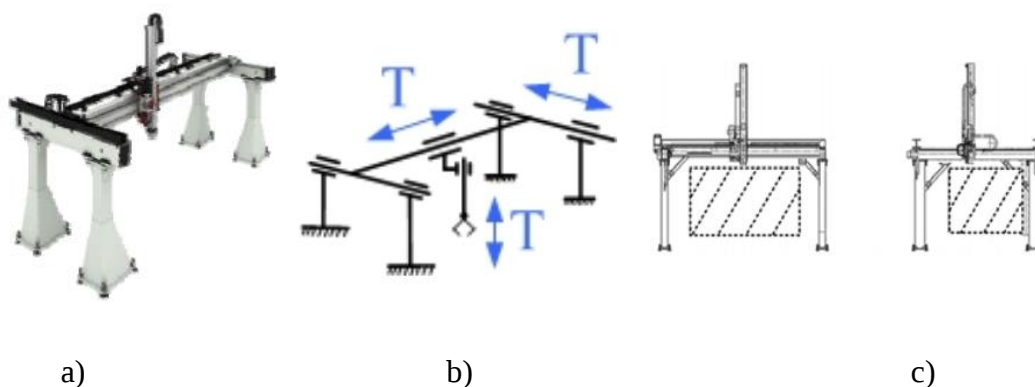
Zvolená kinematika je závislá hlavně na operaci, kterou má daný robot vykonávat a nutnosti využití prostoru. Vlastnosti robota jsou potom dané translací nebo rotací kinematických dvojic.

Kinematická dvojice

Definuje se pomocí dvou členů, které danou dvojici tvoří, a jejich pohybem. Dále pak spojující vazbou. Využívané vazby jsou translační a rotační. Tyto vazby mají jeden stupeň volnosti, který umožňuje pohyb nebo natáčení v jedné oso. Aby byl řetězec plně definován, je tento volný pohyb určen silou či kroutícím momentem, vyvolávaným pohonným motorem vazby, a dochází tak k úplné regulaci pohybu. Následný řetězec těchto vazeb a jejich kombinace v řetězci vytváří základní kinematické struktury.

2.4.1 Struktura TTT

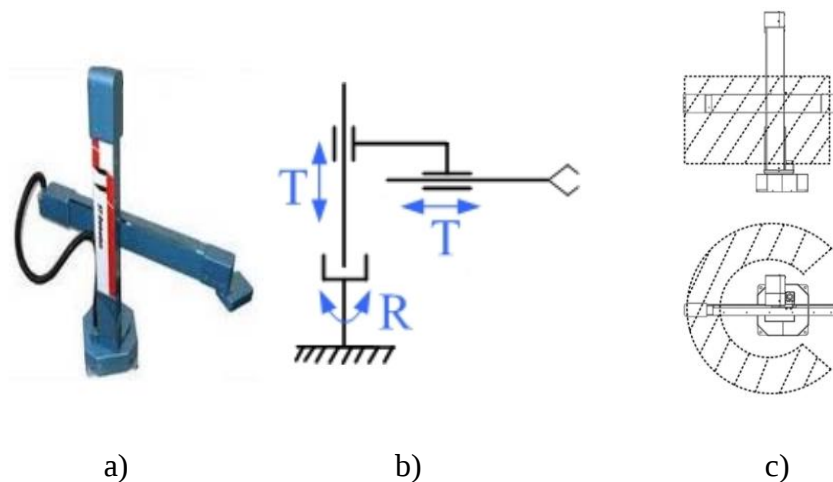
Struktura TTT nebo také portálová, využívá Kartézského souřadného systému. Skládá se ze tří navzájem kolmých translačních kinematických dvojic. Jeho kinematická struktura je velice jednoduchá a systém je tak stabilní. Využívá se hlavně pro manipulaci věcí. Pracovní prostor tohoto typu je kvádr či krychle. Hodí se pro manipulaci ve velkých prostorech. Nevýhodou je nižší prostorová přístupnost a pohyblivost. Jeho konstrukce zabírá velký prostor, jak můžeme vidět na obrázku 2a).



Obr. 2) Kinematická struktura TTT a) robot typu TTT b) kinematické schéma struktury c) pracovní prostor TTT [2].

2.4.2 Struktura RTT

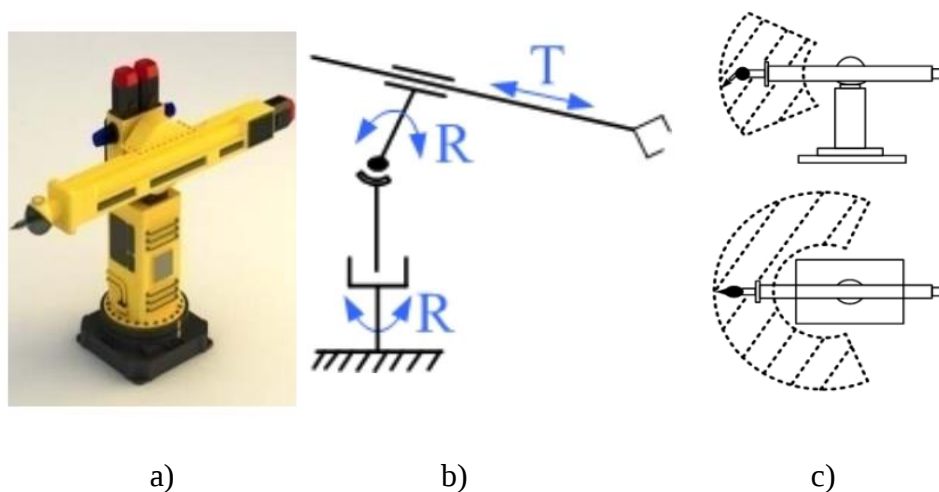
Tyto manipulátory využívají cylindrický souřadný systém. Mají jednu rotační a dvě translační kinematické dvojice, jak je vyobrazeno na obrázku 3b). Rotace je většinou realizována ve vazbě se základním tělesem a otáčí tak celým řetězcem. Translace pak umožňují posuvy v horizontální a vertikální rovině. Pracovním prostorem u takového manipulátoru je válcový prstenec nebo jeho část v závislosti na konstrukci a jejich limitech. Nevýhodou je nevyužitý prostor, který zabírá konzole v ose „z“ a natáčení přemísťovaného tělesa při přesunu.



Obr. 3) Kinematická struktura RRT a) robot typu RRT b) kinematické schéma struktury c) pracovní prostor RRT [2].

2.4.3 Struktura RRT

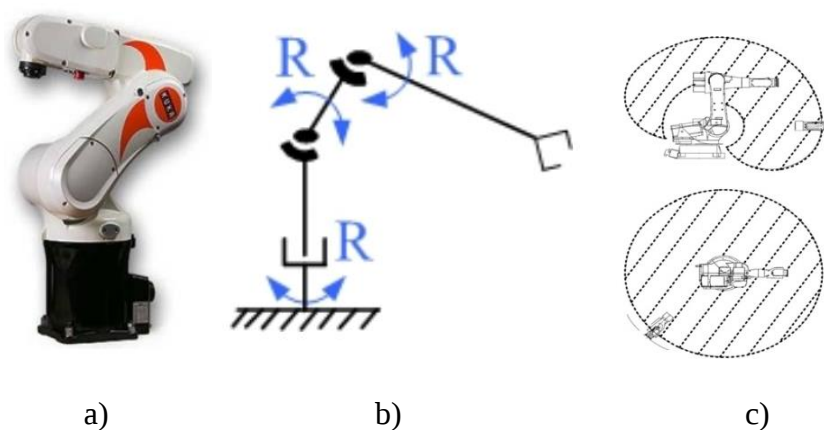
Tato struktura využívá sférický souřadnicový systém. Na rozdíl od typu RRT umožňuje tento typ kromě natáčení v ose „z“ také natáčení ramene kolem osy „y“. Pracovním prostorem je zde kulový segment kromě středového úseku, který opět zabírá středová konzole. V tomto případě dochází v natáčení přemísťovaného tělesa ve dvou směrech. Příklad takového robotu můžeme vidět na obrázku 4a).



Obr. 4) Kinematická struktura RRT a) robot typu RRT b) kinematické schéma struktury c) pracovní prostor RRT [2].

