

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE
FAKULTA STROJNÍ
ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE



BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
PRAHA 2020

SENZORY V ROBOTIZOVANÉM SVAŘOVÁNÍ

Autor práce: Jan Kroupa
Vedoucí práce: Ing. Karel Kovanda, Ph.D., IWE
Studijní program: Teoretický základ strojního inženýrství

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Kroupa** Jméno: **Jan** Osobní číslo: **475011**
Fakulta/ústav: **Fakulta strojní**
Zadávací katedra/ústav: **Ústav strojírenské technologie**
Studijní program: **Teoretický základ strojírenského inženýrství**
Studijní obor: **bez oboru**

II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce:

Senzory v robotizovaném svařování

Název bakalářské práce anglicky:

Sensors in robotic welding

Pokyny pro vypracování:

1. Používané typy robotů v oblasti automatizace svařování.
2. Metody svařování vhodné pro robotizované aplikace (principy, popis).
3. Senzorické systémy používané ve svařování (bezdotykové, dotykové).
4. Korekce pohybů robota v závislosti na parametrech svařování (T.A.S.T.).
5. Ověření vybraného senzoru pro robotizované MIG/MAG/TIG svařování.
6. Závěrečné zhodnocení zjištěných poznatků a doporučení pro praktické využití.

Seznam doporučené literatury:

- O. Skařupa: Průmyslové roboty a manipulátory, Ostrava 2007
- Podklady průmyslových firem: Canon, Sick, Renishaw.
- Podklady výrobců a dodavatelů robotizovaných pracovišť: Fanuc, Yaskawa - Motoman, ABB, ValkWelding.
- Factoryautomation.

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) bakalářské práce:

Ing. Karel Kovanda, Ph.D., ústav strojírenské technologie FS

Jméno a pracoviště druhé(ho) vedoucí(ho) nebo konzultanta(ky) bakalářské práce:

Datum zadání bakalářské práce: **29.04.2020**

Termín odevzdání bakalářské práce: **31.07.2020**

Platnost zadání bakalářské práce: **31.12.2020**



Ing. Karel Kovanda, Ph.D.
podpis vedoucí(ho) práce



doc. Ing. Ladislav Kolařík, Ph.D.
podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry



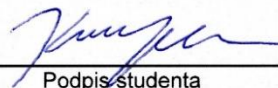
prof. Ing. Michael Valášek, DrSc.
podpis děkana(ky)

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Student bere na vědomí, že je povinen vypracovat bakalářskou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je třeba uvést v bakalářské práci.

2.7. 2020

Datum převzetí zadání



Podpis studenta

Prohlášení o autorství práce

Tímto prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma **Senzory v robotizovaném svařování** vypracoval samostatně a použil jsem pouze podklady, které uvádím v přiloženém seznamu použité literatury. Dále prohlašuji, že nemám závažný důvod proti užití tohoto školního díla ve smyslu § 60 zákona č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon).

V Třeboni dne:

Jan Kroupa

Poděkování

Děkuji vedoucímu své bakalářské práce panu Ing. Karlu Kovandovi, Ph.D., IWE za mnoho hodnotných rad, ochotu, trpělivost a vedení při zpracování této práce. Velké díky patří také mojí rodině za velkou podporu během celého studia.

Anotace

Název bakalářské práce:	Senzory v robotizovaném svařování
Jméno autora:	Jan Kroupa
Vedoucí bakalářské práce:	Ing. Karel Kovanda, Ph.D., IWE
Studijní rok:	2019/2020
Rozsah práce:	54 stran, 2 přílohy

Abstrakt

Hlavním tématem bakalářské práce jsou druhy senzorických systémů a jejich principy a využití při robotizovaném svařování. Jsou zde uvedeny typy robotů a metody svařování vhodné pro robotizaci. Praktická část se zaměřuje na systém TAST, který je vyzkoušen při svařování tupých V svarů metodou MAG.

Klíčová slova: automatizace svařování, robotizace svařování, svařovací metody, senzory, TAST

Annotation

Title of the bachelor thesis:	Sensors in robotic welding
Author:	Jan Kroupa
Supervisor:	Ing. Karel Kovanda, Ph.D., IWE
Academic year:	2019/2020
Extent:	54 pages, 2 annexes

Abstract

The main theme of the bachelor thesis are the types of sensor systems and their principles and use in robotic welding. The thesis contains types of robots and welding methods suitable for robotics. The experimental part is focused on the TAST system which is tested on welding butt welds with V-shape by MAG method.

Keywords: automatization of welding, robotization of welding, welding methods, sensors, TAST

Obsah

1. Úvod.....	9
2. Cíle práce	9
3. Používané typy strojů v oblasti automatizace svařování.....	10
3.1 Svařovací automaty.....	10
3.2 Svařovací roboty.....	11
3.2.1 Rozdělení robotů podle konstrukce	13
3.2.2 Roboty firmy KUKA	15
3.2.3 Roboty firmy FANUC.....	17
3.2.4 Shrnutí a porovnání svařovacích robotů.....	18
4. Metody svařování vhodné pro robotizované aplikace.....	20
4.1 Obloukové svařování v ochranných atmosférách	20
4.2 Svařování pod tavidlem	22
4.3. Svařování laserem	22
4.4 Odporové svařování.....	23
4.5 Elektronové svařování	24
4.6 Ultrazvukové svařování.....	25
5. Sensorické systémy používané ve svařování.....	26
5.1 Dotykové sensorické systémy	26
5.1.1 Senzor zastoupený hubicí	27
5.1.2 Senzor zastoupený svařovacím drátem.....	27
5.1.3 Taktilní senzory	28
5.2 Bezdotykové sensorické systémy.....	28
5.2.1 Kamerové senzory	29
5.2.2 Laserové senzory	30
6. Korekce pohybů robota v závislosti na parametrech svařování (TAST).....	31
6.1 Trasování systému TAST	32
6.2 Nastavení systému TAST	33
6.3 Porovnání systému TAST s ostatními typy senzorů.....	37
7. Ověření senzoru TAST pro robotizované MAG svařování	38
7.1 Popis experimentu.....	38
7.2 Postup experimentu.....	38
7.3 Popis pracoviště	39
7.4 Popis vzorků a jejich příprava	40
7.5 Upnutí vzorků.....	40

7.6 Parametry svařování	41
7.7 Průběh experimentu	42
7.7.1 Experiment 1	42
7.7.2 Experiment 2	43
7.7.3 Experiment 3	43
7.7.4 Experiment 4	44
7.7.5 Experiment 5	45
7.7.6 Experiment 6	46
7.7.7 Experiment 7	46
7.7.8 Experiment 8	47
7.7.9 Experiment 9	47
7.7.10 Experiment 10	48
7.7.11 Experiment 11	49
8. Závěrečné zhodnocení zjištěných poznatků	50

1. Úvod

Trend dnešní konzumní společnosti vyžaduje mnohonásobně větší objem výroby než kdykoliv v minulosti. A to ve všech odvětvích průmyslu. To způsobuje zvyšování nároků na rychlost, ale i kvalitu a přesnost výroby. Pro trvalé udržení konkurenceschopnosti jsou tedy všechny výrobní i nevýrobní společnosti nuceny stále zlepšovat svoje výrobky, technologické postupy i služby. Automatizace a robotizace jsou nástroje určené právě pro tyto úkoly.

Svařování tvoří velkou část strojírenské výroby. Dobrým příkladem důležitosti tohoto způsobu spojování materiálů je automobilový průmysl. Právě zde se robotizace vyvíjí velmi rychle, což umožňuje uspokojovat stále větší poptávku na trhu.

Pro dosažení požadované kvality svaru je důležité mít neustálý přehled o jeho aktuálním stavu. Tím je myšlena jeho pozice, rozměry, teplota svarové lázně a další. K tomu slouží velké množství čidel a snímačů, které jsou nedílnou součástí robota, například systém TAST.

2. Cíle práce

Cílem bakalářské práce je obecně zmapovat využití robotů používaných pro aplikace svařování. Seznámit s některými svařovacími roboty a jejich výrobcí, a vytvořit přehled svařovacích metod vhodných pro robotizaci. Dále se zaměřit na senzory v robotizovaném svařování, popsat jejich druhy, a senzory následně srovnat na základě výhod, nevýhod a využití.

Praktická část má za úkol navázat na diplomovou práci Ing. Jaroslava Kuse, který testoval sensorický systém TAST pro koutové svary. Tato práce se zaměří na využití systému TAST při svařování vícevrstevných, tupých V svarů. Nedílnou součástí praktického experimentu je obeznámení s programováním a obsluhou svařovacího robota.

3. Používané typy strojů v oblasti automatizace svařování

Pro automatizaci procesu svařování používáme několik typů zařízení. Tím jsou myšleny především manipulátory, automatické ruky, roboty, podávací zařízení. Nejdůležitějším pomocníkem z této skupiny je svařovací robot, který vykonává pohyb podobný pohybu lidské ruky.

Pro všechna zmíněná zařízení je velmi důležité, aby měla přehled o aktuální situaci při svařování. Například musí znát přesnou polohu svařovaného materiálu, přesnou plánovanou trajektorii svaru, požadované parametry svařování. Tyto informace se systém robota, popřípadě svařovacího automatu dozvídá z daného naprogramování a poté z množství čidel, která jsou nezbytnou součástí každého automatizovaného pracoviště. [1; 2; 4]

3.1 Svařovací automaty

Svařovací automat je synonymum pro jednoúčelová svařovací zařízení. Ta jsou určena pro přesně specifikované svařovací operace, které se ve velké sériovosti opakují. Velice účinně provádí svary lineární a kruhové, potažmo i kombinace těchto trajektorií. Tedy svary, které jsou tvarově jednoduché a nejsou zakřivené prostorově.

Jednoúčelová zařízení pro svařování mají obvykle poháněnou 1 osu, čímž je zabezpečena manipulace svařovacího hořáku nebo svařence. Svařovací automaty jsou poháněny většinou elektricky, hydraulika a pneumatika se používá k pomocným pracím, například k upínání.

Na rozdíl od svařovacího robota automat nevypočítává polohu nástroje a jeho natočení, ale pracuje pouze se souřadnicemi jednotlivých os.

Hlavními částmi automaty jsou: svařovací hlava, pohybové osy, řídicí jednotka, svařovací zdroj.

Velkými výhodami svařovacích automatů jsou: cena, jednoduchost, menší poruchovost, menší nároky na obsluhu. [1; 3]



Obr. 1- Svařovací automat KMK412 [5]

Jako příklad svařovacího automatu jsem vybral vysoko produktivní svařovací automat KMK 412 (viz obr. 1), vhodný pro velké série svařování válcovitých plášťů. Na tomto automatu se často svařují kotle, hasicí přístroje, tlakové nádoby. [5]

3.2 Svařovací roboty

Svařovací roboty jsou univerzální, volně programovatelné a výkonné stroje, které zajišťují přesné a rychlé svařování různými metodami. Zvládají jak svary se složitými, prostorovými trajektoriemi, tak svary na špatně dostupných místech. Jejich přesnost dosahuje i jedné desetiny milimetru.

Pro takto náročné úkony, jako jsou popsány výše je důležité uzpůsobení konstrukce robota. Ta musí umožňovat dosažení kteréhokoliv bodu v pracovním prostoru stroje. K tomu je zapotřebí 3 stupňů volnosti. Při svařování je klíčové i naklonění a orientace nástroje. K tomu je potřeba dalších 3 stupňů volnosti. Průmyslové svařovací roboty tedy potřebují alespoň 6 stupňů volnosti. To zajišťují přídatná ramena a otočné klouby.

Kinematika robotů vychází z napodobování pohybů a funkcí lidské ruky. Každý robot je charakterizován uspořádáním a kinematickým principem, který vymezuje prostory a polohy, ve kterých může ruka robota pracovat, čímž jsou dány jeho možnosti a míra využití.

Pohybové schéma robota lze popsat soustavou tří základních složek: kinematika zápěstí, kinematika polohovacího ústrojí, kinematika základny.

