



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

VIRTUÁLNÍ ZPROVOZNĚNÍ ROBOTIZOVANÉHO VÝROBNÍHO SYSTÉMU PRO OBLOUKOVÉ SVAŘOVÁNÍ

VIRTUAL COMMISSIONING OF A ROBOTIC PRODUCTION SYSTEM FOR ARC WELDING

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Martin Broniš

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Jan Vetiška, Ph.D.

BRNO 2024

Zadání bakalářské práce

Ústav: Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky
Student: **Martin Broniš**
Studijní program: Základy strojního inženýrství
Studijní obor: Základy strojního inženýrství
Vedoucí práce: **Ing. Jan Vetiška, Ph.D.**
Akademický rok: 2023/24

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:

Virtuální zprovoznění robotizovaného výrobního systému pro obloukové svařování

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Stále aktuálním cílem průmyslu je zvyšování produktivity práce. Možností jak tohoto cíle dosáhnout je robotizace rutinních činností. Cílem práce je zjistit aktuální stav v oblasti virtuálního zprovoznění robotizovaných výrobních systémů pro obloukové svařování a zpracovat konkrétní příklad.

Cíle bakalářské práce:

Rešerše dané problematiky.
Tvorba modelové úlohy.
Konstrukce svařovacího přípravku.
Virtuální zprovoznění.

Seznam doporučené literatury:

SICILIANO, Bruno a Oussama. KHATIB. Springer handbook of robotics. Berlin: Springer, 2008. ISBN 978-3-540-23957-4.

KOLÍBAL, Z. a kol.: Roboty a robotizované výrobní technologie. VUTIUM Brno, 2016, ISBN 978-80-214-4828-5.

NOF, S. Y. Springer Handbook of Automation. Springer, 2009. 1812 s. ISBN 978-3-540-78830-0.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2023/24

V Brně, dne

L. S.

doc. Ing. Petr Blecha, Ph.D.
ředitel ústavu

doc. Ing. Jiří Hlinka, Ph.D.
děkan fakulty

ABSTRAKT

Táto bakalárska práca sa zaoberá virtuálnym sprevádzkovaním robotizovanej zvaracej stanice. V prvej časti je popísaný súčasný stav poznania v oblasti programovania priemyselných robotov, virtuálneho sprevádzkovania a zvarania. V druhej časti je vytvorený 3D model upínacieho prípravku, následne je vytvorený model zvaracej stanice a na konci sú vytvorené zvaracie dráhy a stanica je virtuálne sprevádzkovaná.

ABSTRACT

This bachelor's thesis deals with the virtual commissioning of a robotic welding station. The first part describes the current knowledge in the field of industrial robot programming, virtual commissioning and welding. In the second part, a 3D model of the clamping fixture is created, then a model of the welding station is created, and at the end, the welding paths are created and the station is virtually commissioned.

KLÚČOVÉ SLOVÁ

Virtuálne sprevádzkovanie, zvaranie MIG/MAG, robotické zvaranie, zvaracia bunka, upínací prípravok, ABB RobotStudio

KEYWORDS

Virtual commissioning, MIG/MAG welding, robotic welding, welding cell, fixture, ABB RobotStudio

BIBLIOGRAFICKÁ CITACIA

BRONIŠ, Martin. *Virtuální zprovoznění robotizovaného výrobního systému pro obloukové svařování*. Brno, 2024. Dostupné také z: <https://www.vut.cz/studenti/zav-prace/detail/160682>.
Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky. Vedoucí práce Jan Vetiška.

POĎAKOVANIE

Chcel by som sa poďakovať vedúcemu mojej práce Ing. Janu Vetiškovi, Ph.D., za pomoc, odborné rady a trpezlivosť pri vedení tejto práce.

ČESTNÉ PREHLÁSENIE

Prehlasujem, že táto práca je mojím pôvodným dielom, ktoré som spracoval samostatne pod vedením Ing. Jana Vetišku, Ph.D. a s použitím literatúry uvedenej v zozname.

V Brně dňa 24.05.2024

.....

Martin Broniš

OBSAH

1	ÚVOD	15
2	MOTIVÁCIA.....	17
3	PREHLAD SÚČASNÉHO STAVU POZNANIA.....	19
	3. 1. Metódy programovania priemyselných robotov.....	19
	3. 1. 1. Online programovanie.....	19
	3.1.2 Off-line programovanie.....	19
	3.2 Virtuálne sprevádzkovanie.....	21
	3.3 Technológia zvarania.....	22
	3.3.1 Zváranie pôsobením tepla.....	22
	3.3.2 Zváranie pôsobením tlaku.....	25
	3.3.3 Robotické zváranie.....	25
4	PRAKTICKÁ ČASŤ	29
	4.1 Návrh prípravku na pripnutie zvaranej súčiastky.....	29
	4.2 Konfigurácia robotickej zvaracej stanice.....	31
	4.2.1 Robot IRB 1660 ID.....	32
	4.2.2 Nástroj.....	33
	4.3 Virtuálne sprevádzkovanie a návrh zvaracích dráh.....	34
5	ZÁVER.....	39
6	ZOZNAM POUŽITÝCH ZDROJOV	41
7	SEZNAM POUŽITÝCH SKRATIEK, SYMBOLOV A OBRÁZKOV	45
8	ZOZNAM PRÍLOH	ERROR! BOOKMARK NOT DEFINED.

1 ÚVOD

V dnešnej dobe sú v priemysle kladené vysoké nároky na efektívnosť a znižovanie nákladov na výrobu a zároveň za zvyšovanie rýchlosti a presnosti výroby. Na toto sa začala využívať robotizácia a digitalizácia výrobných procesov. Využitie je hlavne vo veľkosériovej výrobe, kde roboty majú oveľa väčšiu efektívnosť, rýchlosť a kvalitu práce oproti ľuďom. Problémom býva dlhé zostrojenie pracoviska a následne naprogramovanie. Tento problém dôkaze vyriešiť virtuálne sprevádzkovanie, ktoré slúži na naprogramovanie a sprevádzkovanie vo virtuálnom prostredí počas zostrojovania daného pracoviska.

Tato práca sa zaoberá práve virtuálnym sprevádzkovaním robotizovaného zvaracieho pracoviska. V prvej časti je popísaný terajší stav poznania programovania priemyselných robotov, virtuálneho sprevádzkovania. Ďalej sa venuje technológii zvarania, jej rozdeleniu a možného využitiu v automatizovaných pracoviskách. Praktická časť sa skladá z vytvorenia modelu upínacieho prípravku: následne bol vytvorená zvaracia stanica. Potom boli vytvorené zvaracie dráhy a na úplnom konci bola tato stanica virtuálne sprevádzkovaná.

2 MOTIVÁCIA

Motiváciou na výber a vypracovanie tejto témy je môj záujem o robotiku a možnosť zväčšiť si vedomosti v tejto problematike. Ďalším dôvodom bola možnosť naučiť sa pracovať so systémom ABB RobotStudio a vyskúšanie si virtuálneho sprevádzkovania nejakej konkrétnej stanice v tomto programe. A tretím dôvodom je aj veľké zastúpenie strojárskoho priemyslu na Slovensku alebo v Českej republike, kde je veľké uplatnenie robotizácie a automatizácie výrobných procesov.

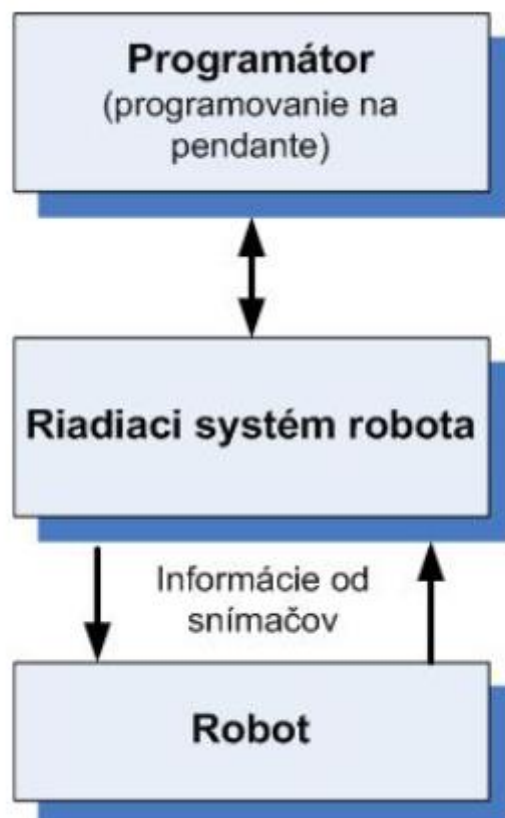
3 PREHĽAD SÚČASNÉHO STAVU POZNANIA

3. 1. Metódy programovania priemyselných robotov

Priemyselne roboty sú dôležitou súčasťou výrobných systémov. Tieto roboty sa využívajú na rôzne úlohy ako napr. lepenie, zváranie alebo premiestňovanie daných súčiastok. Naprogramovanie daných robotov sa uskutočňuje dvomi spôsobmi. Prvý spôsob je online programovanie a druhý je off-line programovanie.