2.4.4 Struktura RRR

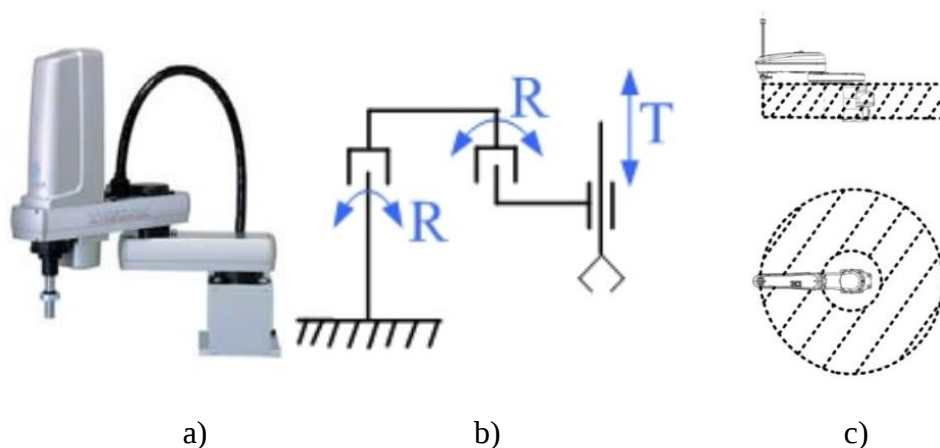
Tento typ využívá angulárního souřadného systému. Řetězec je tvořen třemi rotačními vazbami a pohyb se tedy skládá ze tří rotací. Z toho plyne, že pracovní prostor tvoří složené kulové segmenty. Jedná se o velice používaný typ, a to hlavně z důvodu vysoké manipulovatelnosti a dosahu. Díky třem rotacím je schopen dosáhnout velice blízko středu rotace robotu, jak je vidět na obrázku 5c). Kinematika daného pohybu je velice složitá. Dochází k natáčení tělesa ve třech osách a pro stabilizaci do vodorovné polohy je tak potřeba dalších tří rotačních vazeb.



Obr. 5) Kinematická struktura RRR a) robot typu RRR b) kinematické schéma struktury c) pracovní prostor RRR [2].

2.4.5 SCARA (RRTR)

Celým názvem Selective Compliance Assembly Robot Arm je typem, který umožňuje pohyb ve 4 osách. První dvě osy jsou rotační, další dvě osy jsou umístěny pouze na jednom tělese, které koná jak rotaci, tak translaci. Jedná se o speciální typ, který kinematikou nejvěrněji realizuje pohyb lidské ruky. Je využíván hlavně na přesné přemísťování věcí v prostoru, jedná se o takzvanou operaci „Pick up and place“. Pracovní prostor tvoří část válcového prstence. Výhodou je přesnost, rychlost, zrychlení manipulace a díky konstrukci velká spolehlivost. Pracovní prostor robota je tvořen prstencem (obr. 6c).

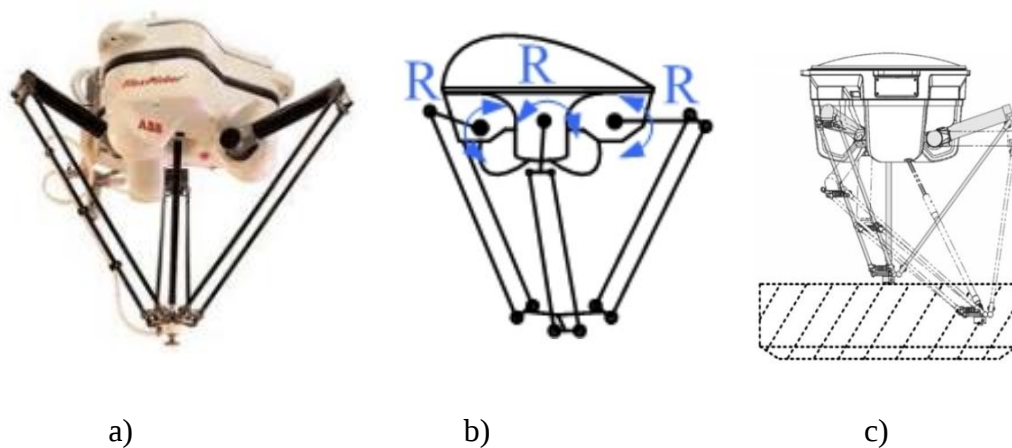


Obr. 6) Kinematická struktura SCARA a) robot typu SCARA b) kinematické schéma struktury

c) pracovní prostor SCARA [2].

2.4.6 Struktura s paralelní kinematikou

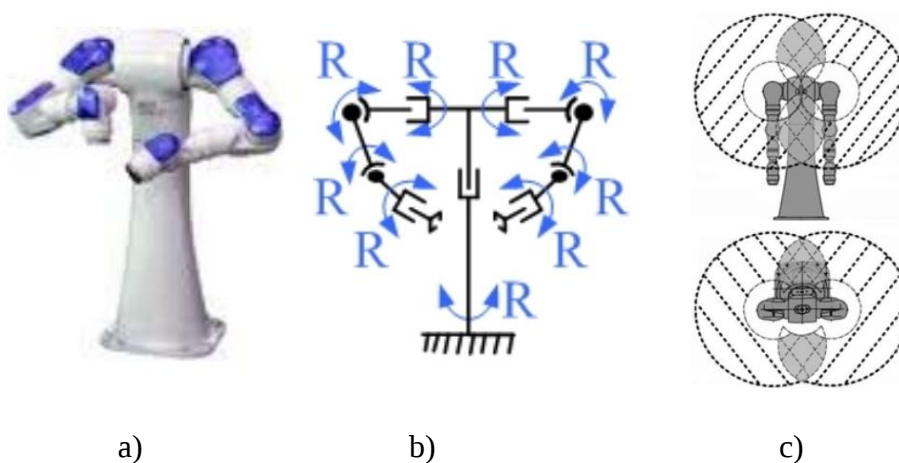
Tyto mechanismy, zvané například hexapody nebo také 3-pody, název se mění v závislosti napočtu členů, využívají paralelní kinematiku. Skládají se ze tří až šesti paralelních členů a obsahují 2 platformy. Jedna z nich je ovládaná změnou délky ramen, která pracují paralelně. Výstupním členem je plošina, která má od tří do šesti stupňů volnosti vůči druhé (základní) platformě. Pohyb využívá buď jednotlivé lineární či rotační pohyby, nebo jejich kombinaci. Pracovní prostor není lehce definovatelný a je dán délkou a natočením jednotlivých kloubů. Výhodou těchto mechanismů je vysoká rychlost při dosažení požadované pozice a vysoká tuhost konstrukce. Nevýhodou je náročné řízení, jelikož pohyb každého ramene mění úhlovou polohu ostatních ramen. Dále je znatelná tepelná dilatace u modelů s dlouhými rameny. Příklad takového mechanismu můžeme vidět na obrázku 7a), na kterém se nachází robot od firmy ABB.



Obr. 7) Kinematická struktura s paralelní kinematikou a) robot ABB IRB b) kinematické schéma struktury c) pracovní prostor [2].

2.4.7 Robot s dvěma rameny

Jedná se o mechanismus, který má věrně napodobovat práci lidských rukou. Je vybaven dvěma rameny (obr. 8a) s 13 stupni volnosti, kdy na každé rameno připadá 6 stupňů volnosti a jeden připadá rotaci okolo vlastní osy. Díky jeho vlastnostem je využíván pro montážní operace a našel také velikou využití u kognitivních robotů.



Obr. 8) Dvouramenná struktura a) robot s dvěma rameny b) kinematické schéma struktury c) pracovní prostor [2].

3 TECHNOLOGIE SVAŘOVÁNÍ HLINÍKOVÝCH SLITIN

V této kapitole se budeme zabývat použitelnými metodami ke svařování hliníkových slitin, jejich možnostmi a omezeními. Z hlediska svařování je hliník velice náročný materiál, hlavně kvůli jeho fyzikálním a chemickým vlastnostem.

3.1 Hliníkové slitiny [5] [6]

Hliníkové slitiny jsou slitiny hliníku, které obsahují více než jedno procento legujících prvků. Legujícími prvky v těchto slitinách jsou hlavně křemík, mangan, hořčík, měď a zinek. Procenta obsahu legujících prvků bývá velice malá, neboť je jejich rozpustnost v hliníku značně omezena, ale i tak dokáží značně změnit jejich vlastnosti. Dominantními vlastnostmi je jejich nízká hmotnost, elektrická vodivost a odolnost vůči korozi (s výjimkou slitin obsahujících měď). Hlavní překážkou při svařování je tvorba vrstvy oxidu hlinitého (Al_2O_3), která sice zajišťuje odolnost vůči korozi, ale díky své elektrické nevodivosti a teplotě tání 2250°C , což je asi trojnásobek teploty tání hliníku, není příznivá pro svařovací proces. Slitiny dělíme do těchto základních skupin.

- Slitiny Al-Si (5–13 % Si): dobrá odolnost vůči korozi, horší mechanické vlastnosti, svařitelné,
- slitiny Al-Mn (1,5 – 2,5 % Mn): dobrá tvářitelnost, svařitelné,
- slitiny Al-Mg (2–9 % Mg): nižší pevnost, svařitelné,
- slitiny Al-Cu-Mg (3–5 % Cu a 1 % Mg): vyšší pevnost, obtížně svařitelné,
- slitiny Al-Zn-Mg (3–5 % Zn a 1–2 % Mg): vyšší pevnost, obtížně svařitelné.