Roboty (nejen svařovací) používají k popisu prostoru čtyři skupiny souřadnicových systémů:

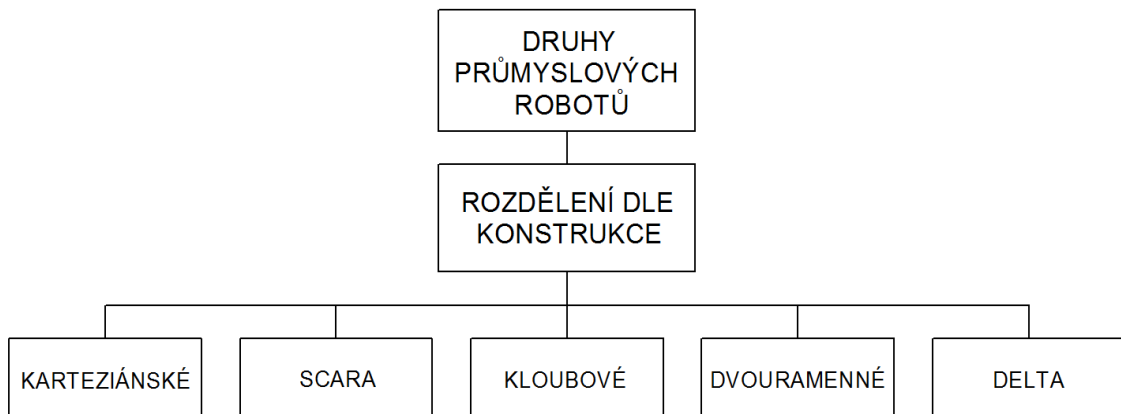
- 1) pravoúhlý: lineární pohyby v souřadnicích x , y , z . Pracovním prostorem je kvádr.
- 2) válcový: dva lineární pohyby v souřadnicích x a z a rotace kolem osy z . Pracovní prostor tvoří válec.
- 3) sférický: jeden lineární pohyb v ose x , naklápění v rovině a rotace kolem osy z . Pracovní prostor je kulový prstenec.
- 4) úhlový: tři rotační dvojice, pracovní prostor je torus.

Roboty jsou řízeny zpravidla pomocí elektrického pohonu, v kombinaci s pomocnými pneumatickými, popřípadě hydraulickými pohony. Hlavními důvody jsou snadný rozvod elektrické energie a vysoká přesnost polohování krokových motorů.

Robotizované svařovací zařízení se skládá z těchto částí: svařovací hlava, pohybové osy v ramenech, zdroj svařovacího proudu, napětí, řídicí jednotka. Přesné uskupení robota závisí na používané technologii svařování. Například u laserového svařování je součástí robota i optická část, u obloukových robotů je zase nutná přítomnost zařízení pro podávání drátu, u svařování elektronovým paprskem je nutný zdroj elektronů, apod.

Hlavními výhodami použití svařovacích robotů jsou: vysoká variabilita a univerzálnost, schopnost vytvářet složité spoje i v prostorách, kam se jinak nedostaneme, přesnost a kvalita provedených svarů, malá montážní plocha, možnost ovládání několika robotů z jednoho vzdáleného místa, snížení výrobních nákladů. [1; 3; 4]

3.2.1 Rozdělení robotů podle konstrukce



Obr. 2- Rozdělení průmyslových robotů dle konstrukce [6]

Konstrukce karteziánských robotů obsahuje 3 lineární klouby, které využívají karteziánský souřadný systém. Mají tedy 3 lineární osy a mívají také připojené otočné zápěstí.

SCARA roboty se používají především k montážním pracím a ve farmacii. Jejich konstrukce a kinematika pohybu je velmi jednoduchá. Mají 2 otočné osy a 1 posuvnou (viz obr. 4). Jsou rychlejší než ostatní druhy robotů a mají malý půdorys.

Kloubové roboty jsou tvořeny otočným trupem, ramenem, bicepsem, předloktím a zápěstím. Mají 5, 6 a více os. Využívají se pro paletizaci, umístování dílů, svařování, pájení, nanášení lepidel a jiných hmot a mnoho dalších činností.

Dvouramenné roboty jsou tvořeny dvěma rameny ukotvenými ve společném podstavci. Pracují velmi rychle a jsou určeny například pro elektrotechnický průmysl. Dobrým příkladem pro tento typ robotů může být dvouramenný kolaborativní robot YuMi od firmy ABB.

Delta roboty svým uspořádáním připomínají pavouka. Konstrukci tvoří propojené paralelogramy na společné základně (viz obr. 3). Dosahují vysokých rychlostí a používají se pro přemísťování, podávání materiálů a dalších podobných činností. Lze se s nimi setkat například v potravinářství. [6]



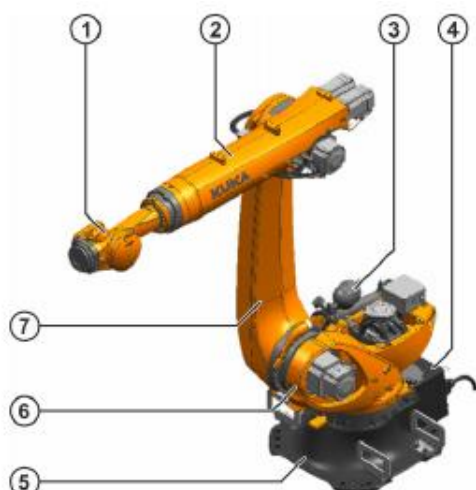
Obr.3- Konstrukce Delta robotu IGUS [7]



Obr. 4- SCARA robot v praxi [8]

Dále jsou uvedeny konkrétní šestiosé roboty, využívané převážně pro svařování a tepelné dělení materiálu. Parametry, které nás u takového stroje zajímají jsou dosah, geometrie pracovního prostoru, nosnost na zápěstí, opakovatelnost a rozměry samotného robota. [1; 9]

Konstrukce šestiosého robota:



- 1- otočné zápěstí
- 2- paže robota
- 3- systém vyvažování
- 4- elektronika a vedení
- 5- základna s úchyty
- 6- rotační kloub
- 7- nosné rameno

Obr. 5- Robot KUKA KR QUANTEC: KR 120 R2700-2 (přeloženo) [11]

3.2.2 Roboty firmy KUKA

Roboty firmy KUKA jsou hojně používané v oblasti robotizovaného svařování v ochranných atmosférách, svařování laserem a bodové svařování. Tato firma má několik modelových řad robotů, které umožňují různé druhy svařovacích procesů. Jejich hlavními parametry jsou dosah, který se podle firemních prospektů pohybuje mezi 700 až 3 102 milimetry a nosnost, která u těchto strojů je 5 až 22 kilogramů. [9]

KR AGILUS: KR R700

Je šestiramenný kompaktní robot, určený pro vysokou pracovní rychlost. Existuje mnoho provedení, která upravují montážní pozice, dosahy a nosnost tohoto modifikovatelného stroje. Robot KR AGILUS je tedy velmi všestranný, lze umístit na podlahu, strop či stěnu.

Kromě svařování je tento robot vhodný pro: nanášení lepících a těsnících materiálů, upevňování a lisování, manipulace na obráběcích strojích, měření a kontrolu součástí. [9; 10]



Obr. 6- Robot KUKA KR AGILUS: KR R700 [10]

Tabulka 1- Hlavní parametry KR R700

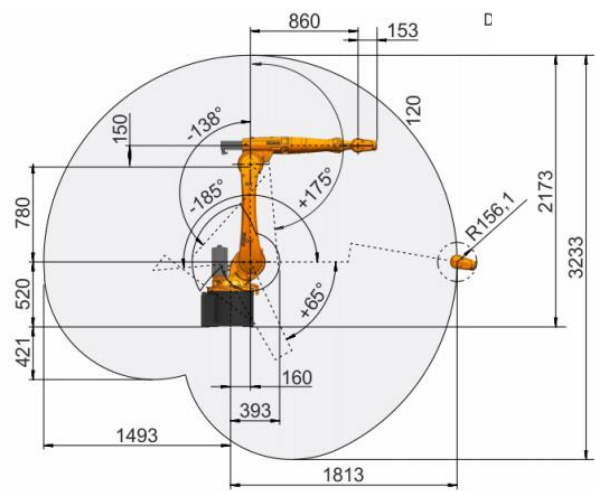
Maximální dosah	706,7 mm
Opakovatelnost	±0,03 mm
Počet ovládaných os	6
Půdorysný rozměr základny	209x207 mm
Užitečné zatížení	6 kg

KR CYBERTECH: KR 12 R1810-2

Roboty řady KR CYBERTECH jsou roboty s vysokým výkonem ve třídě s malou nosností. Mají mnoho variant a široký sortiment pro práce v různých odvětvích, umožňují umístění na podlahu, zeď i strop. Robot KR 12 R1810-2 je vhodný pro svařování v ochranných atmosférách, ale i k montážním pracím, měření, lepení a dalším úkonům. [9; 11]



Obr. 8- Robot KUKA KR 12 R1810-2 [11]



Obr. 7- Pracovní prostor robota KR 12 R1810-2 [11]

Tabulka 2- Hlavní parametry KR 120 R2700-2 (přeloženo) [11]

Maximální dosah	1813 mm
Opakovatelnost	$\pm 0,04$ mm
Počet ovládaných os	6
Přodorysný rozměr základny	430x370 mm
Užitečné zatížení	14,5 kg

3.2.3 Roboty firmy FANUC

Firma FANUC je jedním z největších výrobců robotů, příslušenství a robotických systémů. Portfolio této společnosti čítá více než 100 modelů robotů různých konstrukcí, rozměrů i využití.

Jednou z modelových řad je i Arc Mate, která je věnována robotům pro svařování v ochranných atmosférách. Roboty z této řady mají užitečné zatížení až 20 kg a dosah i 3123 mm. [12]

ARC Mate 100iC/7L

Jedná se o velmi hospodárného robota, jehož velkou výhodou je optimalizovaný pracovní prostor a vysoká rychlost pohybů. Dalším kladem může být malá půdorysná plocha základny. [13]



Tabulka 3- Hlavní parametry ARC Mate 100iC/7L (přeloženo) [13]

Maximální dosah	1633 mm
Opakovatelnost	±0,03 mm
Počet ovládaných os	6
Půdorysný rozměr základny	283x283 mm
Užitečné zatížení	7 kg

Obr. 9- Robot FANUC ARC Mate 100iC/7L [13]

ARC Mate 100iD

Robot ARC Mate 100iD je novinkou firmy FANUC. Jedná se o robota určeného pro svařování elektrickým obloukem. Jeho kompaktní konstrukce umožňuje práci v omezených svařovacích buňkách a v prostoru zpětného vychýlení.

Velkou výhodou jsou integrované svařovací hadice, které vedou vnitřním prostorem robota a nepřekáží tak při svařování. Robot je i přes vysokou rychlost pohybů velmi přesný. Výrobce uvádí přesnost polohování $\pm 0,02$ mm. [13]



Tabulka 4- Hlavní parametry ARC Mate M-710iC/20L (přeloženo) [11]

Maximální dosah	1441 mm
Opakovatelnost	$\pm 0,02$ mm
Počet ovládaných os	6
Půdorysný rozměr základny	343x343 mm
Užitečné zatížení	12 kg

Obr. 10- FANUC ARC Mate M-710iC/20L [13]

3.2.4 Shrnutí a porovnání svařovacích robotů

Všechny roboty uvedené v předešlých kapitolách jsou vhodné pro svařování v ochranných atmosférách metodami MIG, MAG i WIG. Dále umožňují montážní práce, pájení, nanášení lepidel a další technologické operace. Jejich dosah se pohybuje od 706,7 mm do 1813 mm a užité zatížení od 6 kg do 14,5 kg.

Určení nejlepší varianty svařovacího robota vyžaduje zhodnotit všechna kritéria výběru. Ta jsou pro každé pracoviště rozdílná. V malých dílnách nebo svařovacích buňkách budeme od robota vyžadovat co největší kompaktnost, malé půdorysné rozměry a štíhlý obrys. Naopak od takového robota nevyžadujeme velký dosah. Přesnost a užitečné zatížení volíme podle vyráběných dílců a hmotnosti svařovací hlavice umístěné na zápěstí. Tato kritéria nejlépe splňují roboty KR AGILUS KR R700 a ARC Mate 100iD. Uvedené roboty mají malé půdorysné rozměry a svojí konstrukcí jsou vhodné pro svařování v buňkách. Jejich hmotnost umožňuje montáž i na strop a pod různými úhly, podle požadavků pracoviště.

