



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

ROBOTIZOVANÁ PRACOVIŠTĚ PRO TECHNOLOGIE SVAŘOVÁNÍ S DŮRAZEM NA SVAŘOVACÍ AGREGÁTY

WELDING ROBOTIZED WORKPLACES WITH EMPHASIS ON WELDING AGGREGATES

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

DAVID LUKŠÍČEK

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. RADEK KNOFLÍČEK, Dr.

BRNO 2019

Zadání bakalářské práce

Ústav: Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky
Student: **David Lukšíček**
Studijní program: Strojírenství
Studijní obor: Základy strojního inženýrství
Vedoucí práce: **doc. Ing. Radek Knoflíček, Dr.**
Akademický rok: 2018/19

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.1111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

Robotizovaná pracoviště pro technologie svařování s důrazem na svařovací agregáty

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Obsahem DP je sestavit přehled vzorových typů robotizovaných pracovišť, které se využívají v technologiích svařování elektrickým obloukem, plynem v ochranné atmosféře apod. Jejich popisem a technicko–ekonomickým zhodnocením pak uvést výhody a nevýhody v použití robotu, jako náhrady za člověka ve výrobním procesu.

Cíle bakalářské práce:

Úvod do projekčně – konstrukčního řešení robotických buněk pro výrobní operace s různými druhy svařování pomocí průmyslového robotu (PR).

Analýza současného sortimentu výrobků, vhodných pro robotické svařování součástek a dílců.

Podrobná rešerše v současnosti používaných svařovacích agregátů, vhodných k robotickému svařování elektrickým proudem nebo technickým plynem.

Příklady úspěšných aplikací robotizovaných technologických pracovišť (RTP), popis komponent RTP a vyobrazení PR a periferních zařízení.

Vyhodnocení přínosu (nebo záporů) RTP po jeho realizaci ve strojírenském podniku.

Vlastní závěry analýzy a doporučení robotizovat procesy.

Seznam doporučené literatury:

KOLÍBAL, Zdeněk. Roboty a robotizované výrobní technologie. První vydání. Brno: Vysoké učení technické v Brně - nakladatelství VUTIUM, 2016. ISBN 978-80-214-4828-5.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2018/19

V Brně, dne

L. S.

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

doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.
děkan fakulty

Abstrakt

Podstatou této bakalářské práce je uvést základní poznatky a principy v robotickém svařování. V úvodu se práce věnuje seznámení čtenáře s automatizací a robotizací, následuje krátká definice svařování a mapování jeho vývoje. V dalších kapitolách se pojednává o hlavních částech obecného průmyslového robota. Mezi stěžejní body práce patří představení nejvyužívanějších svařovacích metod v robotickém svařování, objasnění pojmu robotické technologické pracoviště a popsání jeho základních a nezbytných periférií. Závěrečná část práce je věnována rešerši v oblasti svařovacích agregátů, tedy svařovacích zdrojů a podavačů drátu. Je uvedeno několik konkrétních výrobků včetně významných technických parametrů.

Abstract

The purpose of this bachelor's thesis is to mention basics and principles utilized in robotic welding. Beginning of the thesis is dedicated to introduction of automation and robotization, followed by short definition of welding and its development. Main parts of industrial robot are described in following chapters. Crucial stage of the thesis is to list usual technologies used by robotic welding, to define robotized welding workplace and description of its essential components. The conclusion of the thesis contains research of actual welding supplies and wire feeders, including relevant parameters comparison.

Klíčová slova

Automatizace, robotické svařování, robotické technologické pracoviště, svařovací agregáty.

Keywords

Automation, robotic welding, robotic workplaces, welding supplies.

LUKŠÍČEK, D. *Robotizovaná pracoviště pro technologie svařování s důrazem na svařovací agregáty*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2019. 71 s. Vedoucí bakalářské práce doc. Ing. Radek Knoflíček, Dr.

Prohlašuji, že bakalářskou práci s názvem *Robotizovaná pracoviště pro technologie svařování s důrazem na svařovací agregáty* jsem vypracoval sám, pod vedením doc. Ing. Radka Knoflíčka, Dr., s použitím odborné literatury a zdrojů uvedených v seznamu na konci práce.

.....
David Lukšíček
23. května 2019

V následujících slovech bych rád vyjádřil poděkování doc. Ing. Radkovi Knoflíčkovi, Dr., za jeho cenné rady, připomínky a jeho přátelský přístup po dobu vypracovávání práce. Dále bych chtěl poděkovat mojí rodině, přátelům a všem, kteří mě podporovali.

David Lukšíček

Obsah

1	Úvod	11
2	Představení automatizace a robotizace	12
2.1	Automatizace	12
2.2	Robotizace	12
3	Svařování	14
3.1	Základní seznámení	14
3.2	Historie svařování a vývoj do současnosti	14
4	Robotické svařování	15
4.1	Základní popis	15
4.2	Průmyslový robot	15
4.3	Vzhled a funkční části robotu	15
4.3.1	Morfologie robotu	15
4.3.2	Pohonné ústrojí	16
4.3.3	Senzorický systém	17
4.3.4	Koncový efektor	17
5	Svařovací technologie používané v robotice	19
5.1	Svařování působením tepla	20
5.1.1	Svařování elektrickým obloukem	20
5.1.1.1	MIG/MAG svařování	22
5.1.1.2	WIG/TIG svařování	23
5.1.2	Svařování pomocí laseru	24
5.1.3	Svařování pomocí plazmatu	25
5.2	Svařování pomocí tepla a tlaku	25
5.2.1	Svařování elektrickým odporem	25
6	Robotická technologická pracoviště pro svařování	27
6.1	Robotizovaný modul	28
6.2	Robotizovaná buňka	29
6.2.1	Vlastní svařovací robot	30
6.2.2	Svařovací agregát	31
6.2.2.1	Svařovací rotační dynamo	32
6.2.2.2	Svařovací transformátor	32
6.2.2.3	Svařovací usměrňovač	33
6.2.2.4	Svařovací invertor	33
6.2.3	Podavač drátu	34
6.2.4	Otočný stůl a přípravek pro uchycení	35
6.2.5	Dopravník polotovarů	37
6.2.5.1	Pásové dopravníky	37
6.2.5.2	Válečkové tratě	38
6.2.6	Bezpečnostní senzory a ochranné prvky pro obsluhu	39
6.2.6.1	Vlastní senzory robotu	39

6.2.6.2	Ochranná klec	39
6.2.6.3	Světelné závory	40
6.2.6.4	Bezpečnostní laserový skener	42
6.2.6.5	Nášlapná rohož	42
6.2.7	Odsávací zařízení	43
6.2.8	Řídící jednotka pro buňku	45
7	Příklady výrobků automatizovaného svařování	46
7.1	Automobilní průmysl	46
7.2	Letectví	47
7.3	Železniční produkce	48
7.4	Ostatní odvětví	48
8	Průzkum současného trhu se svařovacími agregáty	49
8.1	Svařovací zdroje	49
8.1.1	MIG/MAG svařování	49
8.1.2	TIG svařování	52
8.1.3	Svařování elektrickým odporem	54
8.1.4	Svařování plazmatem	57
8.2	Podavače drátu	58
9	Závěr	61
10	Literatura	63
11	Seznam použitých zkratk a symbolů	67
12	Seznam obrázků a tabulek	69

1 Úvod

Během posledních několika let se mluví o tom, že svět nyní prožívá tzv. Čtvrtou průmyslovou revoluci, neboli Průmysl 4.0. Toto mnoho oborové hnutí si klade, mimo jiné, za cíl výrazně posunout úroveň automatizace a připojit velkou část systémů a strojů k internetové síti. Důsledky tohoto postupu budou pozorovatelné teprve za několik let, nicméně půjde jistě o významnou epochu v dějinách naší novodobé civilizace z pohledu průmyslu a také sociálně-ekonomických aspektů.

Nedílnou součástí automatizace je samozřejmě robotizace, tedy využívání robotických systémů v nejrůznějších odvětvích lidského snažení. Je to snaha o přenechání monotónních, náročných, nebezpečných a nekreativních prací na robotech. V robotizaci vnímáme primárně vidinu zlepšení kvality lidského života, možnost dělat jiné, tvůrčí a podstatnější povolání. Mimo toho nám robotizace také nabízí zefektivnit a zkvalitnit procesy, do nichž se roboty aplikují.

Jedno z odvětví robotizace je samozřejmě svařování a vývoj svařovacích technologií. Svařování zaujímá podstatný segment průmyslové výroby a na poli robotizace výrobních procesů mu patří majoritní postavení.