3.2 Svařitelnost [6]

Svařitelnost je definována jako schopnost materiálu vytvořit svarový spoj požadovaných vlastností. Hlavním ovlivňujícím faktorem je již zmíněná přítomnost vrstvy Al_2O_3 , která zabraňuje metalickému spojení svařovaného materiálu a přídavného materiálu. Proto tato vrstva musí být odstraněna. Odstranění této vrstvy je možno provádět chemickou cestou, kdy je použito rozpouštědel této vrstvy. Její obnovení je však velice rychlé a je tak vhodnější odstranění elektrickým obloukem přímo při svařování. Tato metoda bude popsána v kapitole o svařovacích proudech. U vytvrditelných slitin je nutné svařovat ještě před vytvrzením, aby bylo dosaženo stejných vlastností materiálu i spoje.

3.3 Svařování metodou TIG (Tungsten Inert Gas) [1], [7], [5]

Tato metoda je také známa pod názvem GTAW (Gas Tungsten Arc Welding). Jedná se o metodu, která vyžívá obloukového svařování, u kterého se elektrický oblouk vyskytuje mezi svařovaným tělesem a netavitelnou elektrodou vyrobenou z wolframu. Svařovací lázeň je vytvářena ohřevem z oblouku, do kterého přídavný materiál buď může nebo nemusí být dodáván. Svařování bez přídavného materiálu se využívá při svařování plechů do 2 mm. Dodávané teplo na přídavném materiálu nijak nezávisí. Jedná se o technologii, která umožňuje precizní kontrolu ohřevu a dokáže dosáhnout svaru vysoké kvality bez zkreslení nebo rozstříku. K ochraně před atmosférickými účinky se využívá plynů argonu,

hélia a jejich směsí. Na obrázku 9) můžeme vidět příklad svaru provedeného robotem firmy Panasonic metodou TIG na hliníkovém materiálu. Je zjevné, že při použití této metody se při robotickém svařování dá dosáhnout velice kvalitního svaru. Nevýhodou je ovšem horší ekonomičnost než u ostatních metod obloukového svařování s tavitelnou elektrodou, a to kvůli nižší rychlosti nanášení a problému s chráněním svařovací lázně před povětrnostními podmínkami. Je zde taky problém se zvýšenými nároky na čistotu svařovaného tělesa i přídavného materiálu.

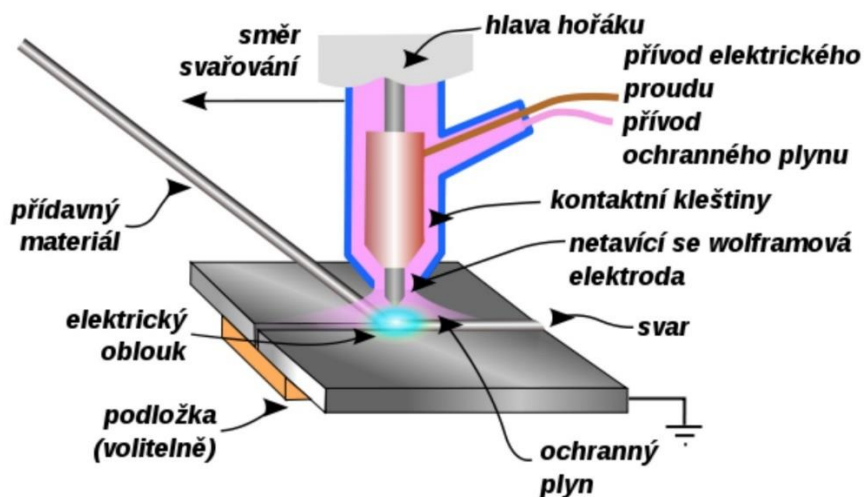


Obr. 9) Svar provedený metodou TIG [8]

3.3.1 Svařovací hořák pro metodu TIG

Jak již bylo řečeno, elektroda je v tomto případě netavitelná elektroda vyrobená z wolframu, a to buď wolframu čistého, nebo jeho slitin. Tuto elektrodu je možné použít pro svařování stejnosměrným proudem, ale je velice náchylná na znečištění oxidy z lázně, a proto je mnohem výhodnější užití střídavého proudu. Variantou s větší odolností vůči znečištění je elektroda vyrobená z thoriovaného wolframu, která obsahuje 2 procenta oxidu thoričitého. Další výhodou této elektrody je snadné zažehnutí oblouku, ovšem kvůli radioaktivitě oxidu bylo nutné hledat náhradu. Ta byla nalezena v podobě použití prvků jako je lanthanum, yttrium a cerium, nebo jejich směsí. Tyto elektrody mají dokonce ještě lepší vlastnosti než thoriovaná elektroda. Při použití střídavým proudem je taky velice oblíbená zirkoniovaná elektroda díky dobrému zapálení oblouku, výborné odolnosti vůči znečištění a malému zhoršení tvaru špičky při svařování. Tyto elektrody se vyrábějí v průměrech mezi 0,5 a 12 milimetry, přičemž je nejvyužívanější průměr 4 milimetry. Délka elektrody bývá většinou mezi 50 a 175 milimetry. Volba průměru elektrody závisí hlavně na tloušťce materiálu, který má být svařen.

Přívod elektrického proudu na elektrodu bývá veden stejně jako přívod ochranného plynu do horní části hořáku a zde připojen na elektrodu. Při volbě svařovacího robotu je nutné na tyto prvky myslet a vybrat vhodný manipulátor s místem pro vedení kabelů a hadic. Svařovací hořáky pro použití do 200 A jsou chlazeny vzduchem, ale při vyšších proudech až 500 A je zapotřebí použití vodního chlazení hořáku. Schéma hořáku a celé metody můžeme vidět na obrázku 10).



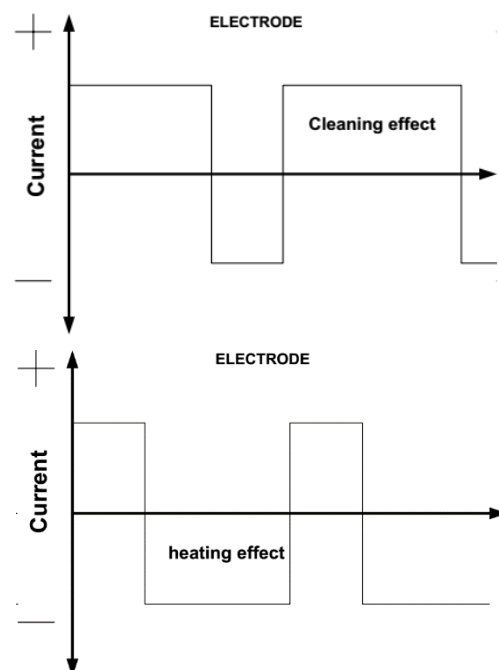
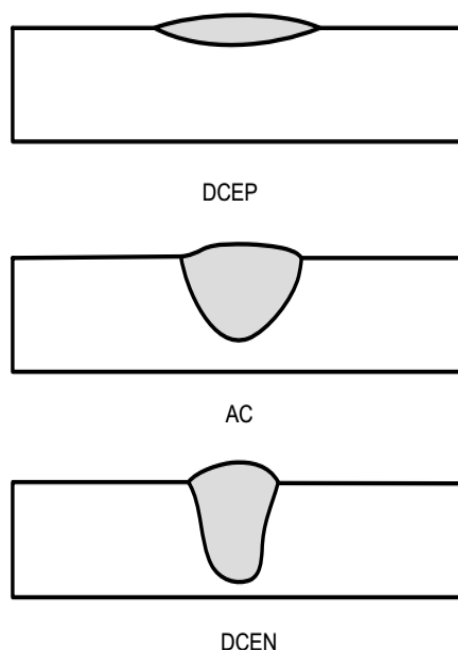
Obr. 10) Schéma metody TIG [9]

3.3.2 Svařovací proudy

Svařovací proud je jedním z nejdůležitějších parametrů při obloukovém svařování, protože má vliv jak na kvalitu svaru, tak na rychlost svařování. Při svařování metodou TIG je velice v oblibě využívání stejnosměrného proudu se záporným pólem na elektrodě. Tento proud umožňuje vysoké svařovací rychlosti díky velké hloubce provaření materiálu (obr. 11) než při obrácené polaritě, dochází při něm však k rychlému ohřevu a degradaci špičky elektrody, neboť je při této metodě větší ohřev na anodě než katodě, což značně snižuje životnost svařovací elektrody a přesnost svařování.