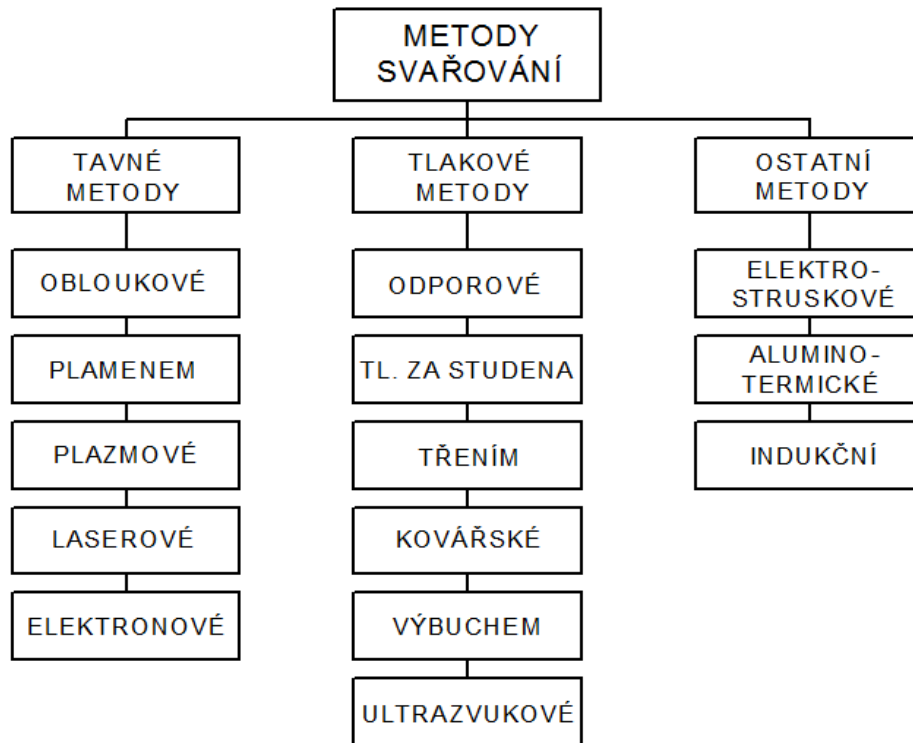
Robot ARC Mate 100iD má navíc integrované kabelové svazky do první osy robota. To ještě umocňuje jeho kompaktnost a štíhlost.

Pro svařování ve větších prostorách a větších svařenců je naopak důležitý dosah. V tomto případě dáváme přednost výkonu a užitečnému zatížení nad kompaktností a malými rozměry. Roboty KR 12 R1810-2, ARC Mate 100iC/7L i ARC Mate 100iD splňují tato kritéria. Jejich dosah je dostačující pro sériové svařování velkých dílců a užitečné zatížení a výkon jsou pro tuto operaci dostačující. Z této skupiny opět vyniká robot ARC Mate 100iD, který si i přes svůj velký dosah a užitečné zatížení udržuje štíhlý obrys, malé půdorysné rozměry a velmi vysokou přesnost.

Z uvedeného porovnání je zřejmé, že robot ARC Mate 100iD od firmy FANUC je vhodný pro svařování malých dílců v malých prostorách nebo svařovacích buňkách, i pro svařování velkých dílců ve větších výrobnách. Svojí přesností převyšuje ostatní uvedené stroje, stejně tak jako dosahem a užitečným zatížením v poměru k půdorysným rozměrům a kompaktnosti.

4. Metody svařování vhodné pro robotizované aplikace

Existuje mnoho metod svařování. Ty se většinou dělí na tlakové, tavné a ostatní. Celé rozdělení je přehledně zaznamenáno na obrázku níže.



Obr. 11- Rozdělení metod svařování [4]

Dále jsou popsány metody, které představují největší přínos pro robotizované aplikace. Tzn. metoda obloukového svařování v ochranných atmosférách (MIG, MAG, TIG), svařování pod tavidlem, elektronové, laserové, plazmové, svařování odporové, ultrazvukové. [4]

4.1 Obloukové svařování v ochranných atmosférách

Nejrozšířenější metodou svařování obecně je obloukové svařování v ochranných atmosférách. To platí stejně i v případě robotizace. Tato metoda je z hlediska technologie jednoduchá, velice účinná, produktivní, přesná a univerzální. Principem této metody je zahřívání materiálu elektrickým obloukem v ochranném plynu, který je důležitý pro kvalitní svar. Ochranný plyn zamezuje vstupu kyslíku a nečistot ve vzduchu k svaru. Chrání tak svarovou lázeň, elektrodu, kořen svaru, i okolí svaru.

Metoda MIG

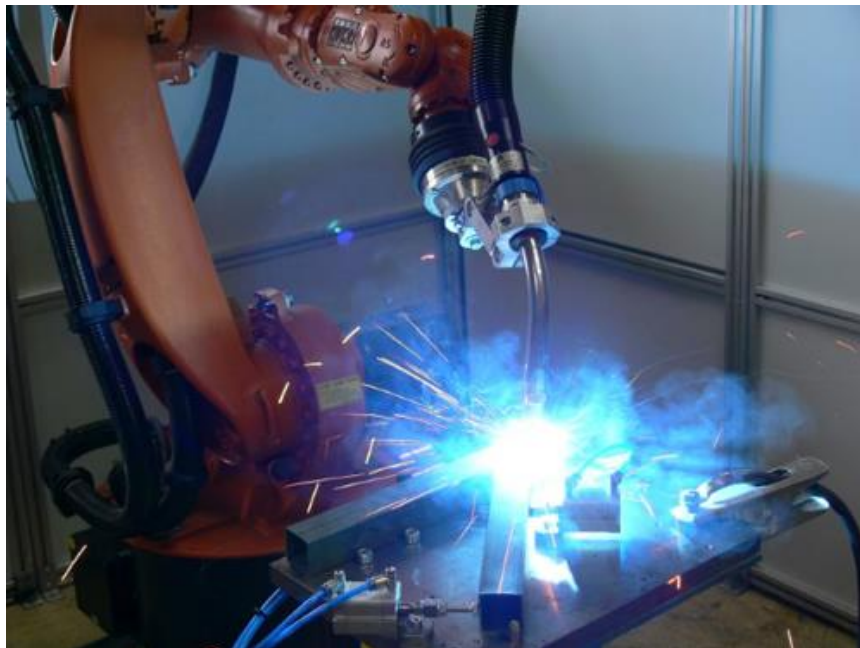
Při této metodě se používá inertní plyn, který nereaguje se svarovou lázní (Ar, He) a tavná elektroda. Základním materiálem je většinou hliník, měď, nikl a jejich slitiny. Svařovací proud je většinou stejnosměrný, s nepřímou polaritou. Nyní se objevují i zdroje na střídavý proud.

Metoda MAG

Metoda MAG používá aktivní plyn, který reaguje se svarovou lázní (směsné plyny na bázi O₂, CO₂, Ar) a tavnou elektrodou. Základním materiálem jsou nelegované, nízko i vysoko legované ocele. Svařovací proud je stejnosměrný, s nepřímou polaritou.

Metoda WIG

Svařování metodou WIG se provádí v ochranné atmosféře inertního plynu, stejně jako u metody MIG, avšak netavnou wolframovou elektrodou. Lze svařovat širokou škálu základních materiálů. Ocele legované, hliník, měď, nikl, titan a jejich slitiny. Svařovací proud je stejnosměrný, s přímou i nepřímou polaritou, i střídavý. [4; 14]



Obr. 12- Robotizované svařování v ochranné atmosféře [15]

4.2 Svařování pod tavidlem

Svařování pod tavidlem je metoda, při které svar probíhá pod práškovým nebo granulovým tavidlem. Tavidlo je struskotvorné, chrání svar a dodává do svarové lázně legující prvky. Užívají se tavné elektrody, které plní úlohu přídavného materiálu. Způsob svařování pod tavidlem je nejproduktivnější a vhodný při tvoření rozměrných svarů, co se týče délky i průřezu svaru. Tato metoda je často automatizovaná pomocí vozíků (traktorů) nebo výložníků, či robotizovaná.

Nevýhodou svařování pod tavidlem jsou ovšem vysoké nároky na úpravu svarových ploch a jejich čistotu. Další nevýhodou je omezená volba polohy svařování. Metoda umožňuje svařování v poloze vodorovné shora nebo šikmé shora. Dále zakrytí svarové lázně tavidlem, což znemožňuje vizuální kontrolu při svařování. [14]



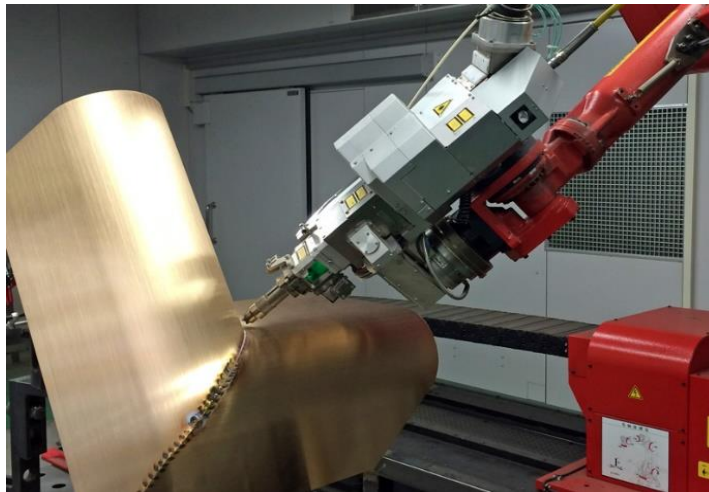
Obr. 13- Robotizované svařování pod tavidlem (SAW) [16]

4.3. Svařování laserem

Principem laserového svařování je fokusování emitovaného světelného paprsku na malou plochu a její následné zahřívání. Tento jev se řídí zákony kvantové elektroniky a principy vyzářování.

Velkou výhodou svařování laserem je čistota procesu a možnost svařování i materiálů jako jsou slitiny titanu, molybdenu, wolfram a stříbro. Další výhodou je rychlost, možnost svařování tenkých plechů, snadná automatizace a robotizace.

Naopak mezi nevýhody patří malá účinnost, zvýšené nároky na kvalitu a geometrickou přesnost svařovaných dílů, vysoká pořizovací cena zařízení a energetická náročnost provozu. [14; 17]



Obr. 14- Robotizované svařování laserem [17]

4.4 Odporové svařování

Jedná se o svařování pomocí elektrického odporu svařovaných materiálů. Dva předměty jsou k sobě přimáčknuty elektrodami, jimiž prochází elektrický proud. Svařovaný materiál má mnohem větší odpor než měděné elektrody, proto dochází k lokálnímu ohřevu svařovaných součástí a jejich následnému materiálovému spojení.

Nejčastěji se takto svařují plechy a ocelové sítě. Svary jsou dostatečně pevné v tečném směru namáhání, v normálovém směru je únosnost svaru malá.

Druhy odporového svařování jsou:

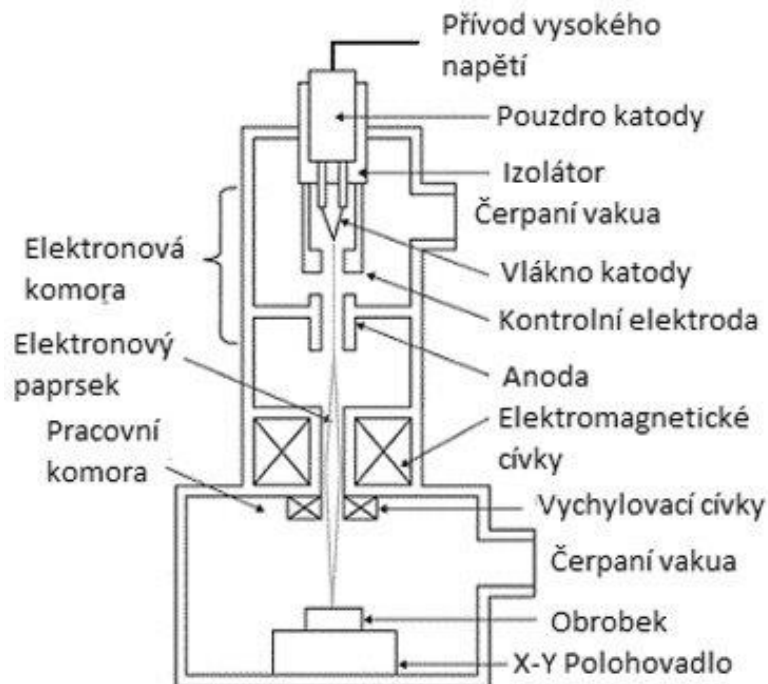
- 1) bodové odporové svařování: tvoří se svarové čocky mezi přeplátovanými materiály
- 2) švové odporové svařování: tvoří se souvislý svar pomocí kotoučových elektrod mezi přeplátovanými materiály
- 3) výstupkové odporové svařování: spoje se vytváří na výstupcích materiálu
- 4) stykové odporové svařování: dílce se svařují v celé styčné ploše. [4]

4.5 Elektronové svařování

Elektronové svařování využívá přeměnu kinetické energie letícího elektronu na energii tepelnou v důsledku nepružné interakce elektronového paprsku s kovem. Tato tepelná energie způsobuje roztavení a následné spojení základních materiálů. Stroj pro elektronové svařování je tvořen elektronovou tryskou, optikou, řídicím systémem a vakuovou pracovní komorou.