2 Představení automatizace a robotizace

2.1 Automatizace

Obecně se automatizací rozumí náhrada lidského pracovníka v jakémkoliv obecném průmyslovém procesu. Pojem automatizace se poprvé objevil v tzv. Třetí průmyslové revoluci, jejíž počátky můžeme hledat v 60. letech minulého století. *Automatizace* si v počátcích kladla za cíl nahrazení některých pracovních pozic a usnadnění zejména výrobních procesů, přispěl tomu především vývoj *číslicově řízených (NC)* strojů a později *počítačově řízených (CNC)* strojů, které usnadňovaly například různé obráběcí operace jako soustružení, frézování, vrtání a jiné. [17]

2.2 Robotizace

Robotizace je v průmyslové sféře *automatizační proces*, ve kterém zastává hlavní roli *průmyslový robot*. V průmyslovém odvětví se vyskytuje nespočet strojů, které plní určité funkce za člověka, tyto stroje se však nenazývají roboty, nýbrž automaty. Je to dáno jejich vzhledem, designem, popřípadě pohybem jejich strojních částí při vykonávání procesu, které velmi málo připomínají člověka. [17]

V roce 1961 se na trhu objevil mnohoúčelový automat od americké firmy AMF, který nesl název VERSATRAN (VERSAtile TRANSfer), který svou podobou a pohybem připomínal právě člověka. [17]

Průmyslový robot ve svém nejobecnějším popisu znamená spojení dvou pojmů. Prvním je označení slovem Robot, které pochází z knihy a divadelní hry Karla Čapka R.U.R, ve které šlo o jakousi neživou bytost připomínající člověka (Golem). Druhým pojmem je skutečný vývoj a mechanizace výrobních strojů a jejich postupné zlepšování. Tyto dva proudy spojil vývoj již zmíněných NC systémů. Tak vznikl dnešní pojem průmyslového robota - NC průmyslový manipulátor. [17]

Symbióza průmyslových robotů a NC výrobních strojů na přelomu 20. a 21. století umožnila vznik plně automatizovaných továren, jakou provozuje například firma FANUC. [17]



Obrázek 2.1: Průmyslový robot bez konkrétního efektoru

3 Svařování

3.1 Základní seznámení

Svařování, nebo také sváření je proces vytvoření trvalého a nerozebratelného spojení mezi dvěma a více součástmi. [7]

Princip sváření spočívá v působení tepla, respektive tlaku a případně také za použití přídavného materiálu na žádané stykové plochy dvou nebo více součástí, kterými většinou bývají hutní tvářené polotovary (tyče, pásy, plechy, trubky a jiné polotovary), dále také výkovky a odlitky. Takto vzniklé polotovary se nazývají svařence, které se ve většině případů následně dále opracovávají - zejména obráběním. Technologie *svařenců* je v případě větších sestav a konstrukcí sice náročnější, ale v konečném důsledku jde o jednodušší cestu, kdy z menších dílců vzniká složitý celek, jehož výroba jinou technologií by byla daleko materiálově a časově náročnější, a tedy ekonomicky nevýhodná. [7]

Mezi výhody svařování se řadí velká *pevnost, trvanlivost a těsnost spojení*. Konstrukce jsou jednoduché, a dokonce oproti odlévání vzniká až o 50% větší úspora materiálu. Svařování je velmi produktivní metoda, je u něj velká časová úspora, a především u malosériových výrob je výhodou, že za krátký čas je možno sestavit prototyp výrobku a dále s ním pracovat. [7]

Nevýhodou je *nemožnost rozebrat spojení*. Další a podstatnější nevýhodou je *změna struktury a mechanických vlastností* svarových spojů a následný vznik vnitřních pnutí a deformací, popřípadě vznik vnitřních vad při samotném procesu sváření. [7]

Svařování našlo své využití téměř ve všech výrobních oborech, a to nejen při výrobě a kompletaci nových strojů a velkých konstrukčních celků – tlakových nádob, kotlů, parních generátorů, jaderných reaktorů, lodních konstrukcích, mostů, ocelových konstrukcí, tak i při opravách. [7]

3.2 Historie svařování a vývoj do současnosti

První zmínky o svařování lze hledat v době počátečních pokusů člověka o tepelné zpracování kovů – zhruba 4000 let př.n.l. Prvním ustáleným typem svařování bylo tzv. kovářské svařování, kdy se malé fragmenty železa natavovaly a poté spojovaly ve větší kusy a dále používaly pro výrobu. Toto byla na dlouhou dobu jediná metoda spojování kovů k sobě.

Ke konci 19.století se začalo rozvíjet svařování plamenem a poté svařování obloukem, které se stalo ve 20. století dominantní metodou. [31]

Urychlení vývoje sváření přispěla první a především druhá světová válka, kdy bylo potřeba masivní produkce různých ocelových výrobků. [31]

V druhé polovině 20. století byly vyvinuty speciální metody svařování, jako například svařování plazmou, laserem nebo elektronovým paprskem. Poslední velkou inovací je třetí metoda promíšením, která byla vyvinuta v 90. letech minulého století. [31]

Postupně bylo vyvinuto mnoho metod svařování, z nichž řada má široké a univerzální použití, naproti tomu jiné se hodí pouze ke specifickým účelům. [31]

4 Robotické svařování

4.1 Základní popis

Robotické nebo také automatizované svařování, je proces využívající mechanické programovatelné nástroje, resp. roboty ke svaření a manipulaci se součástmi. Dnes patří mezi hlavní oblasti aplikace automatizace a robotizace. Téměř 29% průmyslové automatizace je soustředěno v oblasti svařování. [31]

Ve svých počátcích se aplikovalo do provozů, které měly velkosériovou a hromadnou výrobu. Dnes se však robotizace svařování dostává do menších provozoven s malosériovou produkcí a dokonce i s kusovou výrobou. Hlavním důvodem je zvýšení kvality a produktivity, za co možno nejmenší náklady. Dalším argumentem je také nedostatek kvalifikované lidské pracovní síly v této oblasti výroby. [7] [31]

Odhaduje se, že v roce 2020 bude v USA scházet více než 290 000 svářečů. [31]

4.2 Průmyslový robot

Označením robot se rozumí manipulační mechanismy, které vykonávají úkony blížíící se typickým úkonům člověka, a tyto úkony provádí s lidskou obratností. Dále je označení „robot“ vhodné pro manipulační mechanismy řízené počítačem. [17]

V případě svařování je *koncový efektor*, který je upravený ke svařování (svařovací hlavice) veden pomocí řídicího systému robotu v žádaném směru a danou rychlostí. [17]

4.3 Vzhled a funkční části robotu

4.3.1 Morfologie robotu

V následující kapitole budou popsány základní rysy a prvky, které jsou společné pro roboty, které využívají různé svařecí technologie.

Morfologie, neboli tvar a vzhled svařovacího robotu je ovlivněn *kinematickou strukturou* v závislosti na použitých konstrukčních prvcích.

Celý akční systém robotu je v podstatě pohybovým mechanismem, který se skládá z více binárních členů, které jsou vázány a sestaveny za sebou prostřednictvím *kinematických dvojic* (KD). Zpravidla přísluší každé z těchto kinematických dvojic pouze *jeden stupeň volnosti*, protože kinematické dvojice o více stupních volnosti, jako např. sférická KD (kloub) se těžko osazují pohony a odměřovacími zařízeními, které jsou nezbytné pro přesný provoz. [17]

Akční systém robotu se z konstrukčního hlediska rozděluje na: [17]

- pojezdové (lokomoční) ústrojí
- polohovací ústrojí
- orientační ústrojí
- výstupní hlavice (koncový efektor)

Nejčastější typ svařovacího robotu je se šesti stupni volnosti, tzn. tři rotační kinematické dvojice RRR pro polohovací ústrojí a tři rotační kinematické dvojice RR(R) pro orientační ústrojí. Hovoříme tedy o tzv. *šestiosém robotu*. [17]

Toto spojení vytváří tzv. *antropomorfický* (multiúhlový) pracovní prostor, který je velmi výhodný pro různorodou manipulaci. [17]

4.3.2 Pohonné ústrojí

V dnešní době se jako hlavní pohony jednotlivých os robotu využívají *elektrické pohony*. Ostatní typy pohonů, tj. hydraulické a pneumatické pohony se používají především pro dosažení lineárních přímočarých pohybů jednotlivých os u manipulátorů. [17]

Elektrický rotační motor přeměňuje elektrickou energii na mechanickou práci.

V současnosti se pro řízení svářecích robotů používají tzv. *elektrické servomotory*, což jsou elektrické motory s uzavřenou regulační smyčkou. Obsahují polohovou, rychlostní a proudovou zpětnou vazbu pomocí různých snímačů a senzorů, která je odesílána zpět do řídicího systému robotu a dále vyhodnocována. Tato skutečnost nám dovoluje přesné určení úhlů natočení a rychlost rotačních pohybů, čímž je splněn důležitý předpoklad pro přesnost a technologickou kvalitu svařování, resp. přesné provádění jiných úloh v robotice.