Obrácená polarita stejnosměrného proudu sice způsobuje menší provaření materiálu, ale dochází při ní k takzvanému čistícímu efektu. Tento čistící efekt znamená odvádění oxidů z lázně, což je velice zajímavá vlastnost pro svařování hliníkových slitin. Jak již bylo řečeno, hliník vytváří pasivační vrstvu Al_2O_3 , která má vysokou teplotu tání a je elektricky nevodivá. Jako taková musí být před svařováním odstraněna a k tomu je velice vhodné využití právě čistícího efektu stejnosměrného proudu s kladným proudem na elektrodě. Jak je ovšem vidět z obrázku 11, tak při této polaritě nedochází k nijak hlubokému provaření materiálu a je proto nevhodná.

Ideální alternativou je tedy proud střídavý. Kombinuje totiž vlastnosti obou výše uvedených polarit (obr. 11), kdy při jedné polaritě dochází k provaření a při druhé polaritě k čištění lázně. Lepší využití střídavého proudu nám přináší možnost čtvercové vlny namísto sinusové. Taková vlna prodlužuje jak čistící (obr.12), tak ohřívací efekt (obr.13.) díky delší době výskytu maximální hodnoty proudu.



3.3.3 Rychlost svařování

Svařovací rychlost má vliv hlavně na ohřev materiálu a tomu příslušící hloubku provaření. Je tedy jasné, že při stejném svařovacím napětí a proudu dojde při narůstající svařovací rychlosti k menšímu ohřevu materiálu. Tato myšlenka je základem k závěrečnému doladění svařovací operace. Svařovací rychlost nemá vliv na elektromagnetickou sílu a tlak oblouku, jelikož jsou tyto hodnoty závislé jen na svařovacím proudu. Svařovací rychlost tedy má vliv na hloubku průvaru a šířku svaru, ale na jejich poměr nijak velký vliv nemá. Normální svařovací rychlosti se nacházejí v rozmezí 100 až 500 mm/min, v závislosti na svařovaném materiálu.

3.3.4 Délka oblouku

Délkou oblouku nazýváme vzdálenost mezi špičkou elektrody a materiálem. V případě metody TIG bývá délka oblouku 2 až 5 mm. Při zvětšení délky oblouku musí narůst také svařovací napětí, aby bylo možno udržet svařovací oblouk stabilní. Ohřev materiálu při nárůstu délky materiálu klesá z důvodu radičních ztrát ve sloupci oblouku.

3.3.5 Ochranné plyny

Ochranné plyny se při obloukovém svařování používají hlavně k ochraně před kontaminací atmosférickými vlivy. Tato kontaminace by mohla způsobit poréznost, prskání oblouku a taky chemické změny roztaveného materiálu. Vedle ochranného efektu působí tyto plyny jako stabilizátor elektrického oblouku, a to díky svému nízkému ionizačnímu potenciálu podporuje zažehnutí oblouku a díky nízké tepelné vodivosti zvyšuje stabilitu oblouku.

Jedním z používaných plynů a svařování hliníkových slitin je argon (Ar). Jedná se o plyn těžší než vzduch, díky čemuž zaručuje dobrou ochranu svařovací lázně. Má také nízký ionizační potenciál a je tak schopen stabilizace oblouku. Oproti héliu, které bude probíráno v dalším odstavci, je levnější, a proto je hojně používán. Ve svařování hliníkových slitin se využívá pro svařování tenkostěnných materiálů.

Jak již bylo zmíněno, dalším využívaným plynem je hélium. Oproti argonu je sice dražší, ale pro svařování širších dílů je vhodnější. Má vyšší ionizační potenciál než argon, kvůli čemu je sice potřeba většího svařovacího napětí, ale zajišťuje větší přísun tepla do svaru. Případná kombinace argonu a hélia (30-80 %) dovoluje navýšení svařovací rychlosti a zlepšení tolerance.

Objemové průtoky těchto plynů při svařování závisí hlavně na síle svařovaného materiálu. V případě Argonu se jedná o rozmezí 4-10 l/min, u hélia jsou průtoky vyšší, a to 10-15 %, jelikož je hélium lehčí a při nižším průtoku by nemusel zajistit dobrou ochranu lázně.

3.3.6 Přídavný materiál

Přídavný materiál při svařování metodou TIG může a nemusí být použit. Používá se pro větší síly materiálu než 2 mm. V případě použití je potřeba, aby chemické složení přídavného a svařovaného materiálu bylo shodné, nebo aspoň přibližně stejné. Používá se materiál ve formě drátu, který má průměr 1,6 - 3,2 mm a je navinut na cívce, ze které je veden přes podavač. To umožňuje dlouhé svařování bez nutnosti výměny.

Možnou variantou podávání přídavného materiálu je drát ohřátý na teplotu blízkou teplotě tání, kdy je materiál přiváděn do zadní části lázně. Ohřívání drátu je prováděno odporově střídavým proudem, aby byla minimalizováno magnetické rušení elektrického oblouku. Při této konfiguraci je možno vyvařit až 16 kg/h přídavného materiálu.

3.4 Svařování metodou MIG (Metal Inert GAS) [1], [10]

Jinak také známo jako GMAW (Gas Metal Arc Welding). Jedná se o další druh obloukového svařování. Na rozdíl od metody TIG je zde elektrodou přímo přídavný materiál a jedná se tak o tavitelnou elektrodu, která je postupně dopravována do svařovací lázně a zde rozpouštěna. Tato metoda je hojně využívána díky její všestrannosti a jednoduchosti. Je schopna svařovat materiály o síle 1 až 30 mm a je efektivní ve všech pozicích. Ekonomická náročnost je o poznání nižší než u ostatních druhů, jelikož je schopna dosahovat vysokých rychlostí svařování a nepotřebuje přerušování operace pro výměnu elektrody. Již samotný proces je poloautomatický, a proto je pro automatizaci velice vhodný.

Nevýhodou MIG svařování je citlivost na povětrnostní podmínky, neboť by mohl být odfouknut ochranný plyn a dojít tak k znehodnocení svaru. Další nevýhodou je velikost svařovacího hořáku a z toho plynoucí špatná manipulovatelnost v malých prostorech.

Ochranným plynem je zde opět argon a hélium.

Na obrázku 13) můžeme vidět svar provedený metodou MIG robotem Panasonic na hliníkovém materiálu.

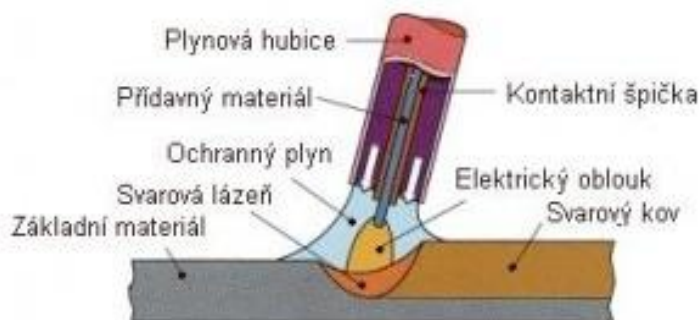


Obr. 14) Svar provedený metodou MIG

3.4.1 Svařovací hořák pro metodu MIG

V tomto případě slouží hořák jak k přívodu elektrické energie a ochranného plynu, tak k přívodu přídavného materiálu. Elektrický oblouk vzniká mezi elektrodou v lázni, přičemž se elektroda postupně v lázni rozpouští. Většina hořáků je chlazená vzduchem, jelikož velké množství tepla odchází přímo do svaru s elektrodou, ovšem u hořáků pracujících s velkými proudy je samozřejmě vodní chlazení nutné. V případě hořáků pro robotické svařování musí být hořák chlazen vodou, aby zvládl dlouhodobý provoz. Pokud chce použít vzduchem chlazený hořák, musí mít větší rozměry než při ručním svařování. Schéma hořáku pro metodu MIG můžeme vidět na obrázku 15).

Robotické hořáky bývají navíc vybaveny bezpečnostním prvkem pro zastavení v případě kolize, aby nedošlo k poškození hořáku nebo samotného robotu. Další prvkem pro tyto hořáky je čistící a zarovnávací zařízení, které po určitém svařovacím čase daný hořák vyčistí od nečistot nanesených během svařování a zastříhnu přídavný drát na požadovanou délku, aby nedocházelo k nepřesnosti ve svařování.



Obr. 15) schéma metody MIG

3.4.2 Svařovací proud

Nejpoužívanějším proudem u metody MIG je stejnosměrný proud s kladným pólem na elektrodě, jelikož nám dává dobrou stabilitu oblouku a průvar materiálu. Zdroje pro svařování hliníkových slitin by pak měly být vybaveny pulzací. Běžně se svařuje sprchovým procesem, neboť zkratový proces má nižší stabilitu. Svařovací proud proto musí ležet vysoko nad kritickým proudem, aby se nacházel v oblasti, ve které dochází k tvorbě jemných kapek. Pulzní svařování je metoda, při které přidáváme krátké proudové impulzy do základního stejnosměrného proudu.