Přídavný materiál se používá pouze výjimečně, a to ve formě drátu či prášku. Stejně jako u svařování laserem, je i tato technologie velmi čistá a přesná.

Velkou výhodou je malá tepelně ovlivněná oblast, minimální deformace základního materiálu, velká hloubka průvaru, svařitelnost velkého počtu druhů materiálů a vysoký stupeň automatizace. Naopak mezi nevýhody patří náročnost přípravy před samotným svařováním (opracování svarových ploch), nutnost vakuové komory, pořizovací cena zařízení, vznik rentgenového záření. [18]



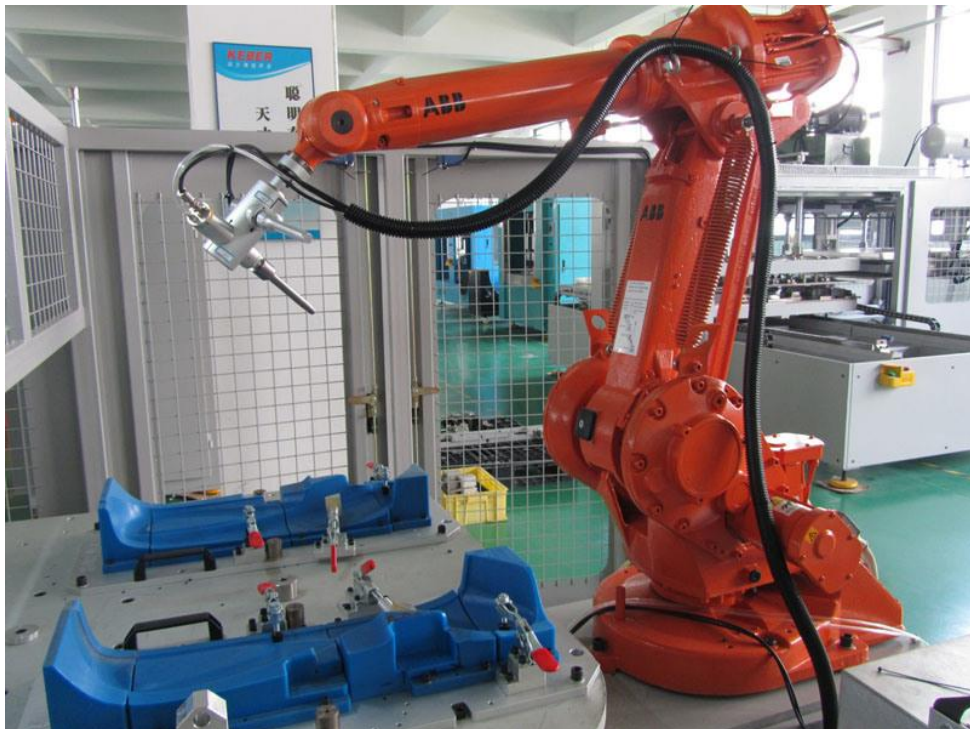
Obr.15- Schéma elektronového svařování [18]

4.6 Ultrazvukové svařování

Ultrazvukové svařování se zakládá na účinku mechanického kmitání o vysoké frekvenci-ultrazvuku. Zdrojem kmitání je ultrazvukový měnič, jehož vinutí je napájeno vysokofrekvenčním generátorem proudu. Při svařování se používá podélných, torzních a ohybových kmitů. Společně s působením kmitání jsou svařované součásti na sebe mechanicky přitlačovány. Nejprve dochází k odstranění nečistot a oxidů na povrchu, poté k plastické mikrodeformaci a difuzi svařovaných ploch při nízké teplotě.

Touto metodou se dobře svařuje hliník, měď, nikl, a to díky jejich kubické, plošně středěné mřížce. Polotovarem pro svařování ultrazvukem bývají tenké plechy.

Výhodou je čistota technologie, široké uplatnění, vysoká rychlost, nenáročnost připojení k elektrické síti, kompaktnost, nespotřebovává se žádný materiál. Nevýhodou je potřeba speciálních nástrojů a přípravků vyrobených na míru pro každou sérii svařenců. [14; 20]



Obr. 16- Robotizované ultrazvukové svařování [19]

5. Senzorické systémy používané ve svařování

Senzorické systémy jsou nezbytnou součástí každého robotizovaného pracoviště. Stejně jako smyslové vnímání člověka, tak i tyto systémy slouží k zaznamenávání informací o stavu okolního světa. Může se jednat například o tvar předmětu, jeho rozměry, hmotnost, teplotu, umístění v prostoru, rychlost jeho pohybu. Pro technologii svařování jsou nejdůležitější především senzory pro určování polohy a tvaru trajektorie svaru. Dále se využívají senzory pro sledování teploty a parametrů například elektrického oblouku při svařování v ochranných atmosférách.

Senzorické systémy, a tedy i senzory, můžeme dělit na dotykové a bezdotykové. Jak lze poznat již z názvu, dotykové senzory přichází do bezprostředního styku s měřeným předmětem, zatímco bezdotykové senzory provádí měření z určité vzdálenosti. Speciálním případem sensorických systémů je systém TAST, kterému bude věnována samostatná kapitola, a následně bude testován v praktické části této práce. [21;22]

5.1 Dotykové sensorické systémy

Jak již bylo řečeno, dotykové senzory přichází do přímého styku s předmětem (svařovaným dílcem). Proto musí být tvarem, velikostí a umístěním uzpůsobeny pro dosažení požadovaných míst na svařenci. Tyto senzory slouží k vyhledání pozice a trajektorie svaru. Právě přístupnost daných svařovacích ploch je velkou slabinou dotykových systémů. Jejich využití je tímto aspektem značně omezeno. Další nevýhodou je prodloužení svařovacího cyklu. Naopak jejich výhodou je jednoduchost, nezávislost na světelných podmínkách a nízká cena.

Princip této metody je založen na korekci odchylek. Nejprve je vytvořen program na vzorový kus, který je přesně založen na stole pomocí upínek a přípravků. Poté při založení dalšího výrobku jsou zjištěny odchylky od původního vzorového výrobku v naprogramovaných bodech. Na základě těchto odchylek provede program korekci původní trajektorie svaru. To se opakuje pro každý samostatný výrobek. [21;22]

5.1.1 Senzor zastoupený hubicí

Svařovací hubici lze využít jako senzor pro vyhledání pozice svaru. Princip spočívá v propojení elektrického obvodu mezi svařencem a hubicí. K tomu je potřeba, aby na hubici bylo připojeno napětí (obr. 17). Při propojení obvodu se zaznamená poloha a vypočte korekce mezi skutečnou a naprogramovanou polohou. Nevýhodou této metody je požadavek hubice na velké svařovací prostory a nutnost před každým snímáním zajistit čistotu hubice. Naopak hlavní výhodou je nízká cena. Tato metoda je nejlevnější z metod vyhledávání pozice svaru. Pro dotek se z pravidla používá válcová část hubice, která je ke snímání nejvhodnější. [21]



Obr. 17- Hubice s připojeným napětím [21]

5.1.2 Senzor zastoupený svařovacím drátem

Stejně jako hubice, tak i svařovací drát lze využít k vyhledávání pozice svaru. Princip je stejný jako u hubice, avšak svařovací drát je potřeba speciálním zařízením upevnit v krku svařovacího hořáku a zároveň uvolnit kladky podávacího zařízení. Důležité je také zastříhnout drát na požadovanou délku. Všechny tyto úpravy jsou nutné pro přesné určení odchylek.

Výhodou je poměrně nízká cena a možnost vyhledávání ve stísněných prostorech, kde nelze uplatnit metodu s hubicí. Za nevýhodu se dá považovat prodloužení svařovacího cyklu a nutnost přípravy svařovacího drátu (zastřížení, uvolnění kladek, zajištění v krku hubice) před samotným vyhledáváním. [21;23]

5.1.3 Taktilní senzory

Tyto senzory jsou samostatnou součástí na svařovacím robotu. Většinou mají tvar tenkého, dlouhého válce s kuželem a jsou zakončeny koulí či „jehlou“, v některých případech i malou kladkou (obr. 20). Taktilní senzor se pohybuje po ploše svarové mezery a zjišťuje její odchylky od naprogramované plochy mezery. V důsledku pohybu senzoru po svařovaném materiálu dochází k opotřebování konce senzoru. Proto je důležitá pravidelná údržba a kontrola senzoru. Mezi výhody oproti předcházejícím metodám patří vyšší rychlost, dosažitelnost i hůře přístupných svarových ploch a nezávislost na světelných podmínkách. Vyhledávání pozice svaru taktilním senzorem je technicky náročnější a dražší než metoda s hubicí a metoda se svařovacím drátem. [21;24]



Obr. 19- Taktilní senzor s kulovým koncem a tělem [24]



Obr. 20- Různá zakončení taktilních senzorů [24]

5.2 Bezdotykové sensorické systémy

Bezdotykové sensorické systémy můžeme nazývat také jako optické systémy. Senzory těchto systémů využívají pro vyhledávání pozice svaru porovnávání obrazu (kamery) nebo měření vzdáleností pomocí odraženého paprsku (lasery). Senzory jsou většinou umístěny u svařovacího hořáku, avšak v bezpečné vzdálenosti od svarové lázně.

Výhodou optických senzorů je vyhledávání i na těžko dostupných místech, ve všech polohách hořáku. Proto se bezdotykové systémy používají tam, kam dotykové systémy, kvůli své konstrukci, nemají přístup. Další výhodou je několikanásobně vyšší rychlost oproti dotykovým senzorům. Nevýhodou je citlivost na reflexní materiály a vysoká cena. [22;23]

5.2.1 Kamerové senzory

Kamerové senzorické systémy fungují na podobném principu porovnávání jako systémy dotykové. Na rozdíl od dotykových systémů však porovnávají fotografii dílů. Nejprve se vytvoří referenční fotografie přesně vloženého, referenčního dílu, která se uloží do paměti. Tuto fotografii systém následně porovnává s fotografiemi každého nově vloženého dílu. Při porovnávání systém zaznamená odchylky, podle kterých následně provede korekce polohy a tvaru trajektorie svaru.

Kamery se při svařování také používají pro navádění manipulátorů. V tomto případě systém rozezná jednotlivé díly umístěné například na paletě, určí jeho natočení v prostoru a předá tyto informace řídicímu systému manipulátoru.

Výhodou je jejich několikanásobně vyšší rychlost než u systémů dotykových, uplatnění i na špatně dostupných místech, kam dotykové systémy nemají přístup. Některé kamerové systémy lze také využít pro celkovou kontrolu po provedení svaru. Například inteligentní kamera Fuji-Cam od firmy Cyber-Weld (obr. 21) může informace o kontrole uložit a přiřadit k jednotlivým dílům, přičemž rovnou označí ty zmetkové. Díky této funkci odpadá nutnost výstupní kontroly.

Kamerové systémy mohou být omezeny světelnými podmínkami a odrazivostí svařovaného materiálu. Tyto nedostatky lze ale minimalizovat zlepšením osvětlení a použitím kombinace kamerového a laserového senzoru. [21;23;25]



Obr. 21- Inteligentní kamera Fuji-Cam od firmy Cyber-Weld [25]



Obr. 22- 2D kamerový systém umístěný na robotu firmy FANUC [26]

5.2.2 Laserové senzory

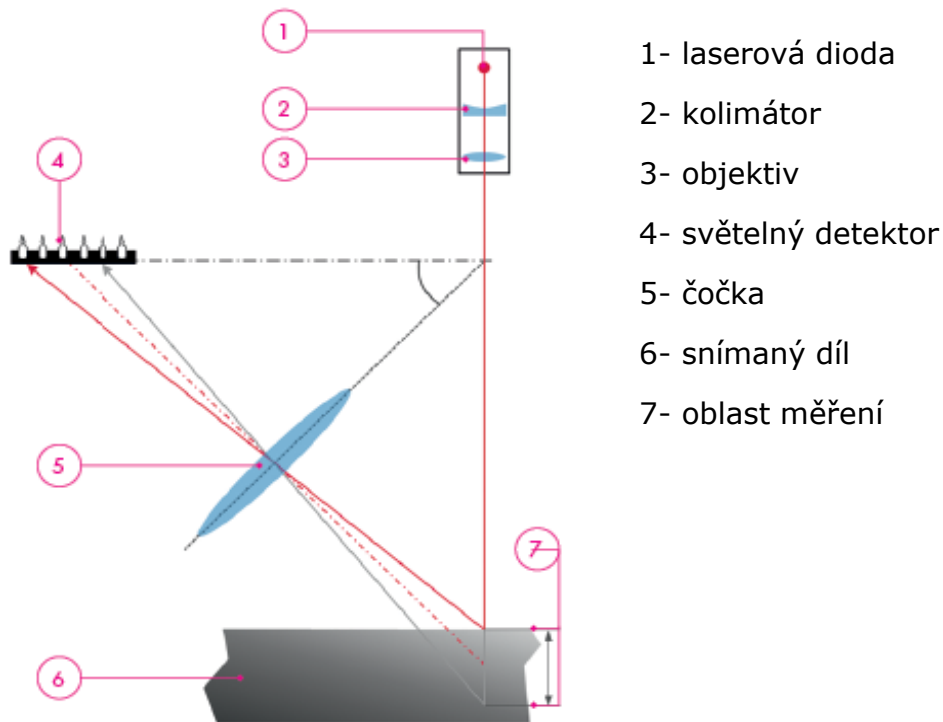
Laserové systémy fungují na principu měření odraženého paprsku. Systém zaznamenává časový úsek mezi vysláním paprsku a přijmutím paprsku odraženého (obr. 24). Z tohoto časového údaje následně vypočte vzdálenost odrazové plochy. Tímto způsobem lze lehce určit pozici svaru před zahájením svařování.