Výsledný pohyb je realizován přes nejrůznější převodové mechanismy. U šestiosých robotů jsou to především převody přes ozubené řemeny, planetové převodovky, spojení šikmých ozubených kol a pastorků a jiné další technologie. [17]

4.3.3 Senzorický systém

Každý adaptivní průmyslový robot se skládá ze tří hlavních částí: [17]

- Řídící systém
- Mechanický systém
- Senzorický systém

Svařovací roboty musí být vybaveny množstvím *senzorů*, díky nimž je možno sledovat různé parametry, které jsou pro bezproblémové řízení robotu nezbytné. [17]

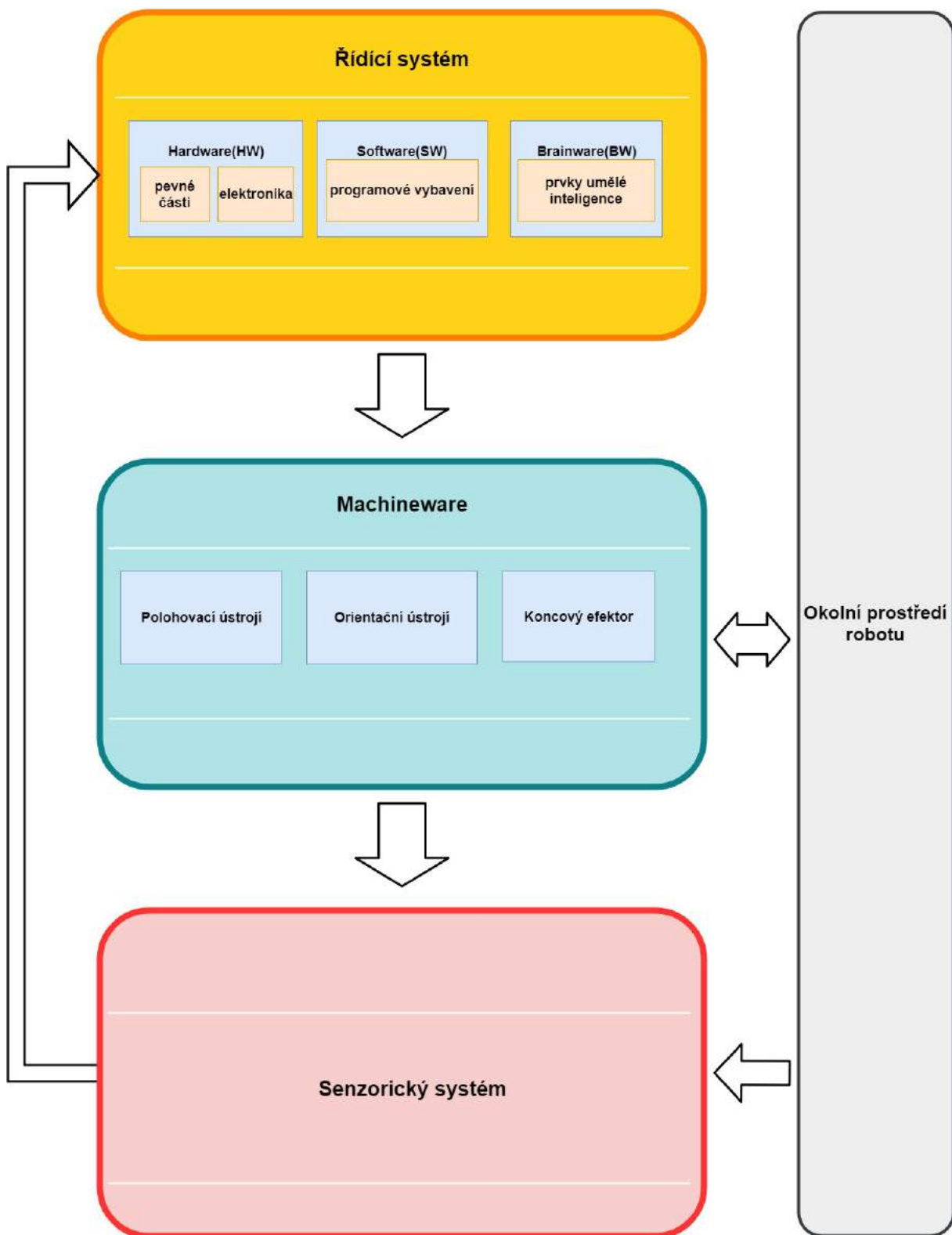
Senzory poskytují informace o sledovaných parametrech a řídicí systém poté na základě daného programu s využitím informací z jednotlivých senzorů řídí pohyby robotu. [17]

4.3.4 Koncový efektor

Koncový efektor je poslední část celkového kinematického řetězce.

Podle koncového efektoru se dá již na první pohled určit činnost robotu, kterou bude provádět, je to charakterizující prvek.

Pro každou svařovací metodu se používají jiné koncové efekторы, a proto budou zvlášť rozebrány při popisu jednotlivých technologií.

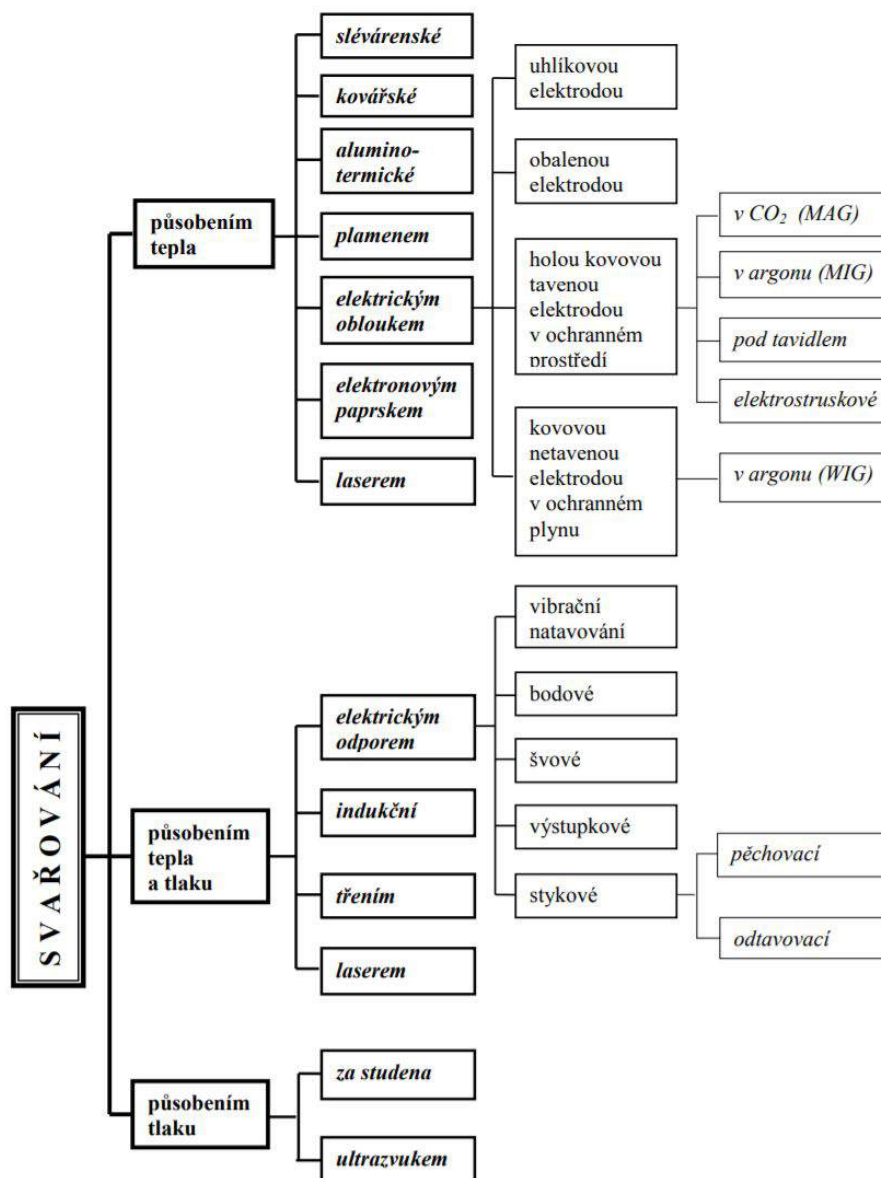


Obrázek 4.1: Schéma komunikace jednotlivých systémů robotu. Překresleno z[17]

5 Svařovací technologie používané v robotice

V současnosti se využívá velmi mnoho různých technologií svařování. Svařování můžeme rozdělit na tři základní druhy: [7]

- Působením tepla
- Působením tlaku
- Působením tepla a tlaku současně



Obrázek 5.1: Schéma rozdělení svařovacích metod [7]

V seznamu níže jsem vypsal konkrétní technologie, které se v robotice aktuálně aplikují nejvíce: [7] [1]

- MAG/MIG svařování
- Svařování elektrickým odporem
- Svařování netavící se wolframovou elektrodou v ochranné atmosféře inertního plynu
- Laserové svařování
- Svařování plazmou

5.1 Svařování působením tepla

Z různých druhů svařování pomocí tepla se v robotice nejčastěji uplatňuje svařování elektrickým obloukem (obloukové svařování), elektrickým odporem a svařování laserem. [7]

Ostatní metody se používají spíše pro ruční svařování, nebo v současné době nejsou tak rozšířené a optimalizované pro roboty. [7]

5.1.1 Svařování elektrickým obloukem

Je to nejpoužívanější metoda tavného svařování. Zdrojem tepla je elektrický oblouk, který hoří mezi elektrodou a svařovaným materiálem, případně mezi dvěma elektrodami zapojenými na vhodný elektrický zdroj. Teplem elektrického oblouku dojde k lokálnímu natavení a následnému spojení – svaření součástí. [7] [31] [42]

Tepelný výkon Q elektrického oblouku je množství tepla, které projde z oblouku do sváru. [7]

$$Q = \eta \cdot U \cdot I$$

Elektrody:

Elektrody se zpravidla dělí na dva, resp. tři druhy: [7]

- Tavné elektrody
 - Obalené
 - Holé
- Netavené elektrody

Obalená elektroda: Úkolem obalu je stabilizovat oblouk, chránit svarový kov před účinky atmosféry, zpomalit chladnutí svaru vytvořenou struskou a dodat do tavné lázně některé přídatné prvky (*Cr, Ni, Mo, W* a jiné). [7]

Obalené elektrody se v robotice nepoužívají často, jelikož kvůli neustále se odtavujícímu materiálu elektrody i jejího obalu, je nutno svářecí hlavici stále přibližovat k svařovanému objektu, tento úkon je náročný pro naplánování pohybu robotu.