V případě použití drátových elektrod o velkém průměru (3,2 až 6 mm) zle použít svařovací proudy o hodnotách 500 až 1000 A. To umožňuje svařování materiálů o velké tloušťce, jelikož je vytvářena větší tavná lázeň a dochází k hlubší penetraci do materiálu.

3.4.3 Svařovací napětí

Svařovací napětí úzce souvisí se svařovacím proudem a délkou oblouku, jelikož s jeho narůstající délkou narůstá i hodnota napětí, aby došlo k udržení oblouku. Hodnota napětí pak také závisí na použitém ochranném plynu. Příliš vysoké napětí může naopak způsobit i nestabilitu oblouku, ale také rozstřík, poréznost a podříznutí.

3.4.4 Svařovací rychlost

Nárůst svařovací rychlosti způsobuje snížení přivedeného tepla do svaru a snížení poměru přídavného materiálu na délkový úsek. Počáteční nárůst rychlosti způsobuje nárůst hloubky provaření díky tomu, že proud jde příměji do materiálu, ale po delším zvyšování dojde opět ke snížení penetrace, a navíc může způsobit podřezání kvůli nedostatečnému plnění otvoru vytvořeného obloukem.

3.4.5 Délka elektrody

Délkou elektrody je myšlena délka drátu, který vyčnívá z kontaktní trubice. Nárůst této délky oddálením trubice od svaru způsobuje větší poměr tavení elektrody z důvodu Joulova efektu. Normální délka elektrody bývá od 5 do 15 mm.

3.4.6 Přídavný materiál [11]

Elektroda musí mít opět materiál stejný nebo aspoň podobný jako základní materiál. Nejvíce používané jsou průměry elektrod 0,8 až 1,6 mm. Její průměr závisí hlavně na tloušťce svařovaného materiálu a požadovaném proudu.

V případě svařování hliníku a jeho slitin je potřeba zajistit dobrý průběh podávání přídavného materiálu, jelikož se jedná o velice měkký kov. Na rozdíl od ostatních materiálů se zde používá čtyř kladkového podavače, u kterého mají kladky drážky ve tvaru půlkruhu, a pro průvlak otvory s větším otvorem, kvůli velké tepelné roztažnosti hliníku. Podávací bowdeny by také měly mít teflonovou vložku.

3.4.7 Ochranné plyny [7]

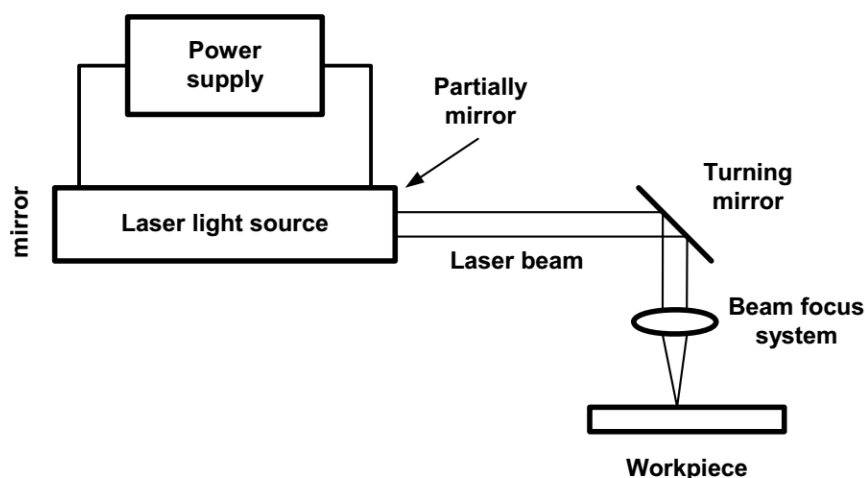
Ochranné plyny mají vliv na stabilitu oblouku, přívod materiálu do lázně a tvar lázně. Stejně jako u metody TIG se při metodě MIG používá inertních plynů argonu, hélia a jejich směsí. Zaručují totiž ochranu lázně před atmosférou a vyrovnávají tak velký oxidační potenciál hliníkových slitin. Jak již bylo řečeno, čistý argon se používá v případě svařování materiálů malých tlouštěk. Má sice dobrou schopnost udržení stability oblouku a je těžší než vzduch, což zajišťuje dobrou ochranu, ale nezajišťuje tak dobrý tepelný výkon jako hélium, nebo jejich směs.

Oproti tomu hélium dodává dobrý tepelný výkon a umožňuje tak dobré provaření. Na rozdíl od argonu je však lehčí než vzduch, a pro dobrou ochranu je tak potřeba většího průtoku plynu.

Je možné použít také směs argonu a kyslíku. Tato směs na rozdíl od čistého argonu zajišťuje větší stabilitu oblouku a pravidelnější přenos kovu v oblouku. Směs se používá jako levnější náhrada za směsi Ar + He, ovšem podíl O₂ je třeba limitovat na nízké obsahy, a to z důvodu oxidačním procesům, které při svařování probíhají.

3.5 Svařování laserovým paprskem [1]

Metoda známá pod zkratkou LBW (Laser Beam Welding) je další možnou metodou pro svařování hliníkových slitin. Tato metoda používá vysoce výkonného koherentního monochromatického světelného paprsku, který je zaměřen na malou plochu a vytváří tak velkou koncentraci energie. Laserový paprsek je vytvářen stimulováním emisí elektromagnetické radiace ve specifickém pevném či plynném materiálu. Atomy těchto materiálů jsou dodáním energie přinuceny k výskytu při vyšší energetické úrovni a vznikne tak nestabilní konfigurace, jelikož při menší úrovni by se elektron vyskytoval s menším potenciálem. Aby se do ní dostal, vyzáří atom svazek fotonů a ty pak mohou iniciovat další vyzáření působením na ostatní atomy. Zdroje takového záření pak mají odrazná zrcadla, která odrážejí paprsek, aby mohl docílit dalšího zesílení. Výstupní paprsek je potom propouštěn zrcadlem se štěrbinou. Princip takového systému můžeme vidět na obrázku 16)



Obr. 16) Schéma systému pro laserové svařování [1]

3.5.1 Zdroje laserového záření

Nejpoužívanější zdroje pro laserové sváření patří zdroje založené na získávání paprsku krystal yttrium aluminium granátu (Y₃Al₅O₁₂) doplněný o ionty neodymu, neboli takzvané (Nd:YAG), které jsou zdrojem pulzující vlny a řadíme je mezi zdroje používající pevný materiál. Z plynných laserů jsou to zdroje pracující na bázi oxidu uhličitého (CO₂), které vytvářejí kontinuální paprskový výboj, hořící v trubici se směsí plynů He + N₂ + CO₂. Tyto zdroje mají hustotu výkonu mezi 10⁶ – 10¹¹ Wm⁻², což je hodnota vyšší než u obloukového svařování (10⁶ – 10⁸ Wm⁻²), ale nižší než při svařování elektronovým paprskem (10¹¹ – 10¹³ Wm⁻²).

3.5.2 Působení paprsku na materiál

Paprsek dopravený na povrch materiálu je buď odražen, nebo absorbován materiálem. Touto absorpcí je materiál ohřát na velice vysokou teplotu, roztaven a může dokonce dojít k jeho odpaření. Při laserovém svařování je možné nastavení dvou módů procesu. Jedná se buď o mód vysokého vedení tepla, nebo hluboké penetrace materiálu. Nastavení závisí na hustotě působící energie. Při módu vysokého vedení tepla je použita malá nízká hustota energie, neboť je většina síly paprsku ztracena v jeho odrazu (až 90%), a je charakteristický vytvářením mělké a široké svařovací lázně. Takový zdroj má dostatek energie pro tavení daného materiálu ale ne tolik, aby materiál odpařoval. V případě módu pro hlubokou penetraci, který překračuje hranici 10^{10} Wm^{-2} , způsobuje paprsek jak tavení, tak odpařování kovu. V takovém případě dochází k vytváření plazmy a vzniku hlubokého otvoru v materiálu díky dobré absorpci energie a jejímu přenosu hlouběji v materiálu. Kov je kontinuálně odpařován a udržuje tak vytvořenou díru, zatímco tekoucí kov ji hned za pohybujícím se paprskem zaplňuje. Tento mód je používán hlavně pro svařování materiálu o velkých tloušťkách, a to až 50 mm.