Moderní 3D lasery umožňují sledování svaru v reálném čase, během procesu svařování. Laserový senzor je umístěn před svařovacím hořákem a snímá dráhu metodou triangulace.

Rychlost tohoto snímání je vyšší než ostatní uvedené metody. Lze říci, že snímáním 3D laserem se doba procesu neprodlužuje. Zároveň dosahuje velmi vysoké přesnosti. Lesklé povrchy však způsobují problémy i v tomto případě. Zmírnění možného zkreslení u lesklých povrchů se dá provést použitím přídavného softwaru a filtrů. Největším omezením laserových senzorů je ale jejich cena, která může dosáhnout částky 1 milion Kč. [22;27]



Obr. 23- Použití 3D laseru při snímání svarové mezery [27]



Obr. 24- Princip triangulace při snímání 3D laserem (přeloženo) [22]

6. Korekce pohybů robota v závislosti na parametrech svařování (TAST)

Systém TAST (Through Arc Seam Tracking), neboli sledování svařovacího procesu pomocí proměnlivého proudu elektrického oblouku, se používá při svařování el. obloukem s konstantním napětím (MIG, MAG). Tato metoda je vhodná pro dlouhé, přímé, popřípadě zakřivené svary. Princip spočívá ve sledování elektrického proudu oblouku, který se mění v závislosti na odporu. Ke změně odporu dochází při oddálení nebo přiblížení svařovacího drátu vzhledem k základnímu materiálu. Systém vyhodnocuje kolísání elektrického proudu a následně upravuje dráhu pohybu robota.

Při svařování metodou WIG se používá podobná technika. Zde zůstává konstantní proud, a napětí se mění v závislosti na odporu.

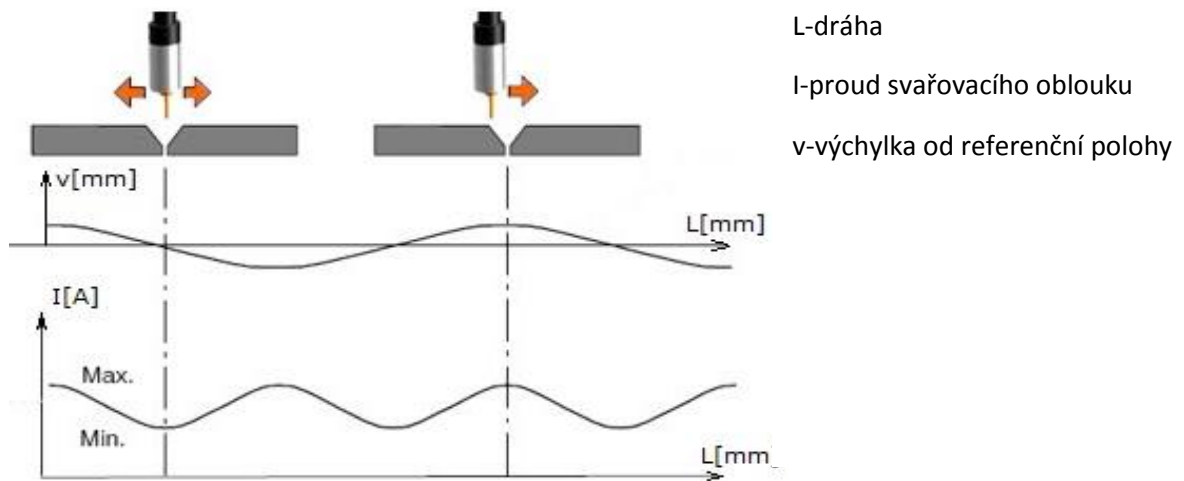
Omezení systému TAST nastává u svařování tenkých plechů (min. 2 mm). Jeho nevýhodou je také menší svařovací rychlost. Nelze tedy použít při výrobě

s požadavkem vysoké produktivity. Vhodné nejsou ani široké svarové mezery a materiály s povrchovou rží, nebo jinou nečistotou. Tyto aspekty by mohly vnést do snímání značnou chybu. [22;28]

6.1 Trasování systému TAST

System TAST umožňuje trasování ve vertikálním a příčném směru. Trasováním se rozumí sledování odchylek a korekce dráhy hořáku. Příčné trasování neboli laterální, se provádí ve směru rozkvy hořáku. Vertikální trasování je kolmé na příčné a upravuje vzdálenost hořáku od základního materiálu. [22;28]

Při příčném trasování musí hořák konat rozkmit (typicky sinusový). Tedy vychylovat se pravidelně od referenční trajektorie o stejnou odchylku na obě strany. Při tomto pohybu dochází ke změně elektrického odporu v závislosti na vzdálenosti svařovacího drátu od základního materiálu. Při konstantním napětí se podle Ohmova zákona mění proud na oblouku. TAST tuto změnu proudu zaznamenává v reálném čase a vypočítává plochu pod křivkou pro výchylku na pravou a levou stranu (obr. 25). [22;28]



Obr. 25- Průběh příčného trasování systémem TAST [29]

Vychýlení od naprogramované trajektorie se projeví rozdílem obsahů ploch nad křivkou a pod křivkou (pravé a levé strany). TAST v dalším cyklu toto vychýlení eliminuje úpravou trajektorie hořáku. [28]

Vertikální trasování se opět provádí sledováním proudu v reálném čase. Pro vertikální trasování není potřebný rozkmit. Jelikož se ale většinou provádí trasování v obou směrech, rozkmit je při vertikálním trasování zapnut. Referenční hodnotu systém sám změří, nebo je zadána uživatelem do programu.

Referenční hodnota proudu je během procesu svařování porovnávána s aktuální. Při přiblížení hořáku k základnímu materiálu se sníží odpor a zvýší proud. TAST tuto změnu vyhodnotí a upraví polohu hořáku. Naopak při oddálení se odpor zvýší, proud sníží, a následně proběhne úprava (přiblížení) hořáku. [22;28]

6.2 Nastavení systému TAST

Systém TAST umožňuje nastavení až 32 programů, které jsou na sobě nezávislé a každý z programů může být použit pro zcela odlišnou svařovací operaci. Tyto programy jsou zobrazeny v přehledu nazvaném TAST Schedule. Kromě pořadového čísla programu jsou zobrazeny i jeho hlavní parametry, tedy citlivost pro vertikální a příčné (laterální) trasování.

Pro úpravu programu jej stačí otevřít a v zobrazeném přehledu upravovat jednotlivé parametry.

Parametry, které lze upravit při tvorbě programu, jsou uvedeny v tabulce 5. [30]

Tabulka 5- Nastavení parametrů systému TAST [30] - převzato

	TAST Schedule: [n]	Číselné označení zobrazeného TAST schématu.
1	TAST Schedule: [comment]	Umožňuje komentovat/pojmenovat schéma.
2	V_compensation enable	Aktivace/deaktivace vertikálního sledování spoje.
3	L_compensation enable TRUE / FALSE	Aktivace/deaktivace laterálního sledování spoje.
4	V_master current type FEEDBACK / CONSTANT	Volba zdroje pro stanovení referenční hodnoty el. proudu: FEEDBACK – hodnota je přečtena na začátku svařování a vzata jako referenční (parametry 13 a 14) CONSTANT – referenční hodnota je zadána ručně (v parametru 15).

5	Sampling timing (no WV) Výchozí hodnota: 0,5 s Min: 0 s / Max: 99,99 s	Nastavení časové konstanty (v sekundách), která nahrazuje jednu periodu v případě, že není použit rozkmit (weave) při svařování.
6	Comp frame (no WV) TOOL / FRAME	Vertikální navádění probíhá vždy v ose Z, laterální vždy v ose Y. Orientace těchto os je běžně převzata z funkce rozkmitu. V případě, že rozkmit není použit, je potřeba definovat jiný zdroj orientace kartézského prostoru. Zdrojem orientace může být User Frame (uživatelsky definovaný prostor) nebo Tool frame (definice nástroje).
7	V_compensation gain (sensitivity) Výchozí hodnota: 25 Min: 0 / Max: 99,999	Citlivost vertikální kompenzace. Ovlivňuje poměr mezi zjištěnou proudovou odchylkou a mírou prováděné kompenzace. Příliš vysoká citlivost může vést k překompenzovanému stavu – od kmitání kolem ideální trajektorie až po ztrátu schopnosti navádění.
8	V_dead band Výchozí hodnota: 0 mm Min: 0 mm/ Max: 999,9 mm	Definuje velikost vychýlení ve vertikálním směru, které systém ignoruje. Tzn. systém začne dráhu korigovat až po překročení tohoto parametru. Využívá se pro svařování v nestabilním prostředí (s nestabilní zpětnou vazbou).
9	V_bias rate (up+) Výchozí hodnota: 0 Min: -99,99 / max: 99,99	Upravuje v procentech velikost korekce vzhledem k základnímu materiálu. Pokud jsou nastaveny záporné hodnoty, korekce se posunou blíže k základnímu materiálu. Pokud je nastavená kladná hodnoty, korekce se posune dále od zákl. materiálu.
10	V_tracking limit Výchozí hodnota: 600 mm Min: 0 mm / Max: 9999,9 mm	Definuje oblast v milimetrech, ve které dochází k vertikální korekci. Pokud se robot dostane přes zadanou hodnotu, vertikální navádění přestane fungovat. Pokud je hodnota nastavena na 0, navádění ve vertikálním směru je vypnuto.
11	V_tracking limit per cycle Výchozí hodnota: 1 mm Min: 0 mm / Max: 9999,9 mm	Definuje maximální velikost vertikální korekce v milimetrech, jakou může systém provést za jeden cyklus (mm/cyklus).
12	V_compensation: start count Výchozí hodnota: 5 Min: 3 / Max: 999	Definuje počet cyklů, po kterých začne TAST korigovat dráhu ve vertikálním směru. Elektrický oblouk tak získá čas ke













		stabilizaci. Pokud je hodnota nižší než 4, systém ji ignoruje a korigování dráhy začíná po třetím cyklu.
13	V_master sampling start count (feedback) Výchozí hodnota: 4 Min: 2 / Max: 999	Definuje počet cyklů, po kterých začne TAST zaznamenávat referenční hodnotu (feedback) pro vertikální navádění. Elektrický oblouk získává čas ke stabilizaci.
14	V_master sampling count (feedback) Výchozí hodnota: 1 Min: 1 / Max: 999	Definuje počet cyklů, během kterých TAST zaznamenává referenční hodnotu.
15	V_master current constant data (constant) Výchozí hodnota: 0 Min: 0 / Max: 999,9	Definuje referenční hodnotu elektrického proudu, pokud je v řádku číslo čtyři nastavena hodnota CONSTANT.
16	L_compensation gain (sensitivity) Výchozí hodnota: 25 Min: 0 / Max: 99,999	Citlivost laterální kompenzace. Ovlivňuje poměr mezi zjištěnou proudovou odchylkou a mírou prováděné kompenzace. Příliš vysoká citlivost může vést k překompenzovanému stavu – od kmitání kolem ideální trajektorie až po ztrátu schopnosti navádět.
17	L_dead band Výchozí hodnota: 0 mm Min: 0 mm / Max: 999,9 mm	Definuje velikost vychýlení v laterálním směru, které systém ignoruje. Tzn. pokud je hodnota parametru 0,5, TAST začne korigovat dráhu, až poté, co velikost nutné korekce přesáhne 0,5 mm. Parametr se využívá pro svařování v nestabilním prostředí (s nestabilní zpětnou vazbou).
18	L_bias rate (right+) Výchozí hodnota: Min: -99,9 / Max: 99,99	Upravuje v procentech velikost korekce vzhledem k základnímu materiálu. Pokud jsou nastaveny záporné hodnoty, korekce se posune k levé straně svaru. Pokud jsou nastaveny kladné hodnoty, korekce se posune k pravé straně svaru.
19	L_tracking limit Výchozí hodnota: 600 mm Min: 0 mm / Max: 9999,9 mm	Definuje oblast, ve které dochází k laterální korekci. Pokud se robot dostane přes zadanou hodnotu, laterální navádění přestane fungovat. Pokud je hodnota nastavena na 0, navádění v laterálním směru je vypnutá.