3. 1. 1. Online programovanie

Jedna sa o najpoužívanejšiu metódu. Tento typ programovania spočíva v priamom kontakte programátora s robotom, kedy sa robot navádza na požadované body a trasa je následne vypočítaná v riadiacom systéme robota. Výhodami tejto metódy sú intuitívnosť, práca v reálnom priestore a možnosť vykonávať test funkčnosti zároveň s programovaním. Nevýhodami sú časová náročnosť, fyzická prítomnosť pri robotovi na čo nadväzuje aj na pozastavenie celého výrobného procesu, ktorý nedokáže bez robota pracovať. Online programovanie sa uskutočňuje pomocou teach-pendantu alebo Hand-guidingu. [1] [2]



Obr. 3.1 Postup online programovania robotov [2]

Prvou možnosťou online programovania je programovanie pomocou teach-pendantu. Teach-pendant, je ovládací panel, ktorý je spojený s robotom či už drôtovo alebo aj bezdrôtovo. Rozdeľuje sa na 2 hlavné kategórie podľa designu a tie sú design „Na výšku“ (Obr. 3.2) a „Na šírku“ (Obr. 3.3). [1]

Princíp tejto metódy spočíva v tom, že programátor navedie robota do požadovaných bodov pomocou teach-pendantu a následná trajektória je vypočítaná riadiacou jednotkou robota.



Obr. 3.2 Teach-pendant [3]



Obr. 3.3 Teach-pendant [4]

Druhou možnosťou online programovania je programovanie pomocou Hand-guidingu. Táto metóda funguje na princípe fyzického navádzania ramena robota do požadovaných pozícií, v ktorých si robot sám zaznamená dôležité body alebo celú trasu. Nevýhodou tejto metódy je jej nepresnosť a vyžadovanie ďalších simulácií. [5]

3.1.2 Off-line programovanie

Tato metóda slúži na programovanie daných robotov bez ich fyzickej prítomnosti, teda vo virtuálnom 3D prostredí, v ktorom sa využíva počítačová simulácia. Na toto sú potrebné 3D modely robota, efektora a všetkých častí pracoviska. Potrebne je aby rozmiestnenie modelov sa čo najviac podobalo reálnemu pracovisku. Následne programovanie je totožné ako pri online metóde. [6]

Princípom off-line programovania je práca so softwarovým systémom, ktorý dôkaze vytvoriť 3D návrh robotického pracoviska vo virtuálnom prostredí založenom na kinematickom a dynamickom modeli robota. Ďalej táto metóda dôkaze zapisovať body, definovať dráhy a iné činnosti robota. Pomocou tejto simulácie sa upravuje, optimalizujú a zefektívňujú chod danej bunky. Zároveň je možné sledovať celkový pracovný cash robota, testovať dosah robota, vykresľovať dráhy, detekovať zrážky apod. Najdôležitejšiu vlastnosťou je prepísanie programu do kódu, ktorý sa nahrá do daného robota v realite a naďalej sa dá ešte upravovať. [1]

Vďaka off-line programovaniu sa dôkazu minimalizovať straty vo výrobe, keďže netreba prerušiť prevádzku robota, dôkazu sa testovať viaceré varianty programu, čo je pri online programovaní nevýhodne kvôli dlhému programovaniu, ďalej sa znižuje čas potrebný na výrobu a zostavenie robotической bunky či zmenu vo výrobe.

Nevýhodami sú presnosť 3D modelov, kedy sa daný program musí ešte v realite pozmeniť a doladiť a niekedy tento celý proces môže byť dlhší ako pri online programovaní, potreba ďalšieho testovania programu, keďže simulácia nemusí nájsť všetky problémy a kolízie. [1] [6]

Softwarové systémy pozívané na off-line programovanie a simulácie sa rozdeľujú na niekoľko kategórii:

- **Programy s obojstrannou prenositeľnosťou kódu**
 - V týchto systémoch sa off-line program dôkazu nahráť do riadiaceho systému robota a zároveň sa môže upravený program nahráť naspäť do simulačného softwaru. Tato skupín sa ešte rozdeľuje na 2 podkategórie:
 - Systémy vyvíjane výrobcami priemyselných robotov- Programovanie tu prebieha podobne ako v online režime, teda pomocou virtuálneho kontroléru. Príkladmi sú ABB RobotStudio od firmy ABB alebo KUKA Sim.Pro od firmy KUKA a iné.
 - Univerzálne systémy vytvárané softwarovými spoločnosťami- Výhodami týchto programov je ich univerzálne použitie a použitie virtuálneho kontroléru. Nevýhodami naopak sú nemožnosť použitia pri obrábacích operáciách napr. frézovanie, brúsenie apod. Príkladom takéhoto softwaru je Delmia Robotics
- **Jednostranne systémy pre aplikáciu CAD/CAM**
 - Pri použití týchto systémov nie je možné simulovať už vytvorený kód v robote, takže pri zmenách sa vytvorí nový kód, ktorý sa nahrá opäť do robota. [1]

3.2 Virtuálne sprevádzkovanie

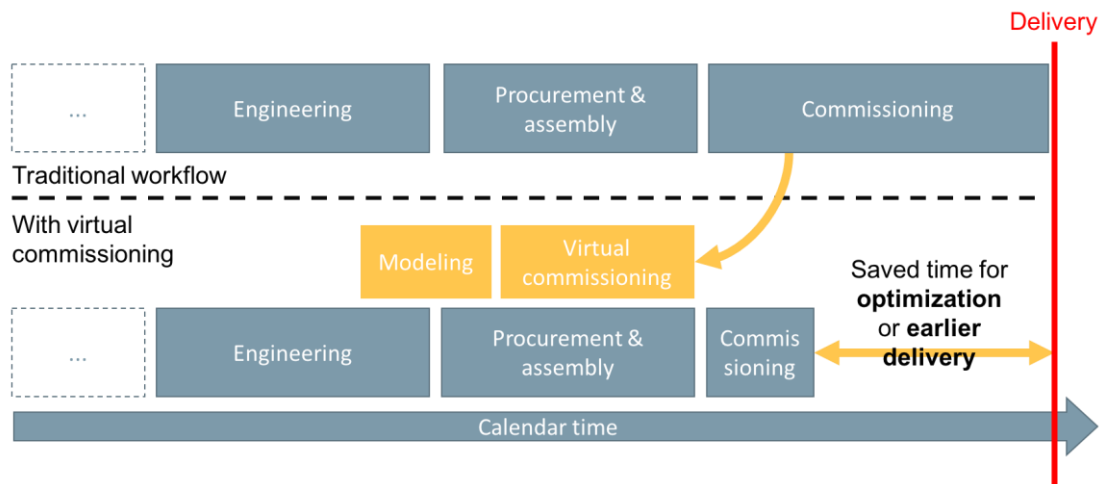
Kvôli dnešným potrebám vo výrobnom priemysle akými sú znižovanie ceny, zvyšovanie kvality, zníženie času potrebného na zahájenie výroby alebo zmeny už fungujúceho procesu výroby sa začal využívať systém nazývaný virtuálne sprevádzkovanie.

Virtuálne sprevádzkovanie je proces, pri ktorom sa pomocou simulácie nastavuje, testuje, overuje návrh a fungovanie systému pred fyzickou inštaláciou pracoviska alebo robota. Pomocou simulačného softwaru sa vytvorí tzv. digitálne dvojča potrebného zariadenia. Tento model je identický s reálnym strojom, vrátane kinematiky, PLC programu a komunikácie s riadiacim systémom. Vďaka tomuto modelu je možná presná simulácia chovania tohto zariadenia, kedy sa môžu kontrolovať kolízie, zisťovať čas každých operácií a testovanie ďalších možných scenárov, čo umožňuje programátorom, konštruktérom apod. vytvoriť najoptimálnejšie riešenie daného projektu. [7] [8] [9]

Výhody virtuálneho sprevádzkovania : [7] [9]

- Skrátenie doby oživovania a vylad'ovania systému a zníženia rizika chyb

- Nižšie náklady, ľahšie vykonávanie zmien v systéme
- Možnosť technikov pracovať paralelne, zefektívnenie a skvalitnenie práce
- Testovanie bezpečnostných prvkov



Obr. 3.4 Projektovanie s pomocou virtuálneho sprevádzkovania a bez neho [10]

3.3 Technológia zvarania

Zváranie je proces, pri ktorom pôsobením tepla a poprípadne tlaku vzniká nerozoberateľný spoj dvoch alebo viacerých súčasti ale aj celých konštrukcií. Zvárané konštrukcie sú najčastejšie zhotovené z jednoduchších hutníckych dielov (tyče, plechy, trubky apod.) ale niekedy sa zvarujú aj odliatky a výkovky. Výsledne produkty sa nazývajú zvarené resp. zväzky. Výhodami sú hlavne pevnosť, trvanlivosť a hlavne časová a materiálová úspornosť. Ďalšie výhody zvarovania:

- Zníženie hmotnosti konštrukcií a ich zjednodušenie
- Možnosť náhrady výkovkov a odliatok
- Zvýšenie produktivity pomocou automatizácie

Nevýhodami tejto technológie sú:

- Nerozoberateľnosť spoja
- Zmena štruktúry a mechanických vlastností zvaraného spoja
- Zvaraný spoj sa tvorí v úzkom pase zvaraných súčasti, vzniká tam lokálny ohrev [11] [12]

Zváranie sa delí na 2 hlavné skupiny, ktoré sú tavné zváranie (pomocou privedeného tepla) a tlakové zváranie (pomocou pôsobením vonkajšieho tlaku).

3.3.1 Zváranie pôsobením tepla

Inak nazývané aj tavné zváranie. Pri tomto type zvarovania sa dodávaním tepla natavia zvárané plochy základných materiálov, ktoré sa následne premiesia s roztaveným prídavným

materiálom a vytvoria zvar. Tavne zváranie sa rozdeľuje na 2 hlavné kategórie podľa dodania tepla a to je zváranie plameňom a elektrickým oblúkom.