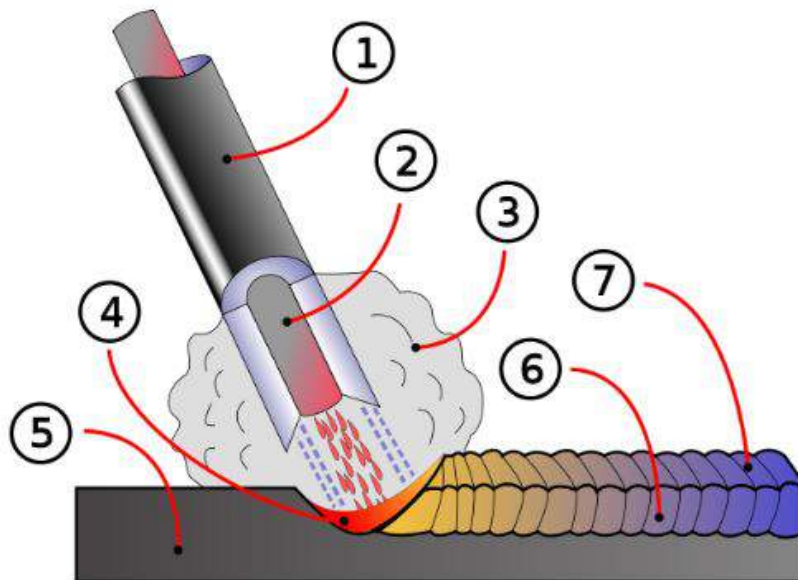


Schéma ručního obloukového svařování obalenou elektrodou:

(1) obal elektrody, (2) kovové jádro elektrody, (3) ochranná atmosféra, (4) svarová lázeň, (5) základní materiál, (6) svarový kov, (7) struska

Obrázek 5.2: Popis svařování obalenou elektrodou [22]

Holá elektroda(tavná): U tavené holé elektrody se taví pouze drát, používá se v kombinaci s ochrannou atmosférou plynu, nebo pod tavidlem. Z důvodu, že se odtavuje pouze drátek, je možné při pohybu nechat hlavici ve stále stejné vzdálenosti a do hlavice pouze posouvat nový drát pomocí externího *podavače drátu*, tento princip bude dále popsán podrobněji. [7]

Netavená elektroda: Netavená elektroda se na rozdíl od předchozích dvou netaví a pouze zprostředkovává vznik oblouku mezi ní a svařovaným materiálem. Používají se uhlíkové nebo wolframové. [7]

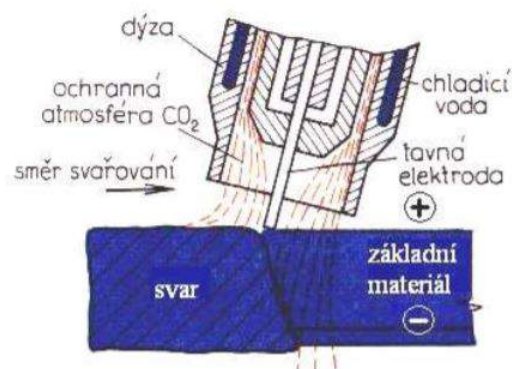
5.1.1.1 MIG/MAG svařování

MAG (Metal Active Gas) svařování, neboli svařování tavící se elektrodou v ochranné atmosféře aktivního plynu. Elektrický oblouk hoří mezi kovovou elektrodou - holým drátem a svařovaným materiálem. Drát je neustále dopravován do hlavice pomocí podavače drátu. Kolem drátu ve svařovací hubici proudí aktivní *ochranný plyn*. Používá se oxid uhličitý (CO_2) nebo kombinace CO_2 , argonu a kyslíku. Metoda MAG má velmi široké využití, pomocí ní se dají svařovat nízkolegované, legované i vysokolegované oceli. [7] [42] [29]

MIG (Metal Inert Gas) svařování se liší v tom, že místo aktivního plynu je použit plyn inertní - argon, hélium, nebo jejich směs. Plyn má opět ochranou funkci pro kvalitu sváru a stabilitu oblouku. Tímto způsobem se svařují hliníkové, titanové, měděné a další neželezné kovy. [7] [31]



(a) Koncový efektor pro MIG/MAG svařování



(b) Popis svařování metodou MIG/MAG

Obrázek 5.3: Svařování metodou MIG/MAG [7]

5.1.1.2 WIG/TIG svařování

WIG (Wolfram Inert Gas) svařování je svařování pomocí wolframové netavící se elektrody v inertním plynu. V anglosaské literatuře se používá termín TIG (Tungsten Inert Gas – tungsten je angl. název pro wolfram). Elektrický oblouk vzniká mezi netavnou wolframovou elektrodou v proudu inertního plynu - nejčastěji argonu. Do wolframové elektrody bývá také přidán zinek nebo thorium, aby se ještě více zvýšil bod tavení. U svařovací pistole je připevněn externí podavač přídavného materiálu, který nahrazuje absenci odkapávající elektrody v případě MIG/MAG svařování. [7] [42] [29]



Obrázek 5.4: Koncový efektor pro WIG svařování [33]

5.1.2 Svařování pomocí laseru

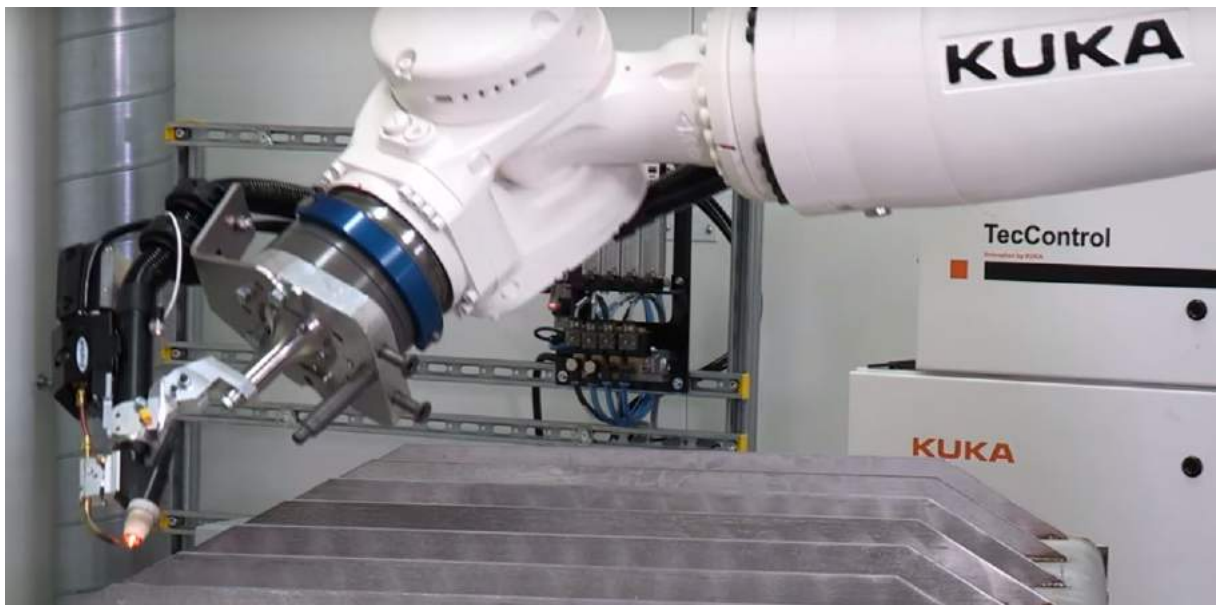
Podstatou je soustředění energie elektromagnetického záření viditelného světla na malou plochu do místa svaru. Generátorem paprsků vysoké intenzity je *laser*.

Z vysílače – xenonové výbojky a rubínového krystalu vychází mnohonásobně zesílený světelný paprsek, který je do místa svaru fokusován (koncentrován). Přeměnou energie záření na tepelnou energii se místo dopadu ohřeje na teplotu svařování – až na několik desítek tisíc °C. Svařovací parametry lze přesně nastavit. [7] [42]

Uplatňuje se hlavně při svařování malých součástí s vysokým bodem tání - dříve hlavně pouze pro vědecké účely. Dnes se využívá i průmyslově – např. při svařování dílů karoserií z tenkých plechů. Svar není prakticky okem rozpoznatelný.