20	L_tracking limit per cycle Výchozí hodnota: 1 mm Min: 0 mm / Max: 9999,9 mm	Definuje maximální velikost laterální korekce, jakou může systém provést za jeden cyklus (mm/cyklus).
21	L_compensation start count Výchozí hodnota: 5 Min: 3 / Max:999	Definuje počet cyklů, po kterých začne TAST korigovat dráhu v laterálním směru. Elektrický oblouk tak získá čas ke stabilizaci. Pokud je hodnota nižší než 4, systém ji ignoruje a korigování dráhy začíná po třetím cyklu.
22	Robot Group Mask Výchozí: [1;*;*;*;*;*;*;*]	Definuje pohybovou skupinu, která provádí svařování. Pokud nepoužíváme více skupin, neměnit výchozí nastavení.
23	Adjust delay time Výchozí hodnota: 10	Tento parametr reprezentuje schopnost akcelerace robotu v kombinaci s rychlostí komunikace mezi robotem a svařovacím zdrojem. Hodnoty jsou zde automaticky nastaveny po instalaci systému TAST. Doporučuje se neměnit.
	--Adaptive gain control--	Systém TAST zaznamenává směr navádění. Pokud je směr navádění po několika cyklů stejný, systém dostává informaci, že velikost korekce je nedostačující. Adaptivní řízení umožňuje nastavit hodnotu násobení citlivosti. Korekce se tak zvyšuje a hořák se dostává do správné pozice rychleji.
24	V_AG_correction count Výchozí hodnota: 0 Min: 0 / Max: 99	Definuje počet cyklů, po kterých začne adaptivní řízení ve vertikálním směru. Funkce je výhodná, pokud je vychýlení v jednom směru – nahoru či dolů. Pokud je hodnota nastavena na 0, adaptivní řízení je vypnuto. Pro aktivaci je nutné nastavit hodnotu na 2 nebo více.
25	L_AG_correction count Výchozí hodnota: 0 Min: 0 / Max: 99	Definuje počet cyklů, po kterých začne adaptivní řízení v laterálním směru. Funkce je výhodná, pokud je vychýlení v jednom směru – vlevo či vpravo. Pokud je hodnota nastavena na 0, adaptivní řízení je vypnuto. Pro aktivaci je nutné nastavit hodnotu na 2 nebo více.
26	V_AG_correction band Výchozí hodnota: 4 Min: 0 / Max: 9,9	Definuje množství dat, vůči kterým laterální adaptivní řízení porovnává vypočítanou korekci. Adaptivní řízení nebude aktivováno, dokud velikost korekce nepřesáhne zadanou hodnotu. Pro

		nestabilní procesy svařování se doporučuje nastavit hodnotu na 6 a více.
27	L_AG_correction and Výchozí hodnota: 4 Min: 0 / Max: 9,9	Definuje množství dat, vůči kterým laterální adaptivní řízení porovnává vypočítanou korekci. Adaptivní řízení nebude aktivováno, dokud velikost korekce nepřesáhne zadanou hodnotu. Pro nestabilní procesy svařování se doporučuje nastavit hodnotu na 6 a více.
28	V_AB_multiplier Výchozí hodnota: 1,5 Min: 1 / Max: 9,9	Definuje hodnotu násobení pro vertikální adaptivní řízení.
29	L_AG_multiplier Výchozí hodnota: 1,5 Min: 1 / Max: 9,9	Definuje hodnotu násobení pro laterální adaptivní řízení.
30	TAST Equip Mask Výchozí: [1;*;*;*;*;*;*;*]	Definuje číslo svařovacího zdroje, který svařuje. Pokud není použito více svařovacích zdrojů, neměnit výchozí nastavení.

6.3 Porovnání systému TAST s ostatními typy senzorů

Tabulka 6 – porovnání typů senzorů

Typ senzoru	TAST	Optické	Dotykové
Hledání svaru			
Sledování svaru			
Druhy svařovaného materiálu	Všechny oceli	S matným povrchem	Všechny materiály
Druhy svařovacích metod	El. obloukem	Většina metod	Většina metod
Rychlost			
Požizovací náklady			

7. Ověření senzoru TAST pro robotizované MAG svařování

7.1 Popis experimentu

Prováděný experiment se zaměřuje na svařování vícevrstevných tupých svarů metodou MAG pomocí svařovacího robota (*Fanuc Arc Mate 100ic*) a systému TAST, který bude využíván k trasování svaru v reálném čase.

Cílem experimentu je převzít zjištěná a doporučená nastavení, která zpracoval Ing. Kus ve své diplomové práci a ověřit, zda tato doporučení platí i pro svary tupé, vícevrstvé. Případně provést potřebné úpravy v nastavení a zjistit závislost kvality svaru na upravovaných parametrech.

V experimentu budou postupně vyzkoušena různá nastavení. S každou změnou nastavení bude proveden svar na připraveném vzorku a tento svar následně zhodnocen.

Závěrem by mělo být rozhodnutí, zda a do jaké míry se liší nastavení v systému TAST při svařování tupých a koutových svarů.

7.2 Postup experimentu

- 1) Příprava vzorků
 - dělení materiálu na požadované rozměry, broušení svarových ploch
 - stehování, změření kořenové mezery vzorků
- 2) Příprava pracoviště pro svařování
 - sestavení upínacího ústrojí
 - příprava zařízení pro zaznamenání experimentu
- 3) Připravení referenčního vzorku
 - referenční vzorek vytvořen bez použití systému TAST
- 4) Svařování vzorků se systémem TAST
 - první seznámení se systémem, nastavení počátečních parametrů
 - vyzkoušení příčného a vertikálního trasování
 - zhodnocení prvních svarů
 - návrh dalšího postupu a změn v nastavení parametrů na základě předcházejících výsledků
- 5) Zdokumentování experimentu
 - důkladně zaznamenávat každý postup experimentu
 - zaznamenávat každou změnu nastavení parametrů
- 6) Ukončení a vyhodnocení experimentu

7.3 Popis pracoviště

Praktická část této práce byla realizována v Laboratoři výuky svařovacích technologií Ústavu strojírenské technologie na ČVUT v Praze. Laboratoř je vybavena univerzálním šestiosým robotem Fanuc ARC Mate 100ic (obr. 26). Systém ovládá řídicí jednotka Fanuc R-J3i C, která umožňuje programování na místě pomocí ovládacího panelu Teach Pendant (obr. 27).

Pracoviště je dále vybaveno zdrojem Fronius TransPlus Synergic 3200CMT s podavačem přídatného drátu VR 7000 CMT (obr. 28). Ke zdroji je připojena jednotka pro dálkové ovládání a sledování aktuálních parametrů svařování.

Pro usazení svařenců je v laboratoři umístěn polohovací stůl s jednou naklápěcí osou P250 od firmy Fanuc. Pro upnutí součásti je nezbytnou součástí sada dorazů, upínek a dalších přípravků stavebního charakteru. Samozřejmostí jsou tlakové lahve s ochrannými plyny, bezpečnostní prvky, panel s bezpečnostním STOP tlačítkem a systém odsávání výparů.



Obr. 26 – Svařovací robotu Fanuc ARC Mate 100ic



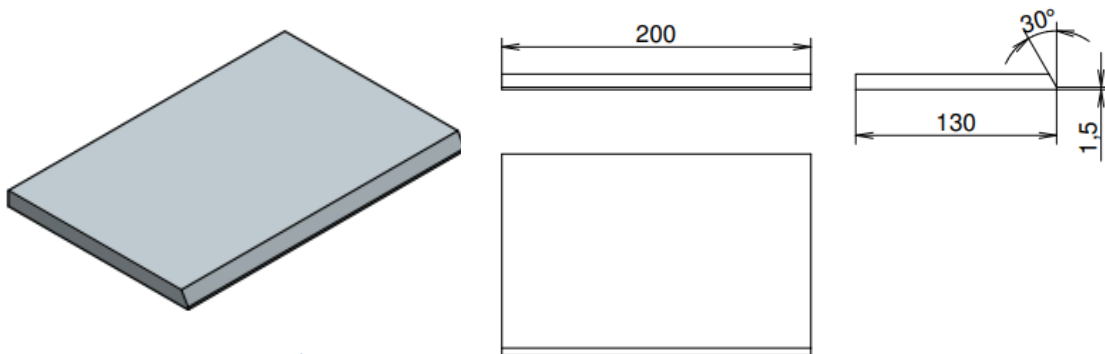
Obr. 27 – Ovládací panel Teach pendant



Obr. 28 – Podavač přídatného drátu VR 7000 CMT

7.4 Popis vzorků a jejich příprava

Pro přípravu vzorků byl použit polotovar ve formě plechu tloušťky 10 mm, tvářený za tepla (ČSN 42 5310), z konstrukčního materiálu S235JR. Tento plech byl nadělen na destičky o rozměrech 200x130 mm a na jeho delší hraně byl vytvořen úkos pro provedení tupého jednostranného V svaru.



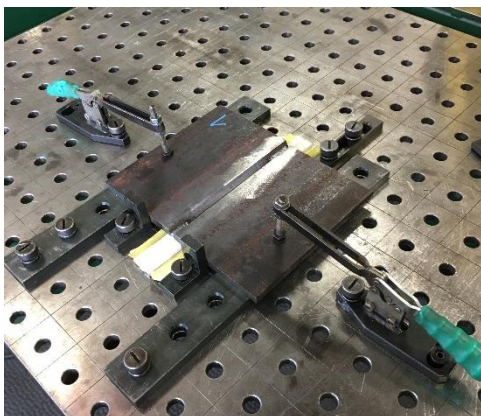
Obr. 27- Rozměry a tvar vzorků

Tabulka 6- Chemické složení základního materiálu

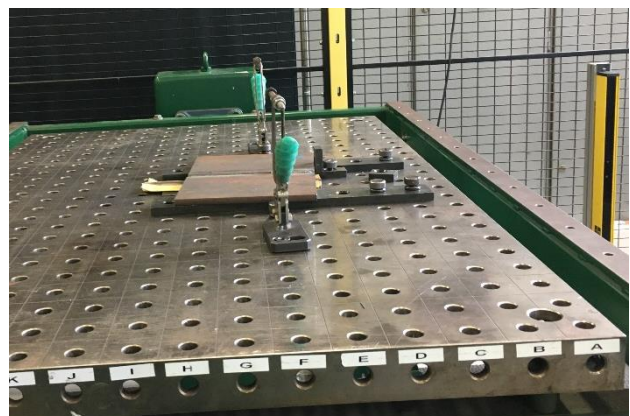
C	Mn (max)	Si (max)	P (max)	S (max)	N (max)
0,19 %	1,5 %	-	0,045 %	0,045 %	0,014 %

7.5 Upnutí vzorků

Nastehované vzorky jsou upnuty na polohovací stůl pomocí univerzálního dílenského přípravkového systému (obr. 29). Polohu vzorků zajišťují použité dorazy. Pro vychýlení vzorků od ideální referenční polohy byl použit nastavitelný úhломěr.