Plameňové zváranie

Zdrojom tepla pri tejto metóde je plameň, ktorý vzniká horením horľavého plynu s kyslíkom. Ako horľavý plyn sa najčastejšie používa acetylén kvôli vysokej teplote, kedy je možno dosiahnuť teplotu plameňa až 3150 °C. V niektorých prípadoch sa využíva vodík, propán-bután a i. Druhy kyslikovo-acetylénového plameňa môžeme rozdeľovať podľa niekoľkých parametrov:

Podľa pomeru kyslíku a acetylénu:

- Neutrálny plameň (pomer O_2 a C_2H_2 je rovnaký)- používa sa na zváranie medi, ocele, zinku, olova a niektorých bronzov
- Redukčný plameň (viac C_2H_2)- používa sa na zváranie kobaltových zliatin alebo zliatin hliníka a horčíka)
- Oxidačný plameň (viac O_2)- používa sa na zváranie mosadze a niektorých bronzov

Podľa intenzity, teda výstupnej rýchlosti plameňa:

- Normálny plameň: ma optimálnu výstupnú rýchlosť a využíva sa na bežné zváranie
- Ostrý plameň: ma vysokú výstupnú rýchlosť, niekedy sa odtrhne od horáka, poprípade zhasne. Býva príčinou väd vo zvaroch.
- Mäkký plameň: ma nízku výstupnú rýchlosť, niekedy nastane spätne šľahnutie. Využíva sa na zváranie vysoko legovaných ocelí alebo kovov s nízkou teplotou tavenia napr. olovo, zinok

Oblúkové zváranie

Jedna sa o najpoužívanejšiu metódu zvárania v dnešnej dobe. Zdrojom tepla je elektrický oblúk medzi elektródou a základným materiálom. Najhlavnejšie spôsoby oblúkového zvárania sú: zváranie obalenou elektródou, zváranie taviacou sa elektródou (MIG/MAG), zváranie netaviacou sa elektródou (WIG/TIG) a zváranie pod tavidlom.

Oblúkové zváranie obalenou elektródou

Zváranie obalenou elektródou je najrozšírenejším spôsobom zvárania. Pri tejto metóde sa teplom, vytvoreným elektrickým oblúkom, taví základný materiál a kovové jadro elektródy spolu s jej obalom. Tavením obalu elektródy vzniká troska, ktorá ochraňuje roztavený materiál pred vzduchom a taktiež spomaľuje chladnutie čiže znižuje vznik teplotných pnutí a deformácii materiálu. Obaly sa podľa normy rozdeľujú na kyslé(A), bázické(B), rutilové(R) poprípade ich kombinácie (RA, RB, RR). [11]

Najväčšími výhodami tejto metódy sú:

- Vysoká kvalita zvaru a vysoké hodnoty mechanickej kvality
- Univerzálne použitie a možnosť zvárania takmer všetkých kovov

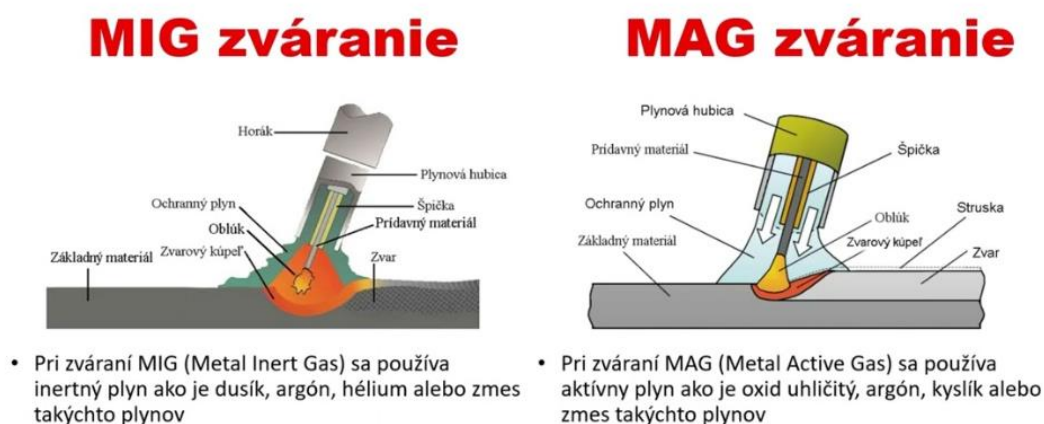
- Nízke náklady [13]

Zváranie taviacou sa elektródou (MIG/MAG)

Pri týchto typoch zvárania, el. oblúk horí medzi základným materiálom a taviacou sa elektródou ktorú tvorí holý drôt s priemerom 0,8 až 2,4 mm. Jediný rozdiel medzi metódami MIG a MAG je druh používaného plynu. Výhodou oboch metód je možnosť úplnej automatizácie, čím sa zvyšuje efektívnosť práce a kvalita zvarov a dôkazu sa zhotovovať aj zložité zvary v sériovej výrobe ako napr. rámy, karosérie a pod. [11] [12]

Pri metóde MIG (Metal inert gas) sa využíva inertný plyn a to argón alebo hélium alebo ich zmes. Tato metóda sa používa pri zváraní hliníka, medi, titanu a iných neželezných kovov. Výhodou je vyššia produktivita ale menšia kvalita zvaru ako pri metóde WIG. [11] [12]

Zváranie metódou MAG (Metal aktiv gas) prebieha v aktívnej atmosfére oxidu uhličitého alebo zmesi oxidu uhličitého, kyslíku a argónu. Tieto plyny sa nazývajú aktívne z dôvodu, že reagujú s povrchom taveniny a zabraňujú oxidácii. Využitie je pri zváraní oceli s vyššou pevnosťou, zliatinových oceli a pod. Najväčšou výhodou sú nízke náklady, kvôli malej cene CO₂. [11] [12]



Obr. 3.5 Metódy MIG a MAG zvárania [14]

Zváranie netaviacou sa elektródou WIG

Pri metóde WIG (Wolfram inert gas), niekedy nazývaná aj TIG (Tungsten inert gas) vzniká elektrický oblúk medzi netaviacou sa volfrámovou elektródou a základným materiálom. V závislosti od hrúbky materiálu sa využíva aj prídavný materiál s rovnakým zložením ako je základný materiál a pridáva sa ručne alebo pomocou podávača drôtu. Ako ochranný plyn sa najčastejšie využívajú argón, hélium alebo ich zmes. Prvotne sa využívala na zváranie hliníka a iných vysoko reaktívnych kovov ale dnes sa využíva aj na zváranie väčšiny kovov. [11] [12]

Zváranie pod tavidlom

Princípom tejto metódy je horenie el. oblúku medzi holou elektródou a základným materiálom v mieste zvaru pokrytom vrstvou granulovanej anorganického tavidla, ktoré je nasypané pred zvarovú kúpeľ. Tato vrstva tavidla chráni zvarovú kúpeľ pred okolným vzduchom a zároveň aktívne reaguje s natavenou časťou tavidla, čím zlepšuje kvalitu zvaru. V dnešnej dobe je tato

metóde plne automatizovaná pomocou tzv. zvaracieho traktora, čím sa niekoľkonásobne zvyšuje produktivita práce a zdokonaľuje prevedenie zvarov. Hlavné využitie je pri väčších a dlhších zvaroch ako sú napr. mosty, rotory turbín, kotle, tlakové nádoby, lodné trupy atď.

3.3.2 Zváranie pôsobením tlaku

Základom tlakového zvárania je natavenie stykových plôch a následne pôsobenie potrebného tlaku, pomocou ktorého sa materiál dostane na veľmi malú vzdialenosť, kde pôsobia medzi atómové sily a tým pádom vzniká väzba medzi atómami.

Zváranie eklektickým odporom

Natavenie spojov vzniká prechodom veľkého elektrického prúdu až 10^5 [A] a zároveň nízkym napätím 5-20[V] a v tomto spoji je najväčší prechodový odpor, ktorý zahreje materiál na teplotu zvárania a následným tlakom sa spoji. Množstvo tepla Q [J] sa vypočíta pomocou Joulovym-Lenzovym zákonom:

$$Q=I^2 R t$$

kde: I ... intenzita elektrického prúdu [A],

R ... celkový elektrický odpor v mieste zvaru [Ω]

t ... čas zvárania [s]

Potrebné teplo sa môže získať dvomi spôsobmi a to buď tvrdým režimom, kedy pôsobí vysoký prúd v krátkom čase, alebo mäkkým režimom, v ktorom pôsobí nízky prúd dlhšiu dobu. Zváranie el. odporom sa rozdeľuje podľa druhu spoja na bodové, švové, výstupkové alebo stykové. [11] [12]

Indukčné zváranie

Pri tejto metóde sa využíva ohrievacia cievka, ktorá pomocou indukovaného striedavého prúdu ohreje materiál na teplotu zvárania, vznikne lokálny ohrev, a potom pôsobením tlaku pomocou tlakového zariadenia sa dokončí zvarenie. Najčastejšie využitie je pri výrobe trubiek [11]

Zváranie trením

Podstatou tohto typu zvárania je premena mechanickej energie trením na teplo. Najskôr sa obe súčiastky pripnú do zvaracieho zariadenia, následne sa jeden diel začne otáčať a súčasne je tlakom pritláčaný o druhý diel, kde dôsledkom trenia vzniká natavenie zváraných plôch. Po nahriati sa zvýši tlak a tým pádom dôjde ku zvareniu a následne sú materiály ešte pridrżane aby mohli pomaly vychladnúť. Výhodami sú pevne spoje, možnosť spájať rozdielne materiály (hliník - keramika, hliník - oceľ) a vysoký stupeň automatizácie. [11] [12]