Proces svařování laserem je tedy vysoce výkonný a přesný. Díky působení na malou plochu je oblast v okolí svaru minimálně tepelně ovlivněna a dokáže dosáhnout vysoké přesnosti a za zvýšených rychlostí. Nevýhodou je nutnost přesného dosedání ploch svarových materiálů a vysoké náklady na svařovací vybavení. Celý proces také závisí na stavu povrchu materiálu a jeho schopnosti pohlcovat paprsky. Proces je také náchylný na svarovou poréznost, praskání při tuhnutí a takzvanému defektu koráلكové geometrie, který se vyskytuje hlavně u hliníkových slitin.

3.5.3 Svařovací rychlost

Nárůst rychlosti svařování snižuje hloubku penetrace jak při použití argonu, tak i hélia jako ochranného plynu. Důvodem je snížení přívodu energie na jednotku délky, proto nemůže být plně vytvořena svařovací díra. Extrémně rychlé průjezdy mohou způsobit nedostatek energie pro dostatečné natavení, ale naproti tomu velice pomalý průjezd může způsobit nadměrné, až úplné propálení materiálu a s tím způsobené poruchy. Je zde ovšem možnost úpravy hloubky penetrace i při pomalých rychlostech, a to díky formování oblaku plazmy.

3.5.4 Formování plazmy

Pro energie, které přesahují 10^{10} Wm^{-2} v případě CO_2 laseru a 10^{12} Wm^{-2} v případě YAG laseru, dochází při dotyku s kovem k jeho odpařování a reakcí tohoto odpařeného kovu, laserového paprsku a ochranného plynu ke vzniku oblaku plazmy. V takovém okamžiku funguje plazma jako převodník energie do svařovaného materiálu, ale je možnost tento jev redukovat, a to odstraněním plazmy ze svařovací oblasti. V případě CO_2 laserů se toto odstranění provádí užitím pulzujícím zdrojem plazmy, který pracuje na frekvenci okolo 1 kHz. V ostatních případech je potřeba odstranění provádět axiálním vstřikováním argonu či hélia. Vstřikování těchto plynů je potřeba provádět jeden milimetr před paprsek, a to pod úhlem 20 stupňů vůči svařovanému povrchu. Pro tento účel je upřednostňováno užití hélia, neboť má větší ionizační potenciál než argon a je tak více odolný vůči přeměně v plazmu.

3.5.5 Plyny pro sváření

Pro svařování laserem jsou používány dva plyny, jeden pro odstranění plazmy, který je vstřikován bočně, a druhý, chránící svar před atmosférickými plyny a je vstřikován ve stejné ose jako je směr vstupu paprsku. Pro hliníkové slitiny se používají pouze plyny argon

a hélium, vzhledem k vysokému oxidačnímu potenciálu. Argon je využíván jako ochranný svařovací plyn a hélium jako médium pro formování plazmy.

4 APLIKACE ROBOTICKÉHO SVAŘOVÁNÍ HLINÍKOVÝCH SLITIN

V předchozích kapitolách byla uvedena teorie z oblasti robotiky a svařování hliníkových slitin. V této kapitole budou tyto znalosti spojeny v jedno a názorně demonstrovány na třech případech, kdy byly aplikovány, a to pro robotické svařování metodou TIG, MIG a laserem. V souvislosti s tím budou uvedeny jejich možnosti použití, výhody, omezení a příslušenství, které tyto metody doprovázejí.

4.1 TIG svařování pomocí robota ABB [12]

Metoda TIG je v oblasti robotiky méně běžná, a ne tak rozpracovaná, jako je metoda MIG, ale v posledních letech je velice oblíbenou oblastí vývoje, což způsobuje hlavně jeho kvalita provedení svaru a technologické možnosti. Svařovací proces, který využívá tuto metodu můžeme vidět na obrázku 17).



Obr. 17). Pracovní buňka svářečního robota ABB pro metodu TIG [13]

Vyobrazená svařovací buňka byla navržena a vytvořena v USA a spojuje uživatelsky přijatelné šestiosé roboty ABB, svařovací příslušenství firmy Miller a podávací jednotku materiálu firmy TIP TIG.

Účelem tohoto projektu bylo vytvoření svařovacího robota, který by byl schopen svařovat za vyšších svařovacích rychlostí, a přitom vytvářet kvalitnější svary než ostatní jednotky s TIG technologií.

Tohoto cíle bylo dosaženo pomocí zásadní úpravy podávání materiálu. Metoda, kterou tento robot využívá není totiž čistá TIG metoda, nýbrž takzvaná metoda TIP TIG, jak již naznačuje jméno firmy vyrábějící podavač přídavného materiálu. Tato metoda upravuje původní verzi rozkmitáváním přiváděného materiálu lineárním mechanickým pohybem vytvářeným samotným podávacím systémem a ohříváním přídavného materiálu za pomoci přídavného zdroje energie, která je přiváděna až těsně před výstup materiálu z podavače. Díky těmto úpravám se snižuje rychlost tuhnutí svařovací lázně a rozšiřuje se tak její oblast. Oproti TIG metodě je nárůst množství vyvařeného materiálu o 100 až 300 procent, což úměrně způsobuje i zvýšení svařovací rychlosti a z toho plynoucí výrobní úspory. Na druhou stranu je potřeba použití vyššího svařovacího proudu, aby bylo možno takové množství materiálu vyvařit, což proces lehce ekonomicky zatěžuje.

Svařovací hořáky pro takovéto použití jsou speciální zboží a prozatím je nabízeno jen některými firmami, ale pokud budeme brát v úvahu klasické TIG hořáky pro robotické svařování, tak lze nalézt již široký sortiment zboží. Důležitým faktorem pro volbu takového hořáku je požadavek přídavného materiálu, neboť ten v případě netavitelné elektrody musí být přiváděn do svařovací lázně z boku, a proto vyžaduje speciální uchycení na svařovacím hořáku. Další možnou výbavou je laserové navádění na svar. Robot s takovýmto vybavením snímá svařovaný materiál a je schopen přesnějšího přejezdu přes svar a regulace svařovacích parametrů. Nicméně hořák vybavený takovými prvky je již prostorově dosti výrazný a je potřeba s touto okolností počítat při návrhu operace.

Dnešní trh s roboty již nabízí speciální roboty, určené přímo pro svařování, kteří mají již předpřipravené úchyty pro vedení potřebných hadic (přívod přídavného materiálu, obranného plynu, zdroj energie hořáku). Do této kategorie spadají například roboti ABB z řady IRB, z nichž je právě jeden použit v našem případě. Tito roboti jsou uživatelsky přijatelní díky možnosti programování v ABB Robot Studio, který je k robotům dodáván a dovoluje uživateli naprogramování, odladění a odzkoušení přímo s daným robotem v elektronické podobě. Již hotový program se tak vyexportuje do řídicí jednotky robota, kterou na obrázku můžeme vidět pod podavačem materiálu.

Důležitou součástí je také svařovací invertor, který je v tomto případě od firmy Miller a je speciálně navržen pro možnost dodávání dvou různých zdrojů energie do operace. V případě použití běžného MIG svařování by stačil i jednodušší svařovací zdroj, ovšem je nutné, aby byl schopen komunikace s řídicí jednotkou robota a v případě svařování hliníkových slitin i dodávání střídavého proudu. Stejně jako u zdroje je v případě podavače materiálu nutná komunikace s řídicí jednotkou, aby docházelo k požadované dodávce materiálu, v závislosti na průběhu operace.

Robotická svařovací buňka musí také obsahovat některé technické a bezpečnostní prvky. Pro bezpečnost provozu je nutné zakrytování procesu, a to nejen z důvodu nebezpečnosti svařovací operace, ale také rychlým pohybům robota při přesunech. Dalším možným vybavením jsou polohovací stoly pro svařování a čistící a zastříhovací příslušenství. Během svařování totiž dochází k zanášení hořáku nečistotami a pro prodloužení životnosti svařovací elektrody je tak lepší ji jednou za určitý časový interval vyčistiti. Zastříhávání drátu nám umožní jeho kalibraci a zkvalitnění operace. Při operaci nesmí chybět také

zásobník s ochrannými plyny a ústrojí pro jejich dopravu do hořáku. Přívod plynu je také regulován a závislosti na probíhající operaci.

TIG je tedy metoda, která dokáže vytvářet svary s vysokou kvalitou a s minimální nutností čištění po dokončení. Oproti metodě MIG je sice pomalejší, ale i jistými úpravami je schopna se jí vyrovnat. Nepříjemnou skutečností je nutnost občasné výměny elektrody. Výhodou je možnost svařování úzkých plechů bez přídavného materiálu, k čemuž je často používán.

4.2 MIG svařování robotem Panasonic [14]

Svařovací metoda MIG je v robotickém svařování mnohem zaběhlejší než metoda TIG, a to hlavně z hlediska její rychlosti a jednoduchosti. Je ale třeba říci, že není schopna vytvořit tak kvalitní svar jako TIG. Pro ukázkou byla vybrána kombinace šestiosého robota Panasonic a svařovacího invertoru od firmy Miller, kterou můžete vidět na obrázku 18).