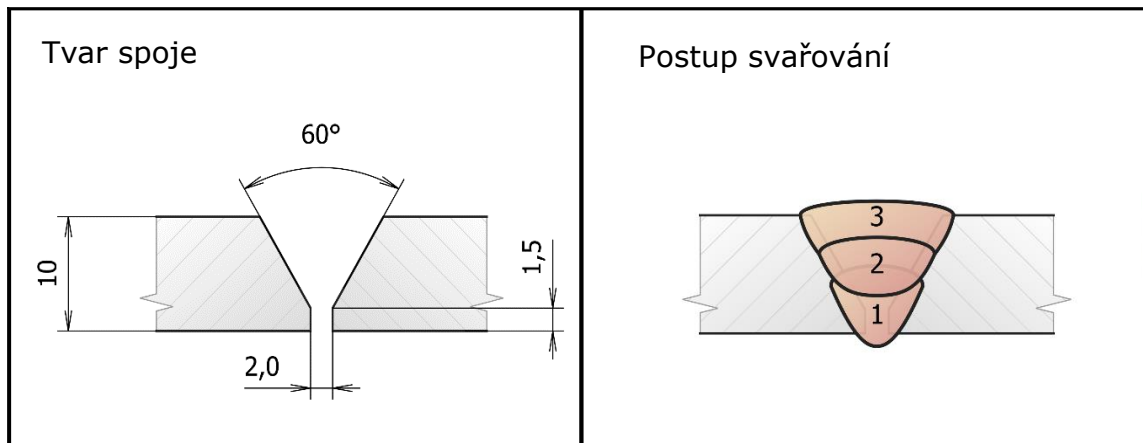
Obr. 29 – Upnutí vzorku na polohovacím stole



Obr. 30 – Umístění vzorku na polohovacím stole

7.6 Parametry svařování

Tabulka 7- Parametry svařování



Svarová housenka	1	2	3
Metoda svařování	MAG 135	MAG 135	MAG 135
Průměr přídatného drátu [mm]	1,0	1,0	1,0
Přídatný materiál	OK AristoRod 69		
Svařovací proud [A]	150	150	150
Svařovací napětí [V]	17	17	17
Druh proudu / polarita	DC (+)	DC (+)	DC (+)
Rychlost podávání drátu [m/min]	5,3	5,3	5,3
Rychlost svařování [cm/min]	25	20	15
Tepelný příkon [kJ/mm]	0,49	0,61	0,82
Ochranný plyn	M 21 Corgon 18 82% Ar + 18% CO2		

Tabulka 8 - Označení a chemické složení přídatného materiálu

Přídavný materiál	OK AristoRod 69 – Ø1 mm
EN ISO 16834-A: G 69 4 M Mn3Ni1CrMo	
C	0,06 %
Si	0,6 %
Mn	1,6 %
Cr	0,3 %
Ni	1,4 %
Mo	0,25 %
V	0,07 %

7.7 Průběh experimentu

7.7.1 Experiment 1

- kořenová mezera naměřena 2,2 mm
- experiment pro nastavení svařovacích parametrů, nastavení rozkyvu
- svařování bez použití systému TAST a bez odchylky
- při svařování postupně vyzkoušeny hodnoty rozkyvu (obr. 31)
- pro další vzorky určeny hodnoty rozkyvu a rychlost svařování (tabulka 9)

Tabulka 9 – Parametry rozkyvu

parametr	Frekvence [Hz]	Amplituda [mm]	Výdrž (vpravo) [s]	Výdrž (vlevo) [s]	Rychlost svařování [cm/min]
kořen	3	1,8	0,1	0,1	25
výplň	2,2	3	0,1	0,1	20
krycí	2	4,5	0,1	0,1	15



Obr. 31 Experiment 1

7.7.2 Experiment 2

- kořenová mezera naměřena 2,5 až 2,8 mm
- experiment pro vytvoření referenčního vzorku
- kořenový svar se propadl (větší mezera oproti vzorku 1), vzorek nebyl vhodný pro referenční svar
- ve výplňové vrstvě spuštěn systém TAST pro první seznámení
- TAST nastaven na hodnoty stejné jako při práci Ing. Kuse, citlivosti vertikální i laterální postupně měněny: 20,20; 10,10; 30,30
- nejlépe se jevílo nastavení citlivosti 20, 20 pro vertikální a laterální trasování (obr. 32)
- svar nesymetrický, pro vycentrování zkusit použít korekci (parametr 18)



Obr. 32 – Experiment 2

7.7.3 Experiment 3

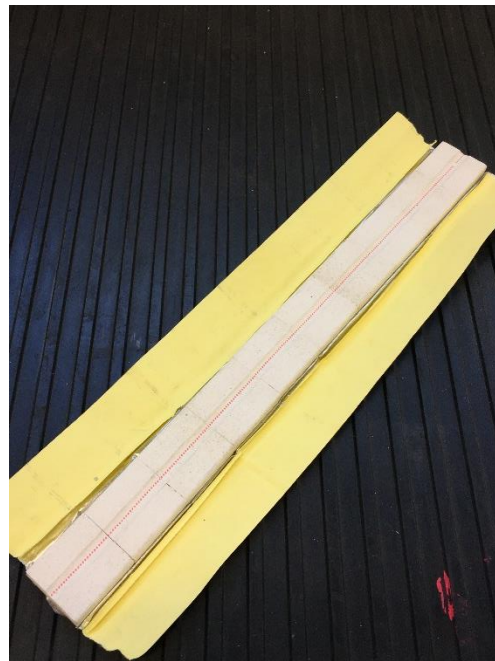
- kořenová mezera naměřena 2,3 až 2,6 mm
- experiment pro vytvoření referenčního vzorku, bez použití TAST, bez natočení
- použití keramické podložky pro kořenový svar, což zamezilo propadnutí svarové lázně (obr. 35)
- referenční vzorek svařen za použití hodnot zjištěných při experimentu 1
- referenční vzorek splňuje ČSN EN ISO 5817 [31], stupeň B, byly posouzeny kritéria: převýšení krycí vrstvy, převýšení kořene, symetrie housenky (obr. 33, obr. 34)



Obr. 33 – Experiment 3



Obr. 34 – Referenční vzorek



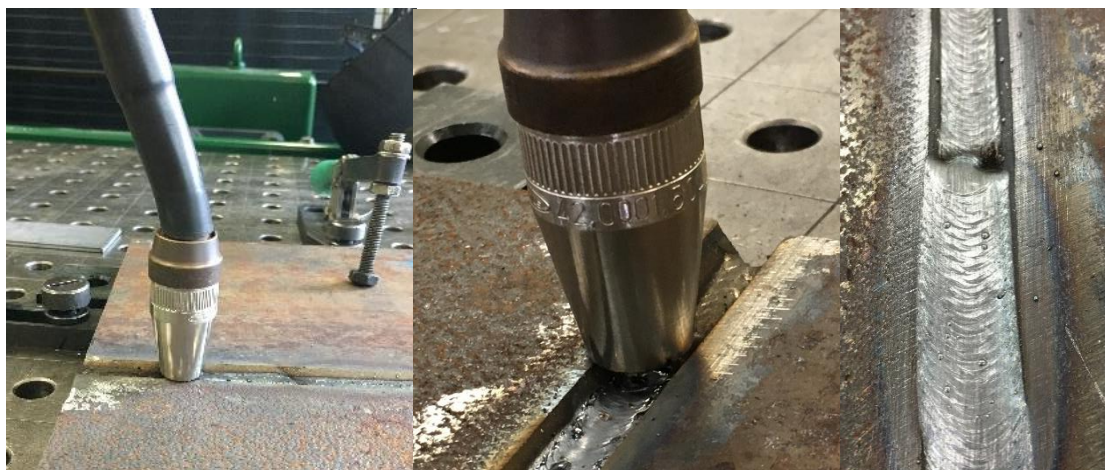
Obr. 35 – Keramická podložka pro kořenový svar

7.7.4 Experiment 4

- kořenová mezera naměřena 1,9 až 2,2 mm
- kořenový svar proveden bez použití TAST, bez natočení, ideální kořenový svar
- výplňový a krycí svar proveden se systémem TAST, s natočením 5° **vlevo**
- citlivost vertikálního a laterálního trasování 20, 20
- nastavena korekce pro vycentrování svaru v mezeře -10 (parametr 18)
- korekce funguje, -10 se zdá být moc vysoká hodnota, svar přiléhá spíše k levé straně, v dalším experimentu byla upravena na -5
- při výplňovém svaru došlo ke kolizi hořáku se základním materiálem, to představuje velké nebezpečí (obr. 37)
- krycí svar stejné nastavení (20, 20, 10), je mělký, nevyplňuje zcela svarovou mezeru, což může být způsobeno větší svarovou mezerou, hořák během svařování klesá ve vertikálním směru



Obr. 36 – Experiment 4 (oranžová- naprogramovaná dráha, modrá- skutečná dráha)



Obr. 37 - zleva: kolize hořáku, vychýlení krycího svaru

7.7.5 Experiment 5

- kořenová mezera naměřena 2,3 až 2,8 mm
- natočení od původní dráhy 5° **vlevo**, použit TAST, citlivosti trasování nastaveny na 20, 20, korekce -5 v příčném směru (parametr 18) a korekce ve vertikálním směru +5 (parametr 9) pro odstranění kolize hořáku se základním materiálem
- kořenový svar ze začátku kvalitní, hořák ale po dráze klesá, ve ¾ svaru nestabilní oblouk, kolize hořáku se základním materiálem, výšková korekce problém úplně neodstranila (obr. 38)
- další návrh zvětšit korekci ve vertikálním směru nebo vypnout vertikální trasování
- při výplňovém svaru vypnuto vertikální trasování, vypnuty korekce
- ke kolizi hořáku nedošlo, toto řešení se zdá být možné
- svařování tupého svaru lze brát jako 2D úlohu, tedy bez trasování ve vertikálním směru
- svar opět přiléhá k pravé straně, v druhé polovině svaru zapnuta korekce -5 (parametr 18), vycentrování svaru se zlepšilo (obr. 39)



Obr. 38 – Kolize hořáku



Obr. 39 – Experiment 5

7.7.6 Experiment 6

- kořenová mezera naměřena 2 mm
- natočení od původní dráhy 5° **vlevo**, použit TAST, citlivost vertikální a příčná nastavena na 20, 20, korekce vertikální nastavena na +10 (parametr 9), korekce příčná nastavena na -5 (parametr 18)
- kořenový svar v pořádku, kolize hořáku odstraněna, svar se nepatrně přiklání na levou stranu
- při výplňovém svaru nastaveny totožné hodnoty, svar je proveden kvalitně, nepatrně se přiklání na pravou stranu.
- krycí svar v pořádku, přiklání se k pravé straně přibližně o 1 mm
- kolize hořáku odstraněna vertikální korekcí (obr. 40)
- pro perfektně symetrický svar potřeba upravit korekci trasování v příčném směru pro každou vrstvu zvlášť



Obr. 40 – Experiment 6

7.7.7 Experiment 7

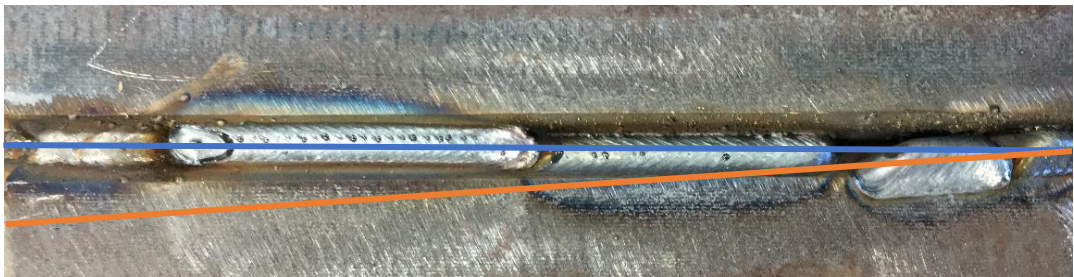
- kořenová mezera naměřena 2,2 až 2,8 mm
- natočení od původní dráhy 5° **vlevo**, použit TAST, během tohoto experimentu je vypnuto vertikální trasování, citlivost příčného trasování nastavena na 20, korekce v příčném směru nastavena na -5 (parametr 18)
- výsledek podobný jako při experimentu č. 6, kořenový svar se přiklání nepatrně vlevo, výplňový svar nepatrně vpravo a krycí svar již viditelně vpravo (obr. 41)
- potvrzena potřeba upravit korekci pro jednotlivé vrstvy svaru



Obr. 41 – Experiment 7

7.7.8 Experiment 8

- kořenová mezera naměřena 1,9 až 2 mm
- natočení od původní dráhy 5° **vpravo**, použit TAST, vypnuto vertikální trasování, citlivost příčného trasování nastavena na 20, korekce v příčném směru nastavena na -5 (parametr 18)
- TAST navádí hořák nevhodně, hned od začátku je vidět že korekce v příčném směru bude muset být nastavena na kladnou hodnotu
- příčná korekce změněna na hodnotu 5, svar je veden lépe, ale stále se přiklání více doleva
- příčná korekce nastavena na hodnotu 10, umístění svaru viditelně nejlepší (obr. 42)
- pro ideální svar nastavit korekci mezi hodnotou 5 až 10



Obr. 42 – Experiment 8 (oranžová- naprogramovaná dráha, modrá- skutečná dráha)

7.7.9 Experiment 9

- kořenová mezera naměřena 2,1 až 2,5 mm
- natočení od původní dráhy 5° **vpravo**, použit TAST, vypnuto vertikální trasování, citlivost příčného trasování nastavena na 20, korekce v příčném směru nastavena na 10 (parametr 18)
- vrstvy se přiklání nepatrně na pravou stranu, jinak je svar proveden kvalitně (obr. 43)