3.3.3 Robotické zváranie

V dnešnej dobe sa zvyšuje popularita a využitie robotického zvárania. Ako názov napovedá, pri tejto metóde využívajú priemyselne roboty, na ktorých je pripojený nástroj(zvaracia hlavica), na zváranie materiálov dokopy. Využívajú sa hlavne kvôli väčšej presnosti opakovania zvarov. Ďalšou výhodou tejto metódy je zvýšenie efektivity, kedy roboty

dôkazu využiť až 85% prevádzkového času na zváranie, oproti 20% pri manuálnom zváraní. Pri robotickom zváraní sa zvyšuje aj bezpečnosť, kedy je zabránený vstup ľuďom do blízkosti robota počas zvárania, zároveň ich ochraňuje pred žiarením zváracím oblúkom, výparmi plynov vzniknutých pri zváraní a poskytuje dostatočne odhlučnenie pracoviska. [15]

Nevýhodami sú vysoké vstupné náklady na vytvorenie pracoviska pre robotické zváranie, menšia flexibilita, kedy robot nedokáže zareagovať na nepredvídane situácie tak ako človek a táto metóda je nevhodná na malé projekty, pretože čas programovania môže byť dlhší ako daný proces zvárania. [15]



Obr.3.6 Robotizovaný zvárací systém [16]

Na obrázku 3.6 môžeme vidieť robotizovaný zvárací systém ktorý sa skladá z:

- Robotické rameno
- Zvárací agregát zložený z:
 - Zváračka
 - Pracovný nástroj(zvárací horák)
 - Podávač drôtu umiestnený na vrchu robota
 - Zásobník drôtu umiestnený na boku robota
- Riadiaca jednotka

V budúcnosti sa predpokladá využitie inovácií, ktoré uľahčia prácu so zváracími robotmi a ich použitie s inými strojmi. Takéto inovácie sú napr. využitie kolaboratívnych robotov(co-boty) alebo výskum v oblasti ovládania robotov pomocou mysle.

Kolaboratívne roboty sú dvojramenne roboty, ktoré sú vybavené zobrazovacím systémom v podobe humanoidnej hlavy slúžiacou na komunikáciu s človekom. Vo výbave môžu mať aj systém na rozpoznávanie obrazu, navigačný systém a pod. Vďaka týmto technológiám, dokážu tieto roboty detekovať aj konkrétneho operátora a podľa toho zmeniť výrobné postupy podľa vopred definovaných požiadaviek operátora. Kvôli týmto technickým možnostiam majú kolaboratívne roboty veľký potenciál na použitie v priemysle, aj keď zatiaľ nie sú tieto roboty veľmi rozšírené v priemyselných aplikáciách vo svete. [17]

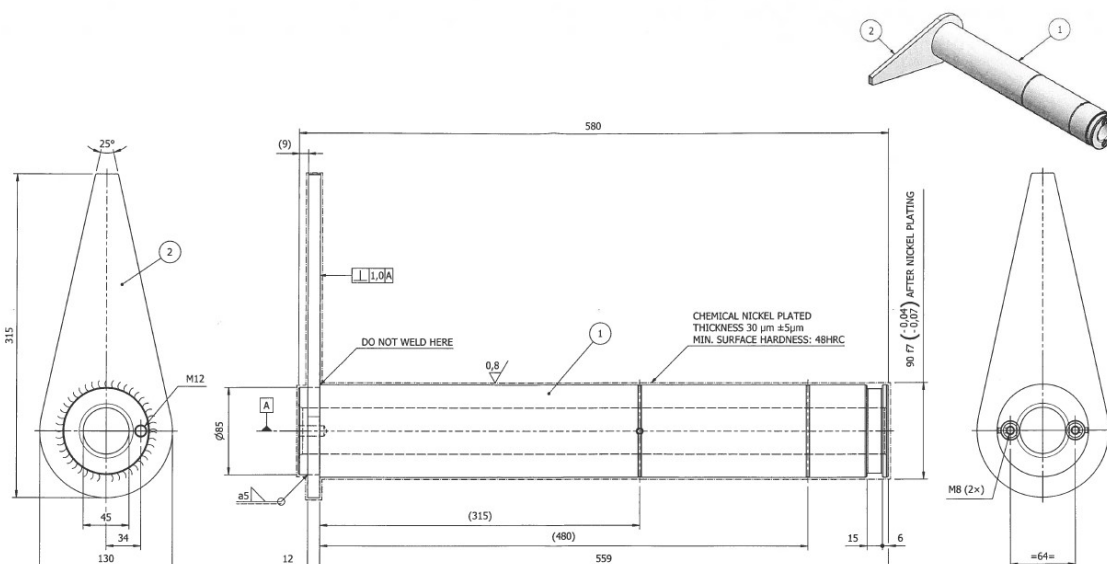


Obr.3.7 Kolaboratívny robot pri práci [18]

Ďalšou a viac zaujímavou inováciou je ovládanie robota pomocou mysle. Výskumníci na University of Illinois Urbana-Champaign vytvorili čiapku, ktorá dôkaze premeniť mozgové vlny na konkrétne operácie pre robota. Vďaka tejto metóde by sa mohol výrazne znížiť čas, potrebný na zaškolenie operátorov. Zároveň by to znížilo čas potrebný na programovanie daných robotov, kedy by stačilo aby pomocou tejto čiapky prikázal robotovi ako zvráť, na rozdiel od vytváranie zvracieho programu. Tato metóda je zatiaľ len v začiatkoch a teda sa nepredpokladá, že by sa v blízkych rokoch začala využívať. [15] [19]

4 PRAKTICKÁ ČASŤ

Cieľom praktickej časti je virtuálne sprevádzkovanie robotizovaného výrobného systému pre oblúkové zvarovanie. Praktická časť tejto práca sa skladá z troch menších úloh. Na začiatku bol vytvorený prípravok na upnutie 4ks zváraných súčiastok (Obr. 4.1), potom bola vytvorená zváracia stanica a na konci boli vytvorené zváracie dráhy a virtuálne sprevádzkovanie danej stanice.



Obr. 4.1 Výkres zváranej súčiastky

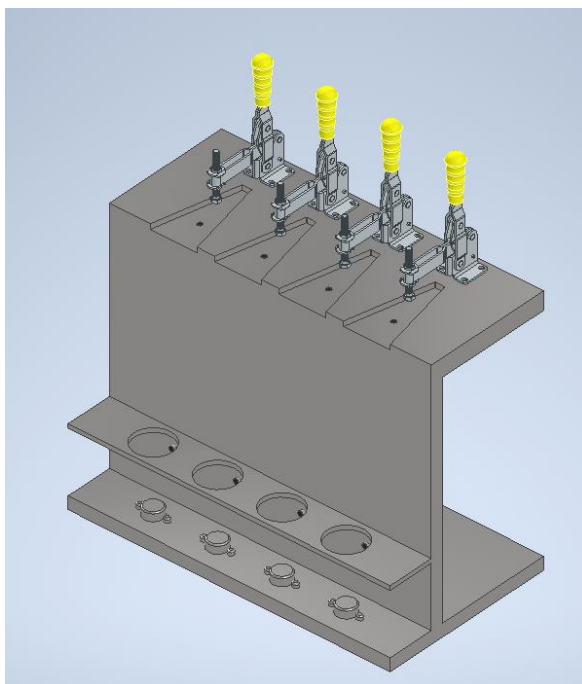
4.1 Návrh prípravku na pripnutie zváranej súčiastky

Prípravok slúži na presne uloženie a upnutie 4 kusov zváraných súčiastok. Dane súčiastky sa skladajú z 2 dielov. Prvý diel je hriadeľ s dĺžkou 580 mm a priemerom 85mm a druhý vrchný diel v tvare slzy je dlhý 315 mm a široký 130 mm v najširšom mieste. Model tejto súčiastky som vytvoril v programe Autodesk Inventor professional 2024 a tento program aj vypočítal hmotnosť súčiastky, ktorá je 23,3kg. Rozmery prípravku sú 750x410x600mm.

Hlavnými požiadavkami na prípravok boli jednoduchosť manipulácie, presne uloženie zverenca bez možnosti jeho ďalšieho pohybu a dostatok miesta okolo zvárannej hrany, zároveň možnosť použitia pri robotizovanom zváraní. Okolo zváraného miesta musí byť dostatok miesta pre zváranie pomocou nástroja a zároveň miesto pre jeho príjazd a odjazd.

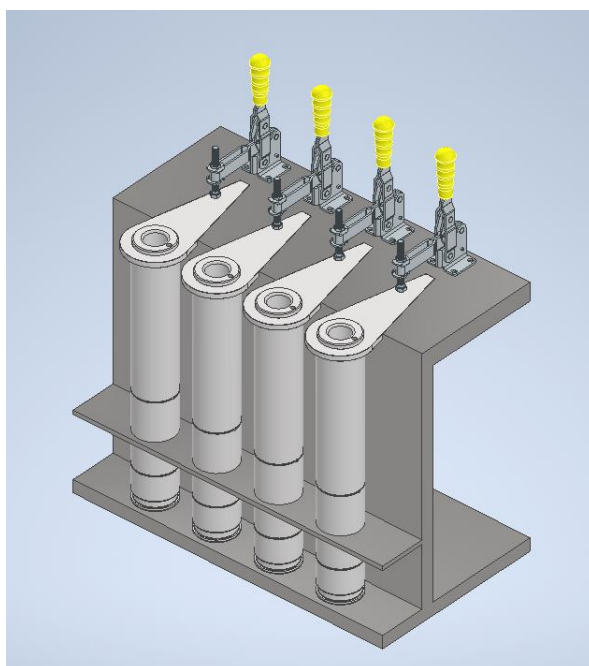
Prípravok bol navrhnutý primárne na manuálnu manipuláciu ale po prípadných zmenách by sa mohol využiť aj na čisto automatizované pracovisko. V takom prípade by sa vymenili manuálnu upínače za pneumatické upínače.