K výhodám patří: [7] [42]

- Svařování neprobíhá ve vakuové komoře a lze uplatnit metodu průchozího paprsku přes stěnu
- Lze svařovat materiály, které jsou jinými způsoby nesvařitelné
- Metoda je vhodná pro svařování velmi tenkých materiálů – řádově několik mikrometrů
- Laseru lze využít pro medicínské účely a také pro dělení kovových i nekovových materiálů



Obrázek 5.5: Ukázka svařování pomocí laseru [19]

5.1.3 Svařování pomocí plazmatu

Zdrojem tepla pro natavení vzájemně spojovaných součástí je úzký svazek vysokotlakého plazma o teplotě řádově 10^4 °C vystupující nadzvukovou rychlostí z trysky plazmového hořáku. Plazmový oblouk je stabilní a mimořádně dlouhý (až 300 mm), úzký, takže svařová lázeň je malá. Jako plazmový plyn se pro ocel používá čistý dusík, pro neželezné kovy argon a vodík. Plazmový hořák je chlazen vodou. Svařování se provádí střídavým i stejnosměrným proudem. Svařovat lze všechny druhy materiálů, které se jinak běžně svařují metodou WIG. Do tloušťky 12mm je však možno svařovat materiály bez úkosů a bez přídavného materiálu. Při větších tloušťkách nutno provést minimální zkosení. [7]

5.2 Svařování pomocí tepla a tlaku

5.2.1 Svařování elektrickým odporem

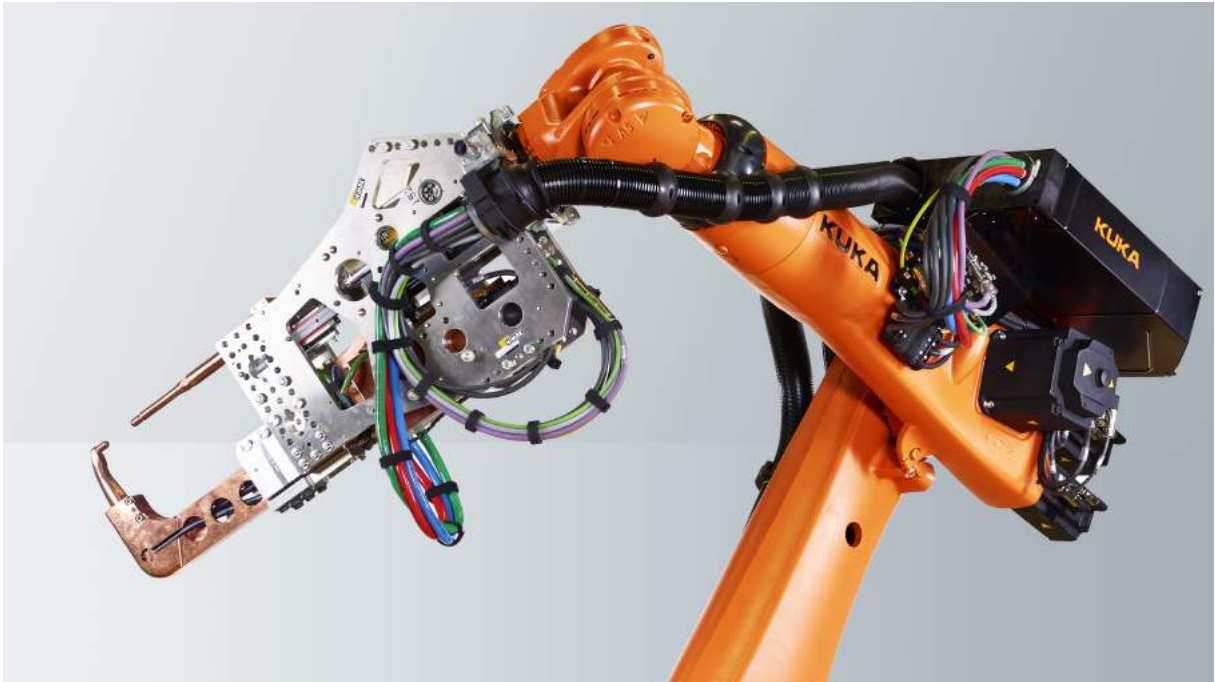
Svařovanými díly protéká elektrický proud, přičemž v místě spoje je největší *přechodový odpor*. Materiál se zde zahřeje na teplotu svařování a tlakem se spojí – svaří. Teplo Q , které vzniká je dáno Joulovým zákonem: [7] [42]

$$Q = I^2 \cdot R \cdot t$$

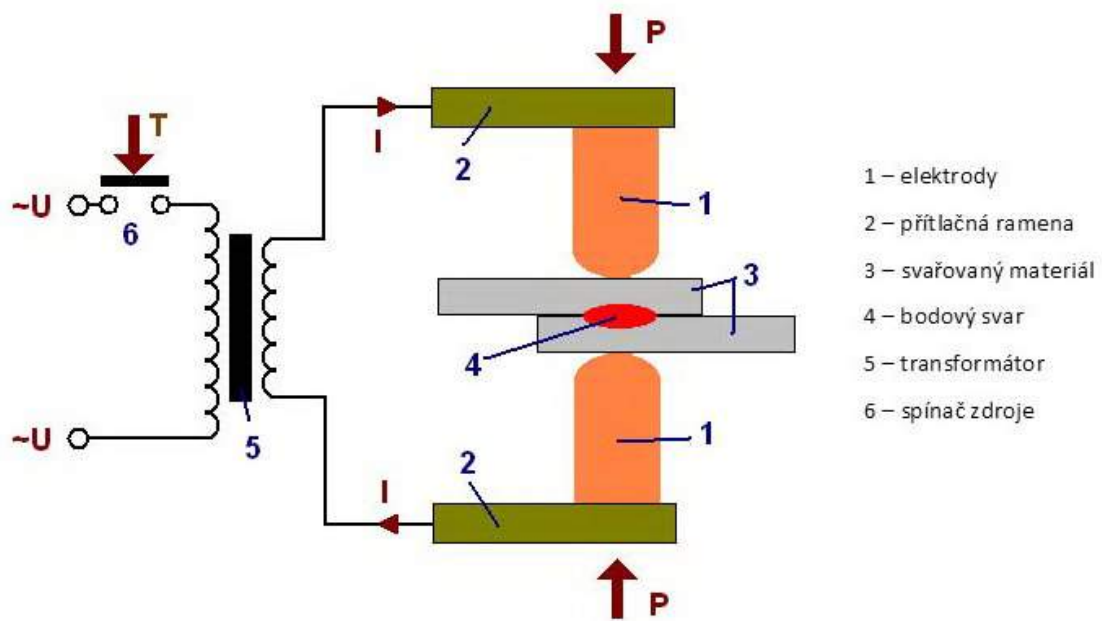
Vzhledem k nízkým hodnotám pracovního napětí (0,5 až 20 V) se musí použít vysokých proudů řádově 10^5 A. Potřebné teplo se získá u moderních svařovacích přístrojů tvrdým režimem – působením vysokých proudů v krátkém čase. Druhou možností je měkký režim – působením nižších proudů po delší dobu, který je méně častý. [7] [31] [42]

Svařování elektrickým odporem se používá v kusové i sériové výrobě, neboť lze tuto metodu snadno mechanizovat a automatizovat. Každá odporová svářečka má dvě části – mechanickou a elektrickou. Mechanická část je tvořena *upínacím a přitlačovacím zařízením*, a elektrická část je tvořena svařovacím *transformátorem*, který zabezpečuje ohřev materiálu na teplotu svařování. Nejprve dojde k sevření svařovaných dílů dosedacím tlakem, potom se do elektrod vpustí krátkodobě svařovací proud. Po natavení se nejprve přeruší přívod svařovacího proudu a teprve potom přestane působit dosedací tlak, čímž vznikne kvalitní svarový spoj. Podle získaného druhu spoje může být svařování odporem: [7] [31] [42]

- Stykové - na tupo
- Bodové, švové a výstupkové



Obrázek 5.6: Kleště pro odporové svařování [18]



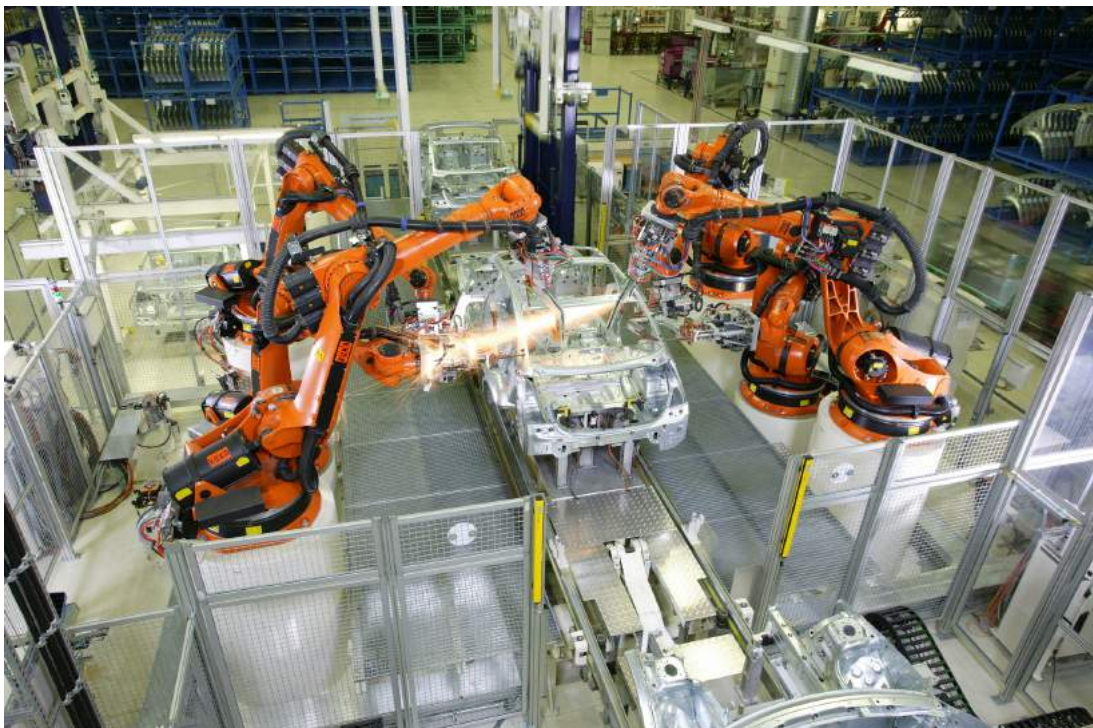
Obrázek 5.7: Schéma odporového svařování [10]

6 Robotická technologická pracoviště pro svařování

Aby mohl jakýkoliv průmyslový robot využít svůj plný potenciál, je nutné ho zařadit do *výrobního systému*, ve kterém bude předem vyřešena optimální volba samotného robotu, ale také návrh celkového výrobního procesu.