Obr. 18) Svařovací robot Panasonic [15]

Jednoduchost této metody spočívá v užití tavitelné elektrody, která stejně jako ochranné plyny prochází přímo svařovacím hořákem a je tak velice kompaktní. Tato kompaktnost vedla vývojáře svařovacích robotů až k myšlence uschování všech potřebných svařovacích periférií dovnitř ramena robota, což je známo pod anglickým názvem *through-arm robotic*, a můžeme ji vidět využito přímo na obrázku 18). Tato možnost ještě více umocňuje kompaktnost svařovacího hořáku pro metodu MIG, a proto je v poslední době velkým trendem. Úzký profil nejen že umožňuje lepší přístup do úzkých míst na svařovaném dílu, ale také zvyšuje manipulovatelnost a rychlost celého procesu. Další výhodou je lepší uložení kabeláže na robota a zabránění tak otloukání prvků o tělo při rychlých pohybech robota, díky čemuž dochází ke snížení opotřebení a prodloužení jejich životnosti. Tyto speciální hořáky už jsou vyvíjeny i pro metodu TIG, ale bohužel ještě nejsou realizovatelné, protože je problém a uložení přídavného materiálu a chlazením elektrody.

Jako svařovací roboti se používají zejména šestiosí roboti, a to hlavně pro jejich velký pracovní prostor a schopnost natočení k svařenci z mnoha úhlů. Není to však pravidlem, například v případě svařování dlouhých konstrukcí se užívá portálových robotů, případně šestiosého robota zavěšeného na portále.

Svařovací zdroj v našem případě je vyráběn firmou Miller. V případě metody MIG musí být lehce sofistikovanější než u metody TIG, jelikož je elektrická energie dopravována přímo po elektrodovém drátu, což nutí ke kombinaci podavače i zdroje. Tato okolnost ale není nijak na škodu, jelikož je díky ní o jednu část buňky méně a celkový proces je o to jednodušší.

Stavba buňky jako takové se od předchozí metody nijak neliší, je zde také za potřeby řídicí systém pro samotného robota a komunikaci s ostatními prvky. Ochranné prvky v podobě zábran a technické prvky, jako jsou polohovací stolice, nádoby s ochrannými plyny, čistící a zastříhovací zařízení.

Celkově je tedy metoda MIG rychlejší a jednodušší než metoda TIG, ovšem není tak precizní, co do kvality a vzhledu svarů, a není schopna svařování plechů bez přídavného materiálu.

4.3 Svařování laserem robotem Kuka [16]

Svařování laserovým paprskem je z uvedených metod nejméně používána, zejména pro její technologickou a finanční náročnost. Ovšem poslední dobou se díky vývoji začíná zapojovat do výrobních procesů. Pro ukázkou byl vybrán set pro laserové svařování, který se skládá z laserové jednotky od firmy Trumpf a šestiosého robota firmy Kuka. Tato firma vyrábí velice kvalitní roboty, kteří jsou oblíbení zejména v automobilovém průmyslu. Tuto sestavu můžeme vidět na obrázku 19).



Obr. 19) Svařovací buňka pro laserové svařování [16]

V tomto případě je využit laser s pevným krystalem o výkonu 1 kW, jehož paprsek je přiváděn přímo na svařovaný materiál pomocí optického kabelu a série čoček pro usměrnění na požadované místo. Z důvodu nebezpečnosti laserového paprsku je robot uzavřen v samostatné místnosti a počet příslušenství, které je obsaženo uvnitř je minimalizován na nezbytně nutný.

Svařování laserovým paprskem má oproti obloukovému svařování výhodu v možnosti nepřetržitého procesu a vysoké kvality svaru. Díky usměrněnému působení paprsku je teplem ovlivněna jen malá oblast okolo svaru, a proto po takovém svařování není potřeba dodatečná úprava svaru. Nastavení výkonu laseru umožňuje svařování jak plechů o síle 0,6 mm, tak i silnějších materiálů.

Pracovní stůl v této buňce obsahuje dvě pracovní stanice a pneumatické upevňování. To umožňuje opravdu nepřetržitý provoz, jelikož během práce na jednom pracovišti je díl na druhém odklizen a připraven nový na další svařování.

Svařovací proces laserem je tedy velice kvalitní a rychlý, ale finanční nároky jsou o poznání vyšší než u obloukového svařování. Samotné pořízení svařovacího ústrojí je nemalá položka a nutnost samostatného pracoviště z důvodu zvýšené bezpečnosti cenu ještě navyšuje. Vzhledem k rychlosti, kvalitě a životnosti takového procesu je však návratnost přípustná.

5 PŘÍPADOVÁ STUDIE [17]

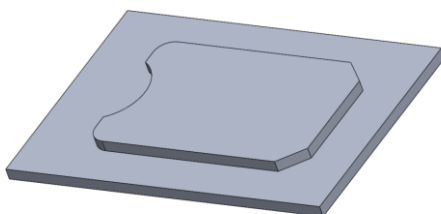
Podle zadání bylo součástí této práce vypracovat i případovou studii, která využívá znalosti získané z předchozích kapitol a uplatňuje je v praxi. Její provedení spočívá ve vytvoření 3D modelu součástí, pro které je poté vytvořen svařovací program pomocí off-line programování v programu ABB Robot Studio.

Jako součást pro svařování byl vybrán plech s různorodě tvarovaným obrysem, aby bylo během programování možné vyzkoušet co nejvíce možných pohybů. Součást obsahu je jak zkosení, tak zaoblení, a to vnější i vnitřní. Jako taková bude poté položena na širší díl plechu, ke kterému bude na plocho přivařena. Tloušťka obou plechů je 10 milimetrů. Obě součásti byly vymodelovány a sestaveny v programu SolidWorks a můžeme je vidět na obrázku 20.

V prostředí programu ABB RobotStudio byl vybrán robot IRB 1660ID, který je primárně určen pro svařování a je připraven na takzvané Though-Arm¹ vedení kabeláže, v návaznosti na což byl vybrán i hořák pro MIG svařování od firmy Binzel, který právě toto vedení kabeláže je schopen využít. Pro zvolení této svařovací metody byla stěžejní tloušťka svařovaného materiálu, ale hlavně rozpracovanost metody MIG v počítačových programech, neboť svařovací hořák pro MIG svařování není v knihovnách užívaného programu dostupný.

Zmíněný svařovací robot, kterého můžeme vidět na obrázku 21), je model s únosností 4 kilogramů a dosahem 1,55 metrů. Jedná se o šestiosého robota, který je určený pro montáž jak ve vodorovném, tak i nakloněném nebo převráceném směru. Udávaná pracovní přesnost se dle výrobce pohybuje okolo 0,05 milimetrů a rychlost rotace okolo nejpomalejší osy je 180 stupňů za sekundu. Nejrychlejší rotace potom dosahuje až 500 stupňů za sekundu a jedná se o poslední článek řetězce. Celková hmotnost robota činí 257 kg. K jeho pohybu je zapotřebí příkon o hodnotě 0,62 kilowat.

Hlavní výhodou tohoto robota je již zmíněné vnitřní vedení kabeláže a kompaktnost jeho konstrukce, což mu umožňuje pohyby při maximální rychlosti a zrychlení bez poškození kabeláže, nebo nechtěných kolizí způsobených pohybem v úzkých prostorech. Kabeláž s vysokou bezpečností ochranou zajišťuje jejich dlouhou životnost a až o 50 % nižší náklady.



Obr. 20) Svařovaná součást

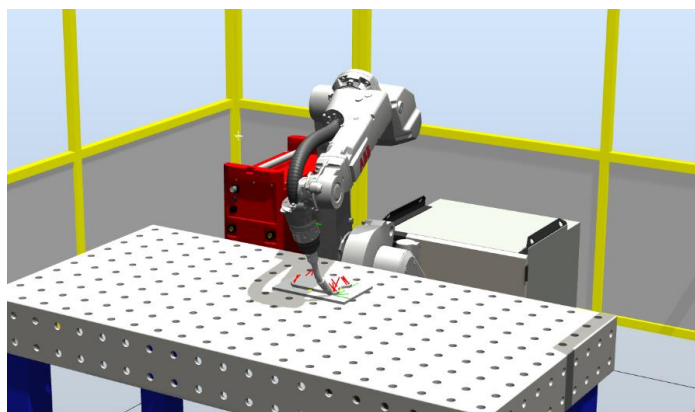
¹ Způsob vedení kabelů vnitřkem ramene manipulátoru. Podrobněji byla popsána v kapitole 4.2 MIG svařování robotem Panasonic.