Prípravok (Obr. 4.2) bol navrhnutý na založenie zváraných dielov a ich následne upnutie pomocou ručných úpiniek. Ďalej sa v ňom nachádzajú indukčné senzory, ktoré snímajú správne uloženie daných dielov. Z týchto senzorov budú odvedené káble, ukryté v chráničkách, do riadiacej jednotky zváracie stanice.



Obr. 4.2 Model prípravku

Postup ukladania dielov sa skladá z 2 krokov, ktoré musia byť v tomto poradí, pre správne založenie zverenca. V prvom kroku sa do otvorov v prípravku nasunie hriadeľ, ktorý sa nasadí na 3 čapy, na spodku prípravku. Zároveň sa vizuálne skontroluje správne natočenie dielu, pretože na spodku hriadeľa sa nachádzajú 2 malé otvory, ktoré sú symetrické voči stredu, takže môže dôjsť k otočeniu dielu o 180°. Ak je tento diel správne uložený, tak v druhom kroku sa naň nasunie vrchný diel a zároveň sa založí do prípravku a následne sa upne pomocou manuálnych úpiniek (Obr. 4.3).



Obr. 4.3 Zvarence uložené v prípravku

Upínače

Na zamedzenie pohybu zvarenca vo vodorovnom smere a jeho otočenie slúžia vytvarovane prvky na prípravku (napr. čapy na spodku, otvory v strede prípravku).

Na zamedzenie pohybu zvarenca v zvislom smere som použil zváracie manuálne upínače. Tieto jednoduché mechanizmy slúžia na presne umiestnenie obrobku. V tejto práci som využil zvisle manuálne upínače 250 UZ od firmy JC Metal (Obr. 4.4).

Tela týchto upínačov sú vytvorené zo zušľachteného materiálu a ešte povrchovo upravené zinkovaním alebo černením. Ich súčasťou je aj ergonomicky tvarovaná oleju vzdorná plastová rukoväť. Škrobové čapy a tepelne opracovane nity sú pri montáži mazane k zaisteniu dlhodobej životnosti. Ďalšími súčasťami sú presný tlačný čap z ocele a a zušľachtený prítlačná skrutka s maticou. [20]



Obr. 4.4 Zvislá upínka 250 UZ [21]

Indukčne snímače

Indukčne snímače slúžia na zistenie prítomnosti kovových objektov. Ich fungovanie je bezdotykové a vďaka uloženiu v uzavretom puzdre sú odolné voči vonkajším vplyvom na pracovisku. Majú vysokú spínaciu rýchlosť a neobmedzenú životnosť, ktorú môže narušiť len mechanické poškodenie. Základným prvkom je feritové jadro, v ktorom sa nachádza cievka. Cez tuto cievku preteká striedavý prúd a vzniká magnetické pole. Kde sa do tohto póla dostane kovový predmet, tak sa magnetické pole preruší a snímač zaznamená vzniknutý signál. [22]

V tejto práci som použil modely indukčných senzorov od firmy Balluff (Obr. 4.5) s rozsahom zaznamenávania signálu 0-4 mm. Do prípravku som vložil 8 indukčných senzorov. 4 senzory sú vložené vo vrchnej časti, kde snímajú založenie vrchnej časti zváraného dielu a 4 senzory sú umiestnené v stene prípravku, kde snímajú prítomnosť valcovej časti zvarenca. Tieto uloženia je možné vidieť na obrázku 4.2.



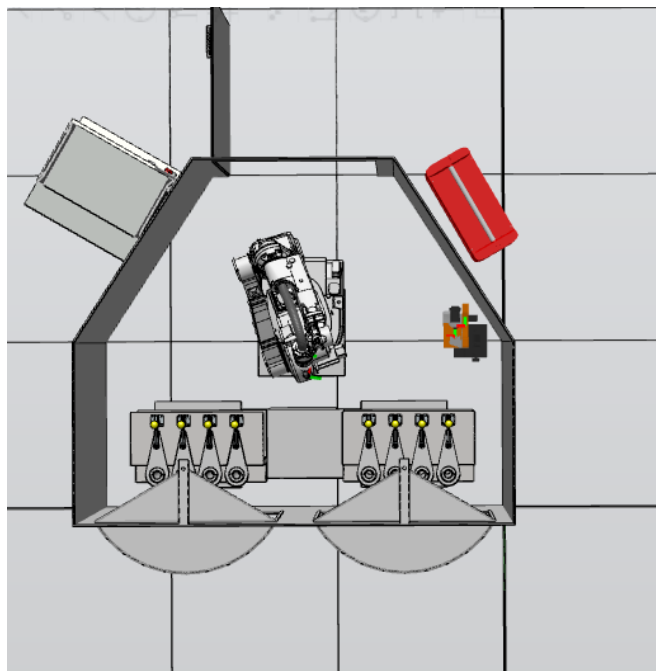
Obr. 4.5 Indukčný snímač Balluff [23]

4.2 Konfigurácia robotickej zváracej stanice

Pri navrhovaní zváracej stanice som musel brať do úvahy rôzne parametre ako napr. veľkosť stanice, bezpečnosť stanice, metódu zvárania, miesta pre ochranný plyn, zdroj el. energie a pod.

Môj návrh je inšpirovaný zváraciou stanicou ABB FlexArc TT. Jej najväčšiu výhodou sú malé rozmery(2,4x2x2,2m), jednoduchá montáž a demontáž.

Na obrázku 4.6 je vidieť návrh mojej stanice v programe ABB Robotstudio. Niektoré jej časti boli vymodelované v Autodesk Inventor Professional 2024 a ostatné modely (zvárací robot, zváračka apod.) boli vložené z knižnice vybavenia RobotStudia. Stanica sa skladá z plechového oplotenia, ktoré chráni okolie pred žiarením a zároveň zabraňuje vstupu ľudí do stanice počas zvárania. V prednej časti sa nachádzajú 2 okna, cez ktoré sa vkladajú a vyberajú súčiastky do prípravkov. V týchto oknách sú aj bubnové dvere, ktoré slúžia na ochranu ľudí pred nebezpečným žiarením počas zvárania. Vnútri stanice sa nachádza stôl, na ktorom sú umiestnené prípravky. V strede sa nachádza stôl, na ktorom je uložený zvárací robot. Robot je uložený tak aby bez problémov dočiahol na zvárané súčiastky a zároveň aj do čističa hrotu horáka(torch cleaner). Vedľa stanice sa nachádza zváračka a riadiaci systém robota.



Obr.4.6 Model zváracej stanice

4.2.1 Robot IRB 1660ID

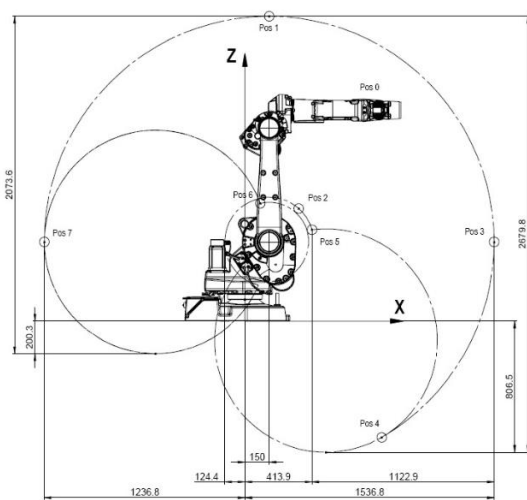
Do zváracej stanice som vybral robota IRB1660ID od firmy ABB. Tento robot sa vyrába v 2 verziách, jedna s dovoleným zaťažením 4kg a druhá verzia dovoľuje zaťaženie 6kg a obe majú dosah 1,55m. Oba typy vŕžia 257kg a majú príkon 0,64kW pri maximálnom zaťažení. Použil som prvú verziu, ktorá dostatočne vyhovuje mojim požiadavkám. [24]

Tento typ robota je primárne určený pre oblúkové zváranie. Jeho najväčšou výhodou je integrovaná kabeláž v hornom ramene, ktorú dopravujú potrebné médiá na oblúkové zváranie(ochranný plyn, zvárací drôt, chladiace médium). Dáľiou prednosťou je vysoká

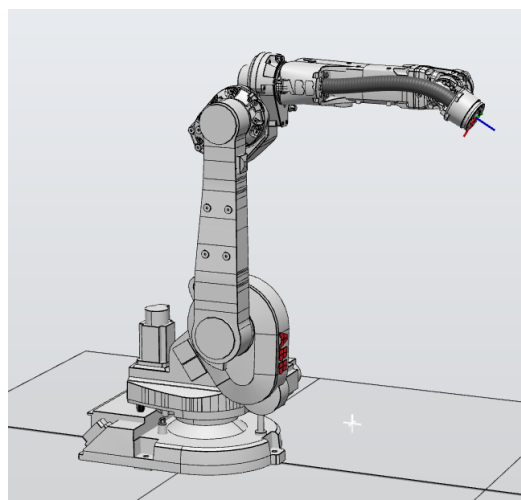
presnosť opakovania dráhy a to až 0,05mm. Takúto presnosť mu umožňuje jeho konštrukcia, ktorá ma 6 stupňov voľnosti. Medzi jeho výhody ešte patri mala hlučnosť (do 70dB). [25]

Zvárací robot sa skladá z časti:

- Riadiaca jednotka- IRC 5
- Zvárací agregát (zdroj napätia)
- Ramena umožňujúce pohyb- IRB1660ID
- Nástroj (zváracia hlava)- Binzel ID 22



Obr. 4.7 Pracovný rozsah robota [24]

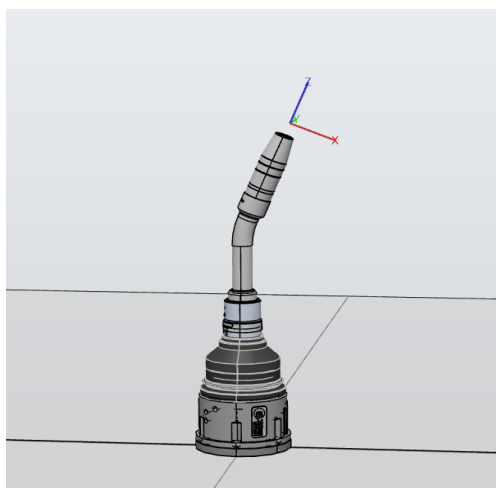


Obr. 4.8 Model robota

4.2.2 Nástroj (zváracia hlavica)

Zváracia hlavica slúži ako nástroj robota. Jej druh závisí od metódy zvárania (MIG/MAG, TIG). Používajú sa vodou alebo vzduchom chladené.