V současném stavu automatizace v dnešním světě rozčleňujeme *robotická technologická pracoviště* (RTP) jako jednotlivé prvky výrobního systému. Toto rozdělení nám umožňuje vrstvit jednotlivé prvky na sebe, a tak vytvářet kompletní výrobní strukturu. Rozlišujeme těchto několik stavebních struktur: [17]

- Robotizovaný modul
- Robotizovaná buňka
- Skupina robotizovaných buněk
- Pružný robotizovaný systém
- Robotizovaná linka
- Robotizovaný provoz
- Robotizovaný závod



Obrázek 6.1: Robotizovaná linka v automobilové výrobě [34]

6.1 Robotizovaný modul

Robotizovaný modul je *základní provozní jednotkou*, která je schopna samostatné automatizované funkce, a zároveň je stavebním prvkem pro výstavbu vyšších úrovní seskupení. Robotizovaný modul je charakteristický tím, že zajišťuje tři hlavní skupiny operací bez zásahu člověka: [17]

- Technologický proces - uskutečňuje se na automatických, nebo automatizovaných strojích. Případně je technologický proces uskutečňovaný robotem, který se označuje jako technologický robot (svařování, povrchové úpravy apod.)
- Manipulační operace - zajišťují přísun materiálů a polotovarů k technologické operaci, odebírání součástí z dopravníků a ze zásobníků, vkládání do strojů a vyjímání z nich atd.
- Řízení veškerých funkcí robotizovaného modulu - výrobních, manipulačních, kontrolních, včetně vazeb na prostředí, ve kterém je modul realizován

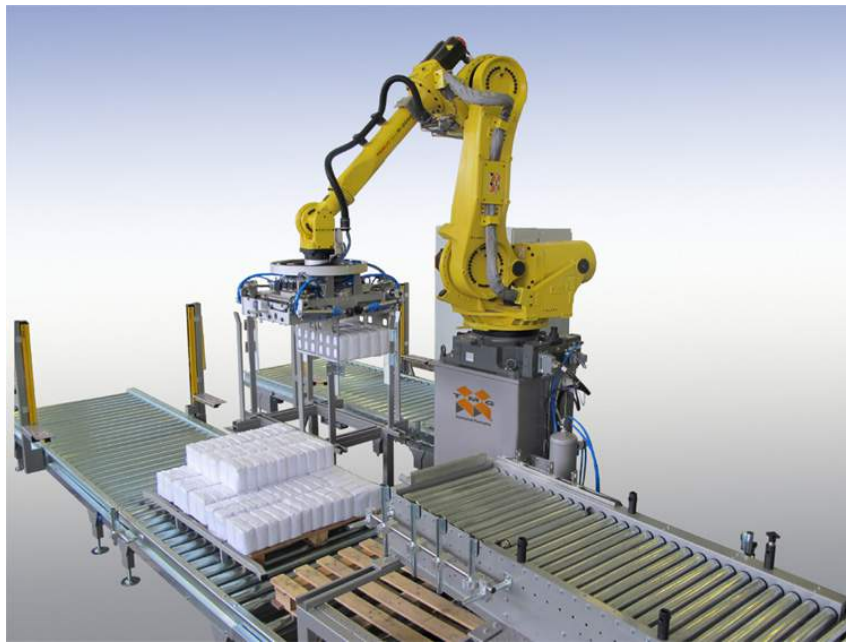


Obrázek 6.2: Příklad robotizovaného modulu [14]

6.2 Robotizovaná buňka

Robotizovaná buňka vzniká, pokud se zvýší počet technologických pracovišť, počet výrobních strojů v modulu, případně seskupením více modulů do jednoho celku a integrací činností na jednom robotu. [17]

V následujících podkapitolách budou představeny charakteristické a nezbytné periferie, vybavení buňky kromě vlastního robotu, které se používají v robotických svařovacích technologiích.



Obrázek 6.3: Příklad uspořádání logistiky v robotizované buňce 1 [13]



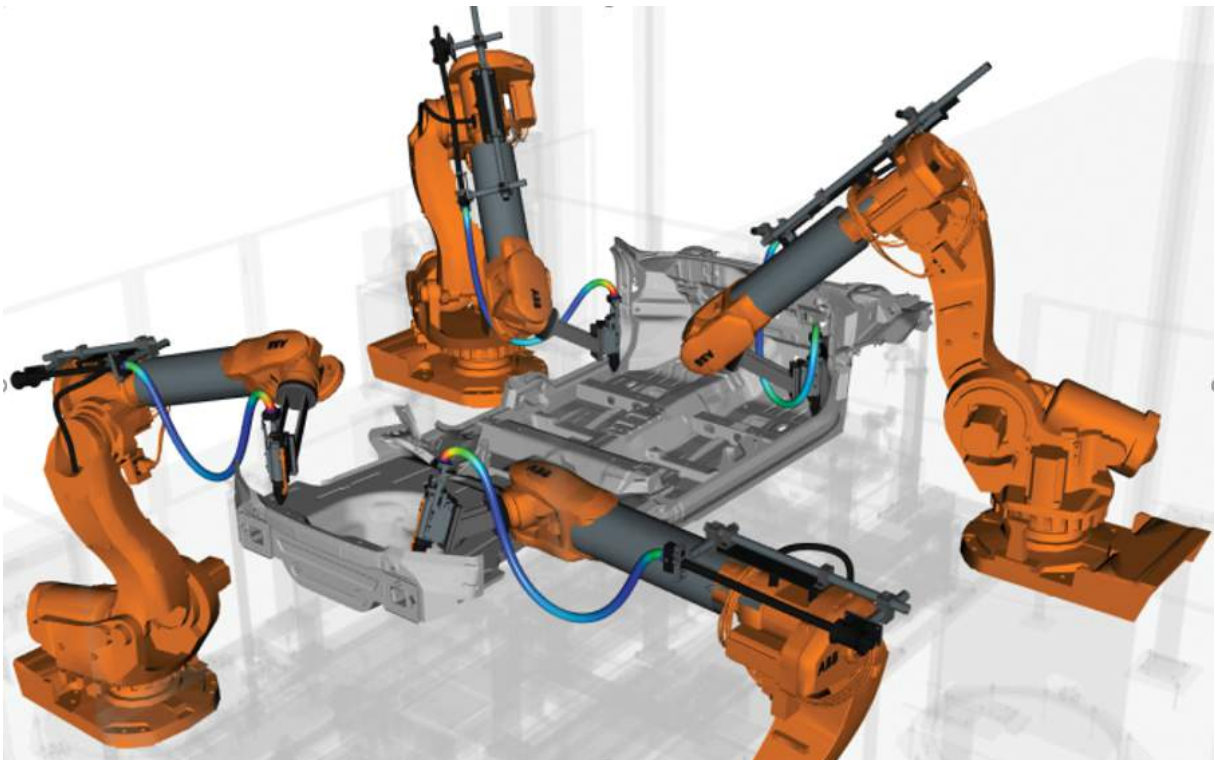
Obrázek 6.4: Příklad uspořádání logistiky v robotizované buňce 2 [13]

6.2.1 Vlastní svařovací robot

Jak již bylo v mojí práci zmíněno v kapitole 4, pro většinu svařovacích metod se využívají šestiosé roboty, obecně však platí, že robot musí mít alespoň 5 stupňů volnosti. Umístění robotu může být *stojanové*, nebo *zavěšené na konstrukci* (např. portálové), kde může být vedle sebe zavěšeno několik robotů. [17]

Zde jsou pro představu parametry robotu určeného pro bodové svařování: [17]

- minimální nosnost 0,4 až 0,5 kN
- velikost průmětu pracovního prostoru v rozmezí 8 až 13 m²
- rozsah zatížení zápěstí kroučícím momentem 120 až 140 Nm
- maximální rychlost pohybů v jednotlivých osách:
 - translační v rozmezí 0,5 až 1,5 m/s
 - rotační v rozmezí 60 až 215 °/s
- způsob řízení se používá PTP (point to point) i CP (continuous path), podle požadavků uživatele
- přesnost bodového svařování $\pm 0,1$ až $\pm 0,5$ mm



Obrázek 6.5: Kolaborace více robotů na jednom výrobku [15]

6.2.2 Svařovací agregát

Svařovací zdroj nebo *svařovací agregát* (slangově *svářečka*) je elektrické zařízení používané pro generování svařovacího proudu při svařování metodami obloukového svařování nebo při odporovém svařování. Svařovací zdroj musí splnit celou řadu požadavků vyžadovaných pro bezproblémové svařování jako je *regulace* elektrického napětí a elektrického proudu, odolnost při vzniku krátkodobých zkratů, zapálení a stabilní hoření elektrického oblouku, stálost výkonu a dostatečná účinnost i zatěžovatel. Svařovací zdroje mohou dodávat stejnosměrný proud (svařovací dynamo), usměrněný proud (svařovací usměrňovače a invertory), střídavý proud (svařovací transformátory). [11] [36]