Obr. 43 – Experiment 9

7.7.10 Experiment 10

- kořenová mezera naměřena 2,5 až 2,8 mm
- natočení od původní dráhy 5° **vpravo**, použit TAST, vypnuto vertikální trasování
- citlivost příčného trasování nastavena na 20, korekce v příčném směru nastavena na 10 (parametr 18)
- startovací pozice hořáku při výplňovém svaru nastavena na okraj kořenového svaru (v předešlých experimentech byla startovní pozice na středu svaru), vychýlení přibližně 4 mm vlevo od osy svaru, poté 4 mm vpravo od osy svaru (obr. 44)
- TAST zkorigoval dráhu a navedl hořák zleva na střed svaru po 30 mm a zprava po 20 mm svaru (obr. 45)



Obr. 44 - zleva: Vychýlení hořáku vlevo, vychýlení hořáku vpravo, upravení dráhy systémem TAST



Obr. 45 – Experiment 10

7.7.11 Experiment 11

- kořenová mezera naměřena 2,3 až 2,6 mm
- natočení od původní dráhy 5° **vpravo**, použit TAST, vypnuto vertikální trasování, citlivost příčného trasování nastavena na 20, korekce v příčném směru nastavena na 10 (parametr 18)
- startovací pozice hořáku při krycím svaru nastavena na okraj výplňového svaru, vychýlení přibližně 8 mm vlevo, poté 8 mm vpravo od osy svaru (obr. 46)
- TAST zkorigoval dráhu a navedl hořák zleva na střed svaru po 35 mm a zprava po 45 mm svaru (obr. 47)



Obr. 46 - Vychýlení hořáku vlevo



Obr. 47 – Experiment 11

8. Závěrečné zhodnocení zjištěných poznatků

V teoretické části bakalářské práce jsou uvedeny a porovnány vybraná zařízení, která se běžně používají pro robotizaci svařovacích procesů. Následně jsou zde shrnuty a popsány druhy svařovacích metod, které umožňují robotizaci svařování.

Hlavním tématem teoretické části jsou senzory pro robotizované svařování elektrickým obloukem v ochranné atmosféře. Senzory v dané oblasti se zaměřují především na určování polohy a geometrie svarové mezery. Mezi těmito senzory vyčnívá systém TAST, který se řadí mimo dotykové i bezdotykové senzory a pro svoji funkci nevyžaduje žádná dodatečná zařízení (pouze měřicí kartu).

Druhy senzorů jsou následně porovnány v tabulce (viz kapitola 6.3), kde jsou přehledně zaznamenány jejich výhody a nevýhody.

Praktická část se zaměřuje na testování systému TAST-Through Arc Seam Tracking (sledování svařovacího procesu pomocí proměnlivého proudu elektrického oblouku). Ověřuje, zda je možné převzít poznatky o nastavení TASTu z diplomové práce Ing. Jaroslava Kuse, zaměřující se na koutové svary, a ty použít při svařování vícevrstvého, jednostranného, tupého V svaru.

Při svařování 11 vzorků bylo zjištěno, že lze využít nastavení ověřené Ing. Kusem, které je potřeba doplnit o korekci v příčném a vertikálním směru. Z experimentu dále vyplývá, že pro rovinné 2D svařování lze vypnout vertikální trasování a pracovat pouze s příčným trasováním. Experimentálně byla zjištěna nutnost nastavení korekce pro levostrannou a pravostrannou odchylku 5° v rozmezí hodnot -5 až -10 a $+5$ až $+10$. Korekci je vhodné nastavit pro každou vrstvu svaru samostatně.

Závěrem, v experimentech 10 a 11 bylo vyzkoušeno trasování při vychýlené počáteční poloze hořáku. Systém navedl úspěšně hořák na střed svarové mezery v intervalu 20 až 45 mm v závislosti na vychýlení hořáku (4 až 8 mm). Vzdálenost navedení hořáku na střed se nejspíše dá zkrátit úpravou některých z parametrů. Tento úkol může být zpracován v návaznosti v jiné závěrečné práci, nebo v praktickém cvičení studentů FS ČVUT.

Výstupem práce je také tabulka nastavení systému TAST u jednotlivých experimentů - viz Příloha č. 1. Veškeré poznatky je možné využít pro další zkoumání systému TAST a pro výuku studentů FS ČVUT v oblasti robotizovaného svařování.

Příloha č. 2 obsahuje výpis pohybového programu robota, který byl použit při svařování. Pohyb hořáku robota je zdokumentován na videosekvenci, která bude využita jako učební materiál pro studenty FS ČVUT. Stejně tak i zjištěné poznatky a svařené vzorky.

Vytyčené cíle bakalářské práce byly splněny v plném rozsahu zadání.

Použitá literatura:

- [1] SKAŘUPA, Jiří. *Roboty a manipulátory: učební text*. Ostrava: Vysoká škola báňská - Technická univerzita, 2012. ISBN 978-80-248-2613-4.
- [2] Čidla pro robotické pohyby. *Dps-az.cz* [online]. 2017 [cit. 2019-12-08]. Dostupné z: <https://www.dps-az.cz/vyvoj/id:46135/lidsky-dotyk-nebo-cidla-pro-ladnejsi-roboticke-pohyby>.
- [3] CHVÁLA, Břetislav, Robert MATIČKA a Jaroslav TALÁCKO. *Průmyslové roboty a manipulátory*. 1. Praha: SNTL, 1990. ISBN 80-030-0361-X.
- [4] *Technologie svařování a zařízení: učební texty pro kurzy svářečských inženýrů a technologů*. Ostrava: ZEROSS, 2001. Svařování. ISBN 80-857-7181-0.
- [5] Svařovací automat KMK 412: HBT Weld. In: *Hbt-weld.cz* [online]. Okružní 720, 370 01 České Budějovice [cit. 2019-12-08]. Dostupné z: <https://hbt-weld.cz/app/uploads/2017/03/KMK-412-2.png>
- [6] Druhy průmyslových robotů. *Factoryautomation.cz* [online]. 23.3.2018 [cit. 2019-12-08]. Dostupné z: <https://factoryautomation.cz/prumyslove-roboty-jake-jsou-jejich-druhy/>
- [7] HENEY, Paul. Delta robot IGUS. In: *The robotreport.com* [online]. 2018, 24.8.2018 [cit. 2019-12-08]. Dostupné z: <https://www.therobotreport.com/igus-delta-robot-cost-effective-assembly/>
- [8] Configuration of industrial SCARA robot. In: *Pubs.sciepub.com* [online]. 2015 [cit. 2019-12-08]. Dostupné z: <http://pubs.sciepub.com/automation/3/3/18/figure/1>
- [9] Průmyslové roboty kuka. *Kuka.com* [online]. 2019, 2019 [cit. 2019-12-08]. Dostupné z: <https://www.kuka.com/cs-cz/produkty,-sluzby/roboticke-systemy/prumyslove-roboty/>
- [10] KOSTOLNÍK, Petr. *Roboty Kuka ve svařovací minibuňce* [online]. In: . 2017, 2017 [cit. 2019-12-18]. Dostupné z: <https://www.roboticjournal.cz/clanky/2017-01-roboty-kuka-ve-svarovaci-minibunce>
- [11] Roboty KUKA KR CYBERTECH. *Kuka.com* [online]. 2019 [cit. 2019-12-08]. Dostupné z: <https://www.kuka.com/cs-cz/produkty,-sluzby/roboticke-systemy/prumyslove-roboty/kr-cybertech>
- [12] Roboty FANUC: Svařování v ochranné atmosféře. *Fanuc.eu* [online]. 2019 [cit. 2019-12-09]. Dostupné z: <https://www.fanuc.eu/cz/cs/roboty/str%3%a1nka-filtru-robot%5%af/sva%5%99ov%3%a1n%3%ad-elektrick%3%bdm-obloukem>
- [13] Roboty FANUC ARC Mate. *Fanuc.eu* [online]. 2019 [cit. 2019-12-09]. Dostupné z: <https://www.fanuc.eu/cz/cs/roboty/str%3%a1nka-filtru-robot%5%af/sva%5%99ov%3%a1n%3%ad-elektrick%3%bdm-obloukem/arcmate-100ic-7l>

- [14] JEFFUS, Larry. *Welding: Principles and Applications*. 1. Cengage Learning, 2004.
- [15] Svařování metodou WIG. In: *Svarecky-elektrody.cz* [online]. Příbram, 2010 [cit. 2019-12-08]. Dostupné z: <https://www.svarecky-elektrody.cz/svarovani-tig-zakladni-seznameni/t-39/t-120>
- [16] Robotic Submerged Arc Welding. In: *Robotics.org* [online]. 2014, 2014 [cit. 2019-12-16]. Dostupné z: <https://www.robotics.org/product-catalog-detail.cfm/Wolf-Robotics-A-Lincoln-Electric-Company/Robotic-Submerged-Arc-Welding/productid/2838>
- [17] Fibre laser welding. In: *Kikukawa.com* [online]. [cit. 2019-12-08]. Dostupné z: <https://www.kikukawa.com/en/technology/fiber-laser-welding/>
- [18] KOLAŘÍK, Ladislav. Elektronové svařování. *Mmspektrum.com* [online]. 2016, 10.02.2016 [cit. 2019-12-08]. Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/clanek/elektronove-svarovani-perspektivni-metoda-pro-specialni-materialy.html>
- [19] Robot Ultrasonic Welding Machine. In: *Keberweldingmachine.en.made-in-china.com* [online]. Jiangsu, China [cit. 2020-02-04]. Dostupné z: <https://keberweldingmachine.en.made-in-china.com/product/koBQzGaYOwhm/China-Car-Parts-Robot-Ultrasonic-Welding-Machine.html>
- [20] *Svařovací metody: Svařování ultrazvukem* [online]. [cit. 2020-02-04]. Dostupné z: <https://www.schinkmann.cz/svarovaci-metody>
- [21] Fakta a mýty o dotykovém vyhledávání při robotickém svařování. *MM spektrum* [online]. 2009, 07.10.2009 [cit. 2020-02-22]. Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/clanek/fakta-a-myty-o-dotykovem-vyhledavani-pri-robotickem-svarovani.html>
- [22] HUBER, Scott. How Seam Tracking Solutions Compare. *Blog.binzel-abicor.com* [online]. 2019, 29.2.2019 [cit. 2020-02-22]. Dostupné z: <https://blog.binzel-abicor.com/how-seam-tracking-solutions-compare>
- [23] Intelligent Robotic Arc Sensing. Lincoln Electric [online]. Copyright © 1999 [cit. 24.06.2019]. Dostupné z: <https://www.lincolnelectric.com/en-gb/support/process-and-theory/Pages/intelligent-robotic-detail.aspx>
- [24] Tactile Seam Tracking Systems. Lincoln Electric [online]. Copyright © 1999 [cit. 24.06.2019]. Dostupné z: <https://www.lincolnelectric.com/en-gb/support/process-andtheory/Pages/tactile-seam-tracking-systems.aspx>
- [25] UK market gets new laser-guided smart welding camera for robots. *Mvpromedia* [online]. 2018 [cit. 2020-02-22]. Dostupné z: <https://mvpromedia.com/article/uk-market-gets/>
- [26] Precision Robot Vision Systems. In: *Genesis-systems* [online]. 2020 [cit. 2020-02-25]. Dostupné z: <https://www.genesis-systems.com/applications-processes/robot-vision-systems>
- [27] Har Bach: seam tracking solutions. *Har Bach* [online]. [cit. 2020-06-22]. Dostupné z: <http://www.har-bach.com/pathfinder/>

- [28] Improve Robotic Welding Applications with Seam Finding and Tracking. Workfloor: Robotics News for the Factory [online]. [cit. 2020-06-22]. Dostupné z: <https://blog.robotiq.com/bid/66800/ImproveRobotic-Welding-Applications-with-Seam-Finding-and-Tracking>
- [29] Robotwelding: Sensing equipment for welding robots. *Robotwelding* [online]. [cit. 2020-06-22]. Dostupné z: http://www.robotwelding.co.uk/sensing_equipment.php
- [30] KUS, Jaroslav. *Senzory v robotizovaném svařování*. Praha, 2019. Diplomová práce. České vysoké učení technické v Praze. Vedoucí práce Ing. Karel Kovanda, Ph.D., IWE.
- [31] ČSN EN ISO 5817. Svařování – Svarové spoje oceli, niklu, titanu a jejich slitin zhotovené tavným svařováním (kromě elektronového a laserového svařování) – Určování stupňů kvality. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2014.