V tejto práci som vybral vzduchom chladený model Binzel ID 22 z knižnice vybavenia RobotStudia. Tato hlavica je kompatibilná s robotom IRB 1660ID a jej výhodou je integrovaný prívod zváracieho drôtu, ochranného plynu a chladiaceho média.



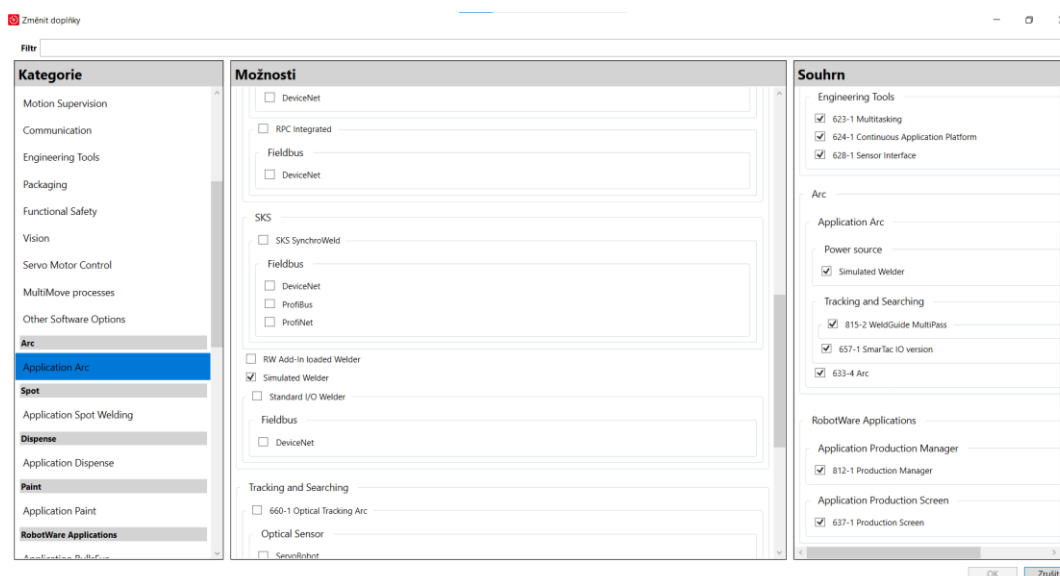
Obr. 4.9 Model hlavice Binzel ID 22

Ďalšou častou zváracej stanice je zvárací agregát, ktorý sa skladá zo zváračky, riadiacej jednotky a z podávača drôtu, ktorý je umiestnený na robotovi.

4.3 Virtuálne sprevádzkovanie a návrh zváracích dráh

Virtuálne sprevádzkovanie a vytvorenie zváracích dráh som vypracoval v programe RobotStudio of firmy ABB. Tato firma vytvorila rozšírenie pre RobotStudio pre rýchlejšie a efektívnejšie vytváranie a simuláciu zváracích dráh nazvaná Arcwelding Powerpac a ArcWelding 2 PowerPac. V mojej práci som využíval prvé rozšírenie.

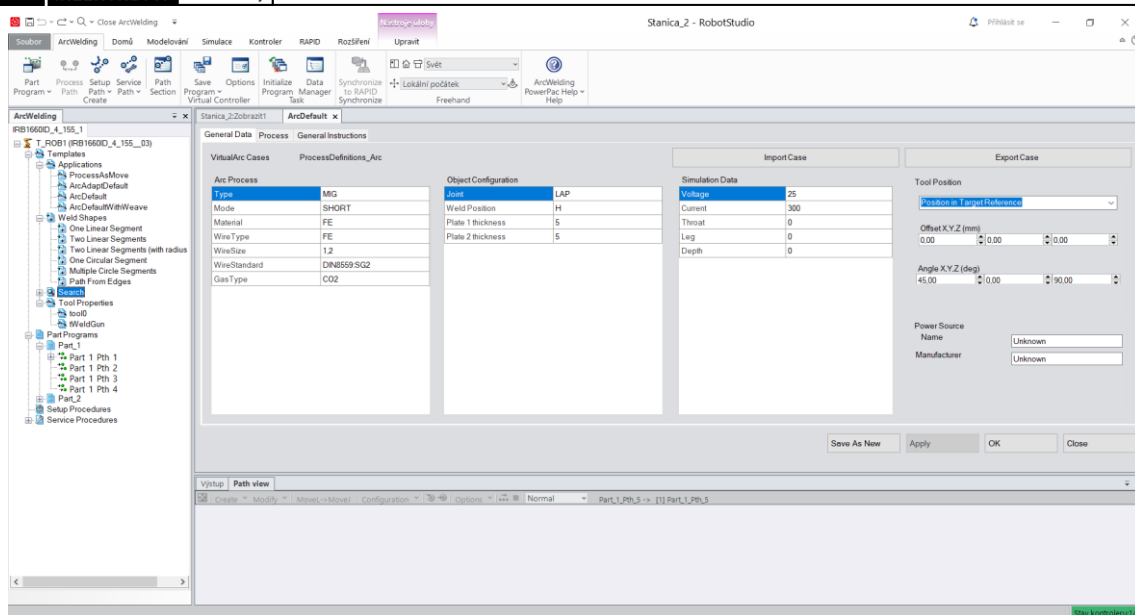
Po prvotnom vytvorení stanice, do ktorej sa vloží robot, nástroj, model zváraných súčasti a ostatne diely (napr. bezpečnostne oplotenie, stoly pod prípravky) sa vytvorí virtuálny radič, do ktorého sa nahrajú doplnky potrebné pre oblúkové zváranie. Doplnky som zvolil podľa výukového videa pre ArcWelding PowerPac (Obr. 4.10).



Obr. 4.10 Doplnky pre oblúkové zváranie

ArcWelding PowerPac sa po spustení virtuálneho radiča, vyberie v hornej lište v záložke „Add-ins“ („Rozšíření“) a následne sa v tejto lište aj objaví.

Po spustení sa v ľavej časti objaví strom s príkazmi (Obr4.11). V prvej záložke „Tempaltes“ sa nastavujú dáta ohľadom technológie zvárania ako sú napr. metóde zvárania, typ ochranného plynu, druhy zváraných kovov alebo veľkosti napätia a prúdu. Tieto dáta som nechal v základnom nastavení. V praxi by sa menili po konzultácii s technológom podľa konkrétnych potrieb. V druhej záložke „Part-Programs“ sa vytvárajú už konkrétne zváracie dráhy. Ďalšie záložky „Setup Procedures“ a „Service procedures“ slúžia na nastavovanie pozícií robota, z a do pozície domov, alebo do pozícií na servisovanie napr. čistenie horáku, zastrihávanie drôtu. [26]



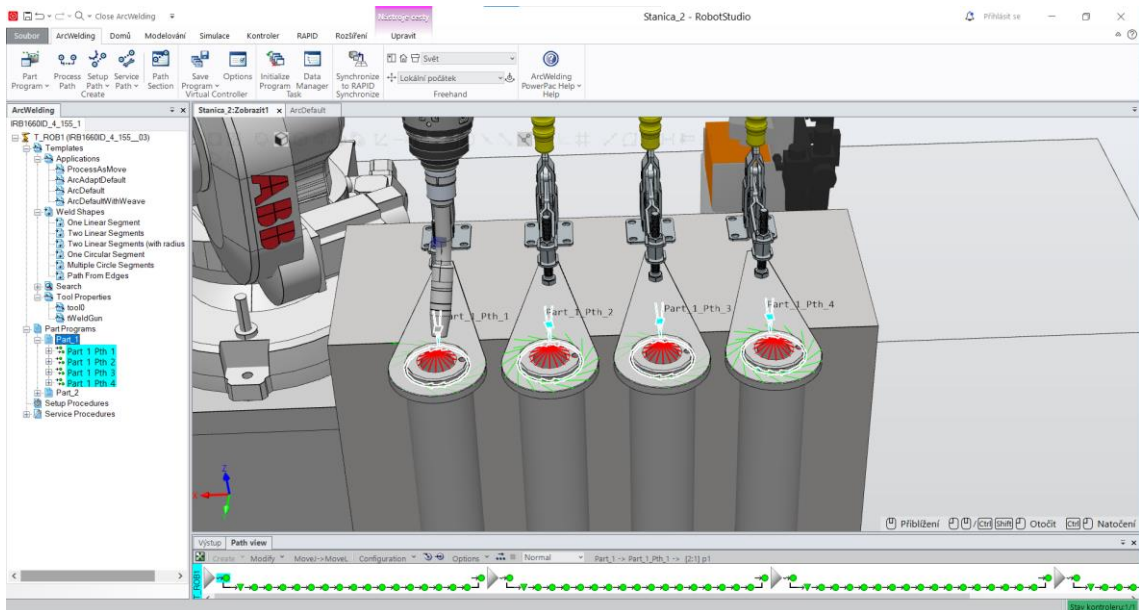
Obr. 4.11 Rozšírenie ArcWelding PowerPac