Obrázek 6.6: Svařovací zdroje a ochranný plyn zpoza robotické buňky



Obrázek 6.7: Svařovací zdroj připojený k robotu [37]

6.2.2.1 Svařovací rotační dynamo

Může být poháněno buď elektrickým nebo spalovacím motorem, který s dynamem tvoří jeden celek, tzv. svařovací agregát. Svařovací dynamo disponuje strmou statickou charakteristikou a je tedy vhodné pro svařování obalenou elektrodou nebo svařování TIG případně MIG/MAG. Svařovací proud se indukuje ve vodičích kotvy rotoru, které se otáčejí v elektromagnetickém poli statorového vinutí. Regulace svařovacího proudu je možná plynulá a dosahuje se změnou buzení magnetického pole statoru. Mezi nevýhody patří velká hmotnost, hluchost, vysoká spotřeba elektrické energie a s tím spojená nízká efektivita. Naopak výhodou je vyšší hodnota zatěživatele. [11] [36]

6.2.2.2 Svařovací transformátor

Generuje jednofázový střídavý elektrický proud, sestává z jádra tvořeného křemíkem legovanými ocelovými plechy ve tvaru rámu, primární a sekundární cívkou. Vinutí cívek je vyrobeno z měděných nebo hliníkových vodičů. Transformátor je napájen střídavým proudem, který protéká vinutím primární cívky a indukuje střídavé elektromagnetické pole. Elektromagnetickou indukci vzniká ve vinutí sekundární cívky střídavé napětí. Po zapálení elektrického oblouku při svařování vznikne uzavřením svařovacího obvodu střídavý svařovací proud. Svařovací transformátory disponují polostrmou statickou charakteristikou a jsou vhodné pro ruční svařování obalenou elektrodou, případně pro TIG svařování, pro kterou je vhodný zdroj vysokonapěťových impulsů – vysokofrekvenční ionizátor. Svařovací transformátory mají nižší spotřebu, ale také nižší hodnotu zatěživatele. [11] [36]

6.2.2.3 Svařovací usměrňovač

Svařovací usměrňovač vytváří stejnosměrný, resp. usměrněný proud, skládá se ze síťového transformátoru a usměrňovacích prvků v sekundárním obvodu transformátoru. Usměrňovacími prvky jsou polovodičové křemíkové diody nebo tyristory. Použitím transformátoru, který může být jak jednofázový, tak i třífázový, lze měnit výstupní proud jak na střídavý, tak i na usměrněný. Svařovací usměrňovače mají nižší spotřebu v porovnání se svařovacími dynamy, vyšší účinnost až 80% [11] [36]

6.2.2.4 Svařovací invertor

Je moderní svařovací zdroj využívaný zejména v průmyslové výrobě. Jsou to zdroje řízené výkonovými tranzistory, které pracují na základě středofrekvenčních měničů s frekvencemi od 20 do 100 kHz. Díky jejich uspořádání, které vede na vyšší pracovní frekvenci, dosahují transformátory menších rozměrů a hmotnosti. Účinnost se pohybuje okolo 90%. Vysoká frekvence se dosahuje z usměrněného střídavého proudu. Tyto zdroje mají vlastní centrální řídicí jednotku. [11] [36]

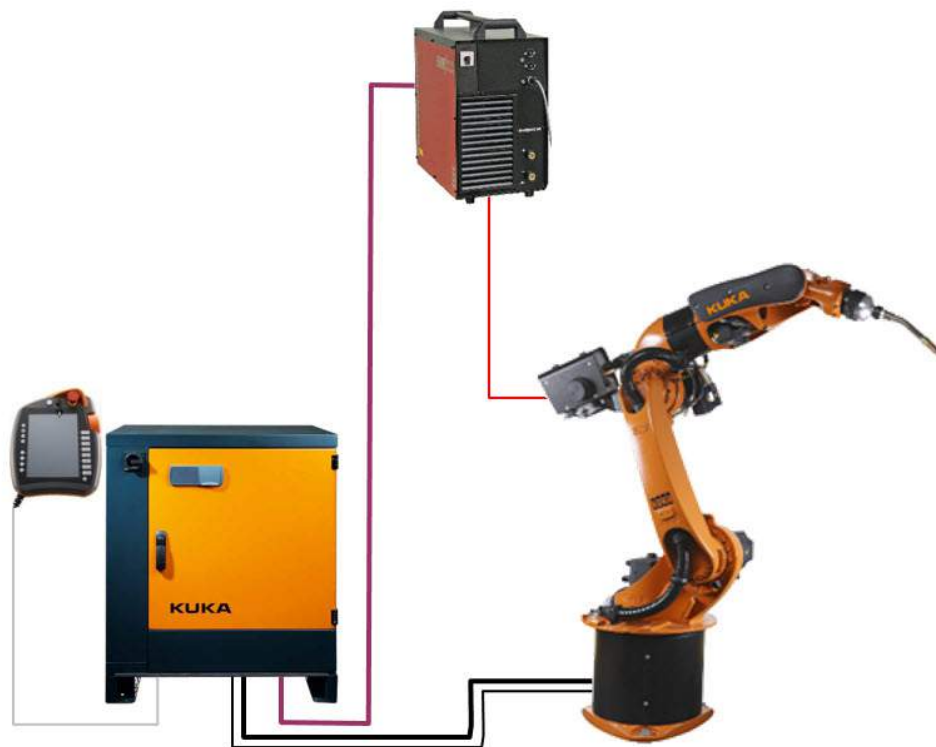
6.2.3 Podavač drátu

Podavač drátu slouží pro dopravení *přídavného materiálu* do svaru. Tímto systémem je možné vytvářet specifické svary, které vyžadují různou tloušťku a druh materiálu, který je do svarové lázně přidáván. Většinou bývá zařízení pro podavač drátu upevněno na robotu, odděleno od vlastního svařovacího agregátu. [17] [29] [20] Je nutné zajistit propojení mezi podavačem drátu, svařovacím agregátem a *centrálním ovládacím systémem robotu*.



(a) Pohled na zakrytovanou část podavače (b) Pohled na mechanismus podavače

Obrázek 6.8: Podavač drátu [6]



Obrázek 6.9: Schéma komunikace mezi jednotlivými komponentami robotu [20]



Obrázek 6.10: Zásobníky na přídatný drát s vývodem do svařovací buňky

Používají se dva druhy podavačů drátu: [29] [20]

- Elektrodový podavač drátu - Používá se u svařování MIG/MAG. Dopravovaný drát je zároveň jednou z elektrod, je tedy součástí obvodu (elektrického oblouku), a současně je natavován a rozpouštěn do svarové lázně - tavná elektroda.
- Druhým typem je takzvaný "Podavač studeného drátu". Tento druh je aplikován u svařování metodou TIG - tedy přídatný drát není součástí obvodu, netaví se elektrickým obloukem, ale je rozpouštěn samotným teplem ve svařovací lázni. Drát tedy v tomto případě slouží jen jako přídatný materiál.

6.2.4 Otočný stůl a přípravek pro uchycení

Otočné stoly jsou rotační zařízení sloužící k přesnému polohování jedné nebo více součástí vzhledem k navazujícím mechanismům (průmyslový robot, jednoúčelový manipulátor

atd.). Polohování může být realizováno servomotorem – pro přesné polohování s proměnnou charakteristikou, elektromotorem s vačkovým mechanismem – je-li požadován vratný nebo krokovaný pohyb stolu). Při nenáročných operacích postačí aplikace kyvného nebo rotačního pneumotoru, hyromotoru atd. Pro vysokou přesnost lze aplikovat různé aretační a centrační prvky, které zajistí požadovanou přesnost při zachování rozumných nákladů. [17] [29]

Otočné stoly obsahují různé *upevňovací prvky*, mohou to být *kleštinové upínáky*, které jsou manuální nebo automaticky řízené, ale také například *magnetické upínání* polotovaru na plochu stolu. [17]



Obrázek 6.11: Otočný stůl s magnetickým upínačem [23]

Celý systém polohování je možný zautomatizovat a napojit na centrální řídicí jednotku buňky. V posledních letech je stále častější aplikace sekundárního robota, který slouží pro polohování a uchopení svařovaného dílce a primární robot provádí svařovací proces. [17] [29]

Běžně se také využívá toho, že primární robot svařuje již upevněný přípravek, sekundární robot mezitím provádí odebrání hotového svařence a poté upevnění nového polotovaru. Pro tuto manipulaci jsou typické tyto *sekvenční stoly*: [17] [29]



Obrázek 6.12: Sekvenční otočný stůl s kleštinovým upínáním

6.2.5 Dopravník polotovarů

Dopravní zařízení neboli *dopravníky* představují nejužívanější typ periferie napříč všemi technologickými pracovišti robotů. Zajišťují tok materiálu (polotovarů, obrobků, nástrojů, odpadu atd.) požadovaným směrem a rychlostí. Tvoří tedy důležitý spoj mezi jednotlivými pracovišti v celém závodě. Dopravníky je možné rovněž ovládat a programovat skrz centrální ovládací jednotku. Lze uvést několik běžných typů dopravníků: [17]