Obr. 21) Svařovací robot IRB 1600ID [17]

Programování probíhalo pomocí funkce autopath. Tato funkce automaticky nastaví trasu průjezdu pomocí zvolené křivky a vygeneruje referenční body pro důležitá místa trasy. Tyto body jsou poté pootočený pomocí konfigurace do pozice, která odpovídá požadované pozici hořáku vůči svařovanému koutu v určitém místě. Z takto nakonfigurovaných bodů byla vytvořena cesta pomocí řídicího programu robota a ta vyexportována do Rapid kódu, který již může být přenesen přímo na reálné pracoviště. Lepší možností je však odzkoušení programu v simulační části softwaru.

Ostatní obsah buňky tvoří příslušenství nutné pro svařování, jako jsou zdi tvořící buňku, svařovací konvertor, řídicí jednotka robota. Tyto součásti jsou však ilustrativní a silně omezeny jejich výběrem z knihovny programu. Pro náš případ není tato skutečnost nijak omezující, jelikož není plánovaná reálná aplikace svařovacího programu, ale v případě aplikace by bylo nutné s odlišností těchto součástí počítat a případně importovat více odpovídající geometrii. Dle technických parametrů je ovšem možno určit, že řídicí jednotka musí být vybrána z řady IRC5. Vybraný svařovací konvertor je pak nutné vybírat z produktů určených pro robotické svařování, který je schopen dodávat stejnosměrný svařovací proud a je vybaven pulzací. Ochranný plyn vhodný pro tento případ je směs, která bude obsahovat argon a 50 až 75 procent hélia. Jedná se o směs, která se používá pro svařování hliníkových dílů o větších tloušťkách. Vlastní svařovací buňku můžeme vidět na obrázku 22).



Obr.22) Vlastní svařovací buňka

6 ZÁVĚR

Automatizace výrobních procesů je v poslední době velice využívaný postup a nedílnou součástí je rozhodně robotické svařování. Z obsahu této práce je možné se přesvědčit, že robotické svařování je stejně zajímavé jako i složité, neboť existuje spousta možností, kterými se dá požadovaný problém řešit. To platí zejména v případě u robotického svařování hliníku. Tato práce měla za úkol tuto problematiku popsat. Je více než jasné, že na obsáhnutí celého tématu by jedna práce ani z daleka nestačila. Proto byly vybrány části, které mi jako autoru přišly zajímavé a vhodné pro zpracování.

Jako první byla zpracována oblast robotiky a uvedeno rozdělení průmyslových manipulátorů, jak dle vývojových generací, tak jejich struktury. Tyto rozdělení jsou všeobecné a určitě by se dalo najít spousta výjimek, které z těchto kategorií vystupují. Je ale třeba říci, že z hlediska svařování je v drtivé většině využíváno šestiosých robotů a je tak pro naše účely toho rozdělení dostačující.

Další téma, které bylo vytyčeno jako cíl ke zpracování, je technologie svařování hliníkových slitin. Jedná se o další velice rozsáhlé téma, ze kterého byly v našem případě vybrány 3 svařovací technologie. Dvě z nich tvoří technologie pracující na principu obloukového svařování a poslední z nich připadá na svařování laserem. V dnešní době je k robotickému svařování využívána hlavně metoda MIG, ale je jasné, že díky vývoji tuto čelní příčku bude v budoucnu moci převzít metoda TIG, či přímo svařování laserem. Z hlediska kvality svaru jsou tyto metody rozhodně na vyšší úrovni a jejich technologické bariéry budou v budoucích letech jistě překonány.

Následné spojení robotiky a svařovací technologie nás přivedlo až k samotné aplikaci do procesu. V práci byly opět zmíněny jen 3 transparentní ukázky aplikace, ale v reálné praxi jsou samozřejmě všechny tato řešení šity firmám na míru, aby jim co nejlépe korespondovaly s výrobním procesem a pojímaly důvod, proč byla daná operace vybrána k automatizaci. Samotná aplikace svařovacího procesu je asi nejvariabilnější částí a samo o sobě obsahuje nemalé množství komponentů. Systémy uchycení svařovaných součástí a jejich manipulace, ať už se jedná o mechanické nebo hydraulické svařovací úchyty, či samotná robotická polohovadla jsou další oblastí výzkumu, na kterou tato práce nebyla nijak hlouběji zaměřena a jistě by zasloužila pozornost při dalším studiu, stejně jako trasování svařovací operace pomocí laseru.

Případová studie, která byla uvedena na závěr práce byla velice zajímavou součástí, jelikož umožnila hlubší nahlédnutí do realizace svařovací operace a přinesla nový pohled na věc. Výběr zařízení, které by mělo být použito je díky nabídce trhu velice široká a člověk robotizaci provádějící musí dobře zvážit veškeré aspekty, které jeho případ obnáší.

Robotické svařování hliníkových slitin je tedy zajímavá a účelná možnost náhrady ručního svařování, ať už z hlediska rychlosti svařování či kvality svaru, a není tak divu, že k této metodě je a jistě v budoucnu bude často přistupováno.

7 SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1] J. NORBERTO PIRES, a ALTINO LOUREIRO AND GUNNAR BOLMSJÖ. *Welding robots technology, system issues and applications*. Online-Ausg. London: Springer, 2006. ISBN 9781846281914.
- [2] Příručka Automatizačná a robotická technika. In: *Sjf.tuke* [online]. Košice: VIRTUALAB, 2011 [cit. 2018-03-31]. Dostupné z: <http://www.sjf.tuke.sk/vitralab/pgs/index.php?pg=page>
- [3] KOLÍBAL, Zdeněk. *Průmyslové roboty*. 1. vyd. Brno: Vysoké učení technické, 1993. ISBN isbn80-214-0526-0.
- [4] Kognitivní robot. In: *Globes* [online]. Israel: Globes Publisher Itonut (1983), 2017 [cit. 2018-03-31]. Dostupné z: <http://www.globes.co.il/en/article-chinas-midea-buys-israeli-co-servotronix-1001176475>
- [5] ORSZÁGH, Viktor a Peter ORSZÁGH. *Zváranie TIG ocelí a neželezných kovov*. 1. vyd. Bratislava: Polygrafia SAV, 1998. ISBN isbn80-88780-21-7.
- [6] AUTORŮ), (kolektiv. *Materiály a jejich svařitelnost: učební texty pro kurzy svářečských inženýrů a technologů*. 1. vyd. Ostrava: ZEROSS, 1999. ISBN 8085771632.
- [7] Technologie svařování hliníku a jeho slitin. In: *Kovodvorak* [online]. Ostrava: Český svářečský ústav, 2008 [cit. 2018-04-08]. Dostupné z: http://www.kovodvorak.cz/download/technologie_svarovani_hliniku.pdf
- [8] Svar provedený metodou TIG. In: *Aluminium TIG pipe welding* [online]. Orion Automation, b.r. [cit. 2018-04-08]. Dostupné z: <http://orionautomation.com.au/>
- [9] Schéma metody TIG. In: *Svarecky-elektrody* [online]. b.r. [cit. 2018-04-08]. Dostupné z: <https://www.svarecky-elektrody.cz/svarovani-tig-zakladni-seznameni/t-39/t-120>
- [10] ORSZÁGH, Peter a Viktor ORSZÁGH. *Zváranie MIG/MAG ocelí a neželezných kovov*. 1. vyd. Bratislava: Polygrafia SAV, 2000. ISBN isbn80-88780-36-5.
- [11] Hliníkové materiály a možnosti jejich svařování. In: <Http://www.svarinfo.cz> [online]. 2006 [cit. 2018-04-16]. Dostupné z: <http://www.ews.cz/files/servis/hlinik.pdf>
- [12] *Tiptigusa* [online]. Filadelfie, 2018 [cit. 2018-05-18]. Dostupné z: <http://tiptigusa.com/>

- [13] Pracovní buňka svářečského robotu ABB pro metodu TIG. In: *Tiptigusa* [online]. Filadelfie, 2018 [cit. 2018-05-18]. Dostupné z: <http://tiptigusa.com/robotic-welding-2/>
- [14] *Trends in Robotic Welding Guns* [online]. Alabama, b.r. [cit. 2018-05-18]. Dostupné z: <http://www.fabricatingandmetalworking.com/2015/02/trends-in-robotic-welding-guns/>
- [15] Trends in Robotic Welding Guns. In: *Fabricatingandmetalworking* [online]. 2015 [cit. 2018-05-18]. Dostupné z: <http://www.fabricatingandmetalworking.com/2015/02/trends-in-robotic-welding-guns/>
- [16] Laser welding. *Omslightin* [online]. 2018 [cit. 2018-05-18]. Dostupné z: <http://www.omslighting.com/laser-welding#>
- [17] Robot ABB IRB 1600ID. *New.abb* [online]. 2018 [cit. 2018-05-22]. Dostupné z: <http://new.abb.com/products/robotics/industrial-robots/irb-1600id>