Na vytvorenie zväracích dráh som využil funkciu „Path-Programs“. V tejto záložke som vytvoril 2 programy, kvôli dvom prípravkom so zverencami. V oboch programoch sa nachádzajú 4 zväracie dráhy, ktoré som vytvoril rovnakým spôsobom. Na vytvorenie som použil metódu „Path from Edges“, ktorej sa vyberie hrana podľa ktorej chceme zvärať. V mojom prípade ide o okrúhle hrany. Pri vybratí takéhoto typu hrán ich program interpoluje ako lineárne časti a následne sa pohybuje podľa nich. Pre kruhové dráhy sa môže využiť aj metóda „Circular segment“, ktorá ma nevýhodu, že sa musí vytvoriť drahá iba v intervale (0° až 180°), takže by sa drahá, ktorú potrebujem musela vytvoriť na dvakrát. [26]

Zväracie dráhy robota

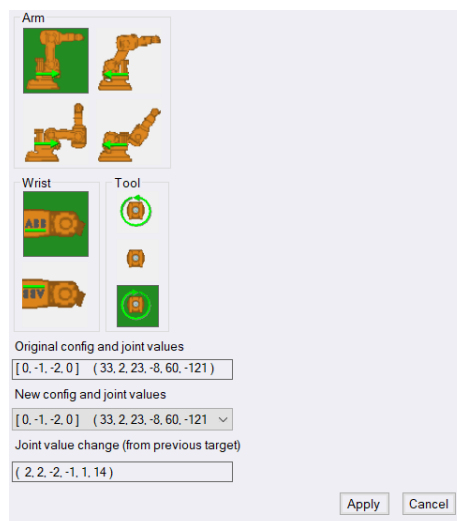
Na začiatku tvorenia dráhy sa vytvorí „Process Path“, kedy vznikne prázdna drahá. Tam sa pomocou príkazu „Weld“ vytvára zväracia drahá. Pri vytváraní sa zvolia potrebné údaje ako typ dráhy (lineárny, okrúhly ai.), vzdialenosť prízjazdu a odjazdu, natočenie nástroja apod. Po vybratí metódy „Path from edges“ som vybral hrana podľa ktorej sa bude zvärať.

Následne sa vytvorí drahá, ktorú je vidieť na spodnej liste (Obr. 4.12) . Skladá sa z inštrukcií „MoveJ“, tu sa robot približuje na zvolenú vzdialenosť ku zvaru. Ďalej „ArcLStart“, kedy začne proces zvärania a následne sa pohybuje pomocou „ArcL“ pozdĺž daných bodov. Tesne po vytvorení sú tieto body označené bielou farbou, takže sa musí skontrolovať dosah robota pomocou „JumpTo“, ak je v poriadku tak daný bod zmení farbu na žltú. Potom tieto body treba ešte skontrolovať funkciou „MoveTo“. Ak sa to podarí, tak body sa rozmiestia na zeleno a to znamená, že robot sa dokáže bez problémov dostať do zvolených bodov a teda ich aj pozvárať. Takýmto spôsobom som vytvoril všetkých 8 zväracích dráh.



Obr. 4.11 Ukážka zväracích dráh

Po ich úspešnom vytvorení som ešte musel zmeniť konfiguráciu robota, pretože dochádzalo k pretáčaniu nástroja počas zvárania. (Obr. 4.12)



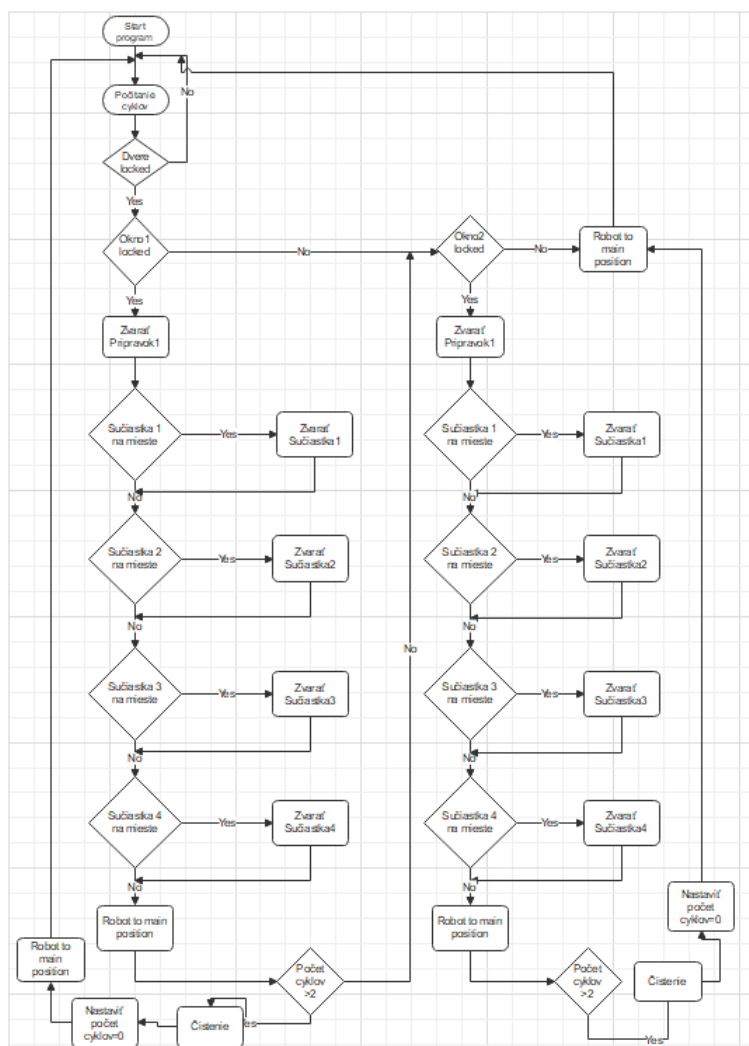
Obr. 4.12 Ukážka konfigurácie robota

Virtuálne sprevádzkovanie

Po vytvorení zväracích dráh a následnej úprave konfigurácie robota, sa do kontroléru nahrá program. Začiatok zväracieho cyklu sa zapína tlačidlom umiestneným na prednej strane plechové oplotenia bunky, poprípade sa môže spustiť pomocou Teach-pendantu, ale tento spôsob sa neodporúča. Pred spustením sa uložia súčiastky do prípravkov, zaistia úpinkami a zatvoria bubnové dvere. Následne sa spusti program. Program vyhodnotí, na ktorom prípravku a ktoré súčiastky bude zvärať podľa splnených podmienok. Po dokončení sa vráti do základnej polohy. Pokiaľ nebudú splnene niektoré podmienky, tak robot nezačne zváranie.

Na zastavenie robota sa využíva ďalšie tlačidlo, ktorého spustením sa robot okamžite zastaví a nebude pokračovať v zváraní.

Počas zvárania program počíta koľko zväracích cyklov robot vykonal(1 prípravok=1 cyklus). Po dosiahnutí určitého počtu cyklov, robot prejde do čističa horáku(torch cleaner). Tu dôjde k očisteniu hubice jemným abrazívom, zastrihnutím a zarovnaním drôtu. V programe som nastavil aby sa tento proces vykonal po vykonaní 2 zväracích cyklov. V realite by sa toto konzultovalo s technológom. Na Obr 4.13 môžeme vidieť vývojový diagram daného programu.



Obr. 4.13 Vývojový diagram programu

5 ZÁVER

Cieľom tejto bakalárskej práce bolo digitálne sprevádzkovanie robotizovaného výrobného systému pre oblúkové zváranie. Na toto bol využitý program RobotStudio s rozšírením ArcWelding PowerPac od firmy ABB. Ďalší využitý program bol Autodesk Inventor Professional 2024, v ktorom bol vytvorený model zváracej stanice spolu s prípravkom na upnutie zváracích súčiastok. Tieto modely boli následne exportované do RobotStudia.

V teoretickej časti práce boli rozobraté a porovnané metódy programovania priemyselných robotov a to online a offline programovanie. V online programovaní boli opísané metódy programovania pomocou Teach-pendantu a Hand-guidingu a zosumarizované ich výhody a nevýhody. Ďalej bola popísaná metóda off-line programovania a rozdelenie programov využívaných na off-line programovanie do kategórií na programy s obojstrannou prenositeľnosťou kódu a jednostranne systémy pre aplikácie CAD/CAM a následne boli opísané výhody a nevýhody tohto typu programovania. Koniec teoretickej časti bol venovaný technológii zvárania. To bolo rozdelené na tavné, tlakové a robotické zváranie. Tavné zváranie bolo rozdelené na zváranie plameňom a elektrickým oblúkom. V zváraní el. oblúkom boli rozobraté metódy MIG/MAG, WIG(TIG), APT a zváranie taviacou sa elektródou. V časti o tlakovom zváraní boli rozobraté metódy zvárania el. odporom, trením a indukčne zváranie. V poslednej časti bolo spomenuté robotické zváranie a jeho výhody a nevýhody.

V praktickej časti sa riešili 3 menšie úlohy. V prvej časti sa vytvoril 3D model upínacieho prípravku v programe Autodesk Inventor Professional 2024. Tento prípravok slúži na upnutie 4ks zverencov. Rozmer prípravku je 750x410x600mm. Spomenutý bol spôsob zakladania zverencov do prípravku a opísané ďalšie časti prípravku a to manuálne úpinky na upnutie zverencov a indukčne senzory, ktoré kontrolujú prítomnosť zverencov. Potom bol vytvorený model zváracej stanice. Tieto modeli boli importované do RobotStudia, kde sa pridal robot (IRB 1660ID), zváracia hlavica (Binzel 22 ID) a čistič horáku. Následne boli v tomto programe vytvorené zváracie dráhy pomocou rozšírenia ArcWelding PowerPac. Na konci bol vytvorený program, podľa ktorého by mal daný robot pracovať.

Na zaver sa da skonštatovať, že boli splnené všetky čiastkové ciele bakalárskej práce. Pri prípadnom použití v praxi by sa museli niektoré nastavenia zvárania, prekonzultovať s technológom. Ďalej by sa museli ešte konštrukčne optimalizovať niektoré časti stanice.

6 ZOZNAM POUŽITÝCH ZDROJOV

- [1] KOLÍBAL, Zdeněk. *Roboty a robotizované výrobní technologie*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, nakladatelství VUTIUM, 2016. ISBN 978-80-214-4828-5.
- [2] *Příručka Automatizační a robotická technika* [online]. In: . [cit. 2024-04-22]. Dostupné z: http://www.sjf.tuke.sk/vitralab/files/vystupy/prirucka_cz_final.pdf
- [3] *Fanuc Teach-pendant* [online]. In: . 2023 [cit. 2024-04-22]. Dostupné z: <https://ballardintl.com/product/fanuc-a05b-2301-c370-teach-pendant/>
- [4] Servotronic Teach-pendant. In: *Servotronix.com* [online]. 2017 [cit. 2024-04-22]. Dostupné z: http://softmc.servotronix.com/wiki/Teach_Pendant_Introduction
- [5] SARVAŠ, Matej. *DIGITÁLNÍ ZPROVOZNĚNÍ ROBOTIZOVANÉHO SVAŘOVACÍHO PRACOVISTĚ* [online]. Brno, 2021 [cit. 2024-04-22]. Dostupné z: https://www.vut.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=224301. Bakalárska práca. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky.
- [6] Offline programovanie robotov. In: *Www.dailyautomation.sk* [online]. 2024 [cit. 2024-04-24]. Dostupné z: <https://www.dailyautomation.sk/offline-programovanie-robotov>
- [7] Virtuální zprovoznění - budoucnost průmyslu. In: *Www.visionsmag.cz* [online]. 2018 [cit. 2024-04-24]. Dostupné z: <https://www.visionsmag.cz/virtualni-zprovozneni-meni-budoucnost-prumyslu>
- [8] Robotics virtual commissioning. In: *Www.sw.siemens.com* [online]. 2024 [cit. 2024-04-24]. Dostupné z: <https://www.sw.siemens.com/en-US/technology/robotics-virtual-commissioning/>
- [9] *Automa: časopis pro automatizační techniku* [online]. Děčín: Automa - časopis pro automatizační techniku, s.r.o., 2016, [cit. 2024-04-24]. ISSN 1210-9592. Dostupné z: <https://automa.cz/page-flip/casopis/automa/2016/05/index.html#page/1>
- [10] Increasing control software quality with virtual commissioning. In: *Www.visualcomponents.com* [online]. 2016 [cit. 2024-04-24]. Dostupné z: <https://www.visualcomponents.com/resources/blog/increasing-control-software-quality-with-virtual-commissioning/>
- [11] BENEŠ, Libor. *Svařování* [online]. In: . [cit. 2024-04-30]. Dostupné z: http://users.fs.cvut.cz/libor.benes/vyuka/svarovani/UT_01_Prehled_svarovani_T08.pdf
- [12] DVOŘÁK, Milan. *Technologie II*. 2001. Brno: CERM, 2001, 238 s. : il. ISBN 80-214-2032-4.

- [13] Elektródové zváranie. In: *Fronius International* [online]. 2024 [cit. 2024-05-06]. Dostupné z: <https://www.fronius.com/sk-sk/slovakia/zvaracia-technika/world-of-zvaranie/elektrodov-zvaranie>
- [14] Ktorá metóda zvárania zlepši vašu efektivitu?. In: *Axxair.sk* [online]. 2024 [cit. 2024-05-06]. Dostupné z: <https://axxair.sk/ktora-metoda-zvarania-zleps-i-vasu-efektivitu-179>
- [15] Robotic-welding-processes. In: *Calderamfg.com* [online]. 2024 [cit. 2024-05-24]. Dostupné z: <https://calderamfg.com/resources/blog/robotic-welding-processes/>
- [16] Push systems. In: *Fronius.com* [online]. 2024 [cit. 2024-05-24]. Dostupné z: <https://www.fronius.com/en/welding-technology/products/robotic-welding/migmag-single-wire/push-systems/push-systems>
- [17] CO-BOTY (Kooperujúce roboty s človekom). In: *Dailyautomation.sk* [online]. 2024 [cit. 2024-05-24]. Dostupné z: <https://www.dailyautomation.sk/05-zaklady-priemyselnej-robotiky-co-boty-kooperujuce-roboty-clovekom>
- [18] Kolaboratívny robot automatizuje zvaranie. In: *Solik.sk* [online]. 2023 [cit. 2024-05-24]. Dostupné z: <https://www.solik.sk/blog/kolaborativny-robot-automatizuje-zvaranie/>
- [19] Mind-Reading Robots. In: *Ise.illinois.edu* [online]. 2018 [cit. 2024-05-24]. Dostupné z: <https://ise.illinois.edu/newsroom/mind-reading-robots>
- [20] Prímé upínky. In: *JC Metal* [online]. [cit. 2024-05-21]. Dostupné z: <https://www.jcmetal.cz/produkty/prime-upinky>
- [21] Svislá upínka 250 UZ. In: *JC Metal* [online]. [cit. 2024-05-21]. Dostupné z: <https://eshop.jcmetal.cz/cs/svisle-upinky/81-svisla-upinka-250-uz.html>
- [22] Indukčne snímače. In: *Encyklopédia poznania* [online]. 2020 [cit. 2024-05-21]. Dostupné z: <https://encyklopediapoznania.sk/clanok/8448/indukcne-snimace-senzory>
- [23] Balluff. In: *Balluff* [online]. 2024 [cit. 2024-05-21]. Dostupné z: [https://www.balluff.com/sk-sk/products/BES0068?attrs\[cal_pm_switching_function\]\[0\]=259416&attrs\[cal_pm_range_sn\]\[min\]=4&attrs\[cal_pm_range_sn\]\[max\]=4&pm=BESMSstandard&pf=F01102](https://www.balluff.com/sk-sk/products/BES0068?attrs[cal_pm_switching_function][0]=259416&attrs[cal_pm_range_sn][min]=4&attrs[cal_pm_range_sn][max]=4&pm=BESMSstandard&pf=F01102)
- [24] IRB 1600/1660, Product specification. In: *Abb.com* [online]. 2024 [cit. 2024-05-21]. Dostupné z: <https://search.abb.com/library/Download.aspx?DocumentID=3HAC023604-001&LanguageCode=en&DocumentPartId=&Action=Launch>
- [25] IRB 1660ID. In: *Abb.com* [online]. 2024 [cit. 2024-05-21]. Dostupné z: <https://new.abb.com/products/robotics/robots/articulated-robots/irb-1660id>

- [26] *Operating Manual ArcWelding PowerPac* [online]. In: . 2008 [cit. 2024-05-23].
Dostupné z: http://nfs.gongkong.com/u_files/robot/zl/3HAC028931-001_revD_en.pdf

7 ZOZNAM POUŽITÝCH SKRATIEK, SYMBOLOV A OBRÁZKOV

7.1 Zoznam skratiek

3D	Trojrozmerný
CAD	Computer aided design (Počítačom podporovaný návrh)
PLC	Programmable Logic Computer (Programovateľný logický automat)
TIG/WIG	Zváranie s netaviacou sa elektródou
MIG/MAG	Zváranie s taviacou sa elektrodou
APT	Zváranie pod tavivom

7.2 Zoznam obrázkov

- Obr. 3.1 Postup online programovania robotov [2]
- Obr. 3.2 Teach-pendant [3]
- Obr. 3.3 Teach-pendant [4]
- Obr. 3.4 Projektovanie s pomocou virtuálneho sprevádzkovania a bez neho [10]
- Obr. 3.5 Metódy MIG a MAG zvarania [14]
- Obr. 3.6 Robotizovaný zvarací systém [16]
- Obr. 3.7 Kolaboratívny robot pri práci [18]
- Obr. 4.1 Výkres zvaranej súčiastky
- Obr. 4.2 Model prípravku
- Obr. 4.3 Zvarenice uložené v prípravku
- Obr. 4.4 Zvislá úpinka 250 UZ [21]
- Obr. 4.5 Indukčný snímača Balluff [23]
- Obr. 4.6 Model zvaracej stanice
- Obr. 4.7 Pracovný rozsah robota [24]
- Obr. 4.8 Model robota
- Obr. 4.9 Model hlavice Binzel ID 22
- Obr. 4.10 Doplnky pre oblúkové zvaranie
- Obr. 4.11 Rozšírenie ArcWelding PowerPac
- Obr. 4.11 Ukážka zvaracích dráh
- Obr. 4.12 Ukážka konfigurácie robota
- Obr. 4.13 Vývojový diagram programu

8 ZOZNAM PRÍLOH

Príloha 1 – Projekt vytvorený v ABB RobotStudio „BP_Bronis_Martin .rspag“