- Pásové
- Článekové
- Šnekové
- Válečkové
- Elevátory

6.2.5.1 Pásové dopravníky

Jsou to nejtypičtější představitelé této skupiny periférií. Mimo přepravu kusového materiálu, který je využíván ve svařovací robotice, mohou přepravovat také materiál sypký. Nejčastěji se používají pryžové nebo PVC dopravníky pro provozní teploty až do 180 °C, což je v našem případě velmi vhodné, protože teploty svařenců mohou lokálně dosahovat velmi vysokých hodnot. [17]



Obrázek 6.13: Pásový dopravník [21]

6.2.5.2 Válečkové tratě

Druhým, velmi využívaným způsobem jsou tzv. válečkové tratě. Jejich obrovskou výhodou je to, že je můžeme téměř libovolně zatáčet a vést, a tak využívat maximum provozní plochy. Můžeme je rozdělit na poháněné a nepoháněné. U poháněných se používá některý z běžných druhů pohonů (elektrický, pneumatický atd.) a podle potřeby se nahání všechny válečky nebo část z nich. U nepoháněných tratí pohyb realizují gravitační síly při sklonu, nebo pohyb započne obsluha tratě. Válečkové tratě jsou výhodné pro přepravu těžkých a rozměrných předmětů, nebo je možné předměty prvně rozdělit do přepravek podle daného kritéria, a pak posílat na další stanoviště. [17]



Obrázek 6.14: Válečková trať [40]

6.2.6 Bezpečnostní senzory a ochranné prvky pro obsluhu

Bezpečný provoz je naprostou prioritou v dnešním průmyslu. Je nutné klást nejpřísnější požadavky na *bezpečnost lidské obsluhy*, zejména jedná-li se o těžký provoz, jakým je robotické svařování. Přestože je snaha co nejvíce tyto provozy automatizovat, v určitých případech se nevyhneme situacím, ve kterých se v pracovních buňkách vyskytuje člověk. Nedůslednost v těchto ohledech může mít zcela *fatální následky*.

Robotickou buňku je tedy třeba vybavit množstvím senzorů a prvků, které zabrání kolizi stroje s člověkem, ale také stroje s pracovním prostředím. Tyto prvky rozdělujeme na dvě skupiny: [41]

- Vlastní senzory robotu
- Ochranné senzory a prvky robotické buňky

6.2.6.1 Vlastní senzory robotu

Mají na starost správný pracovní proces robotu. Do této skupiny patří jak *prvozní*, tak *bezpečnostní* senzory. Provozní senzory odesílají informace, jako přívod pracovního plynu, rychlost podávání přídatného drátu a jiné, do řídicí jednotky, kde jsou následně dále vyhodnocovány. [17] [31]

Bezpečnostní senzory odesílají do řídicí jednotky informace o pohybu robotu a jeho interakci s okolím. Jestliže je zaznamenán nežádoucí nebo neplánovaný kontakt s okolím, je odeslán okamžitý impulz a robot je zastaven. Typické jsou různé tlakové senzory a v dnešní moderní robotice jsou hojně využívány také *kamery a kamerové systémy*, které rovněž reagují na kontakt s okolím robotu. [17] [31] [41]

6.2.6.2 Ochranná klec

Ochranná klec nebo ochranný plot je základní a nejjednodušší prvek. Jednoznačně definuje a ohrazuje prostor celé pracovní buňky, s výjimkou prostoru určeného pro vstup obsluhy a logistických otvorů pro dopravníky nebo další zařízení. Na ochranném plotě bývá umístěn signalizační panel, který informuje obsluhu o tom, zda je buňka právě v provozu, či nikoli. [17] [41]



Obrázek 6.15: Ochranná klec [12]

6.2.6.3 Světelné závory

Bezpečnostní laserové závory se umísťují tam, kam za provozu nemá být umožněn vstup osobám, či předmětům do robotické buňky. Závora je tvořena dvěma proti sobě stojícími *panely*, které mezi sebou vytvoří několik *světelných paprsků* o různé vzájemné rozteči. Při jejich průtnutí je odeslán příkaz pro zastavení činnosti v buňce. [41]

Podle normy *ČSN EN ISO 13855* je definována tzv. bezpečná vzdálenost (safety distance), což je minimální vzdálenost od paprsků závory k nebezpečnému prostoru.[17]

$$S = (K * T) + C$$



Obrázek 6.16: Světelná závora [9]



Obrázek 6.17: Detail na jeden panel světelné závory

6.2.6.4 Bezpečnostní laserový skener

Bezpečnostní laserový skener se používá k *detekci pohybu* v daném chráněném prostoru. Bývá umístěn 300 mm nad podlahou. Princip spočívá v tom, že je ze skeneru vyslán *infračervený paprsek*, který se odráží od otočných zrcadel a vytváří tak vymezující prostor. Při přerušení a vychýlení paprsku cizím objektem je paprsek vyhodnocen a dále zpracován pro povel k zastavení činnosti. [17]



Obrázek 6.18: Bezpečnostní laserový skener [8]

6.2.6.5 Nášlapná rohož

Slouží k zabezpečení větších ploch kolem nebezpečného pracoviště. Rohož pracuje tak, že se pod tíhou prohne její horní vrstva a dostane se do kontaktu se spodní vrstvou, při jejich doteku je vyslán impuls do řídicí jednotky buňky. Horní vrstva bývá navíc ošetřena protiskluzovým povrchem, aby obsluha na rohoži neuklouzla. [17]

6.2.7 Odsávací zařízení

Odsávací zařízení má za úkol udržovat dlouhodobě zdraví zaměstnanců *filtrací škodlivin*, bezproblémový chod buňky ve smyslu zabránění pronikání mikročástic do mechanismů strojů a také celkovou kvalitu ovzduší v celém výrobním závodě.

Základním principem je odsávat vzduch, který obsahuje v našem případě výpary ze svařování, jiskry, škodlivé chemické sloučeniny a další vysoce nebezpečné a zdraví ohrožující částice. Vzduch je pomocí *ventilátoru napojeného na elektromotor* odsáván v nejbližší možné blízkosti pracovního úkonu a přes systém potrubí je dopraven k *filtračním patronám*, které jsou schopné zachytit částice o velikostech v řádech mikrometrů. Takto ošetřený vzduch je buď hnán zpět do výroby, nebo je hnán mimo budovu.

Filtrační zařízení jsou používány v obrovské škále průmyslových procesů, konkrétně u svařovacích operací se doplňuje o takzvaný lapač jisker, což je zařízení pracující na principu odstředění jisker v určitém místě potrubí a jejich následném odklonění na kovové stěny potrubí. Jiskry potom nezpůsobují poškození filtračních patron.



Obrázek 6.19: Filtrační zařízení s připojeným potrubím



Obrázek 6.20: Odsávací hlavice nad svařovací buňkou



Obrázek 6.21: Štítek s provozními hodnotami

6.2.8 Řídící jednotka pro buňku

Řídící jednotka (anglicky: "Industrial robot controller-IRC") je *mozkem celé robotické buňky*. Jejím primárním úkolem je zprostředkovat spojení mezi obsluhou robotu a robotem samotným. Toto spojení je realizováno tak, že programátor vytvoří *počítačový program* v požadovaném programovacím jazyce, respektive je tento program vygenerován podle simulace vytvořené v příslušné návrhové aplikaci, která slouží pro *vizualizaci procesu*, jenž bude robot vykonávat. Program je v podstatě sada instrukcí, tyto příkazy jsou v řídicí jednotce čteny a následně překládány do elektrických impulsů, které jsou odesílány do příslušných elektromotorů jednotlivých ramen a do dalších periférií v buňce. Jednotka je vybavena stovkami parametrů, které mají za úkol kontrolovat správnost instrukcí v programu a zabránit tak chybám v chodu. [29] [39] [43]

Kromě vytvoření programu v externím počítači může být k programování použit také tzv. *pendant*, který si můžeme představit jako tablet s dotykovým displejem. Tento přístroj bývá spojen s řídicí jednotkou přes kabely nebo spolu komunikují přes wi-fi, respektive bluetooth rozhraní. Obsluha tedy může vytvářet pohybové instrukce přímo na pracovišti vedle robotu a vidět jeho pohyb v *reálném čase*. [20] [39]

Všechny další periferie, které byly v práci jmenovány, jsou napojeny na řídicí jednotku. Veškeré spojení je tedy vždy realizováno přes tento *centrální uzel*. Některé periferie se neobejdou bez spojení pomocí kabeláže, především kvůli rychlosti přenosu elektrických signálů, ale spolu s neustálým technologickým vývojem je pro komunikaci stále více využíváno bezdrátové rozhraní. [17]

Obecně je doporučováno volit stejného výrobce pro robot a řídicí jednotku, tak pro další zařízení, jenž tvoří naši buňku, nicméně existují různé externí moduly a přípojnice, se kterými není problém poskládat buňku s komponenty od různých značek.



Obrázek 6.22: Řídící jednotka s přiloženým pendantem [16]

7 Příklady výrobků automatizovaného svařování

Svařovací roboti dnes nachází velice široké uplatnění prakticky ve všech průmyslových odvětvích, ve kterých se nějakým způsobem spojují kovové části ve větší celek.

7.1 Automobilní průmysl

Největším odběratelem svařovacích robotů je v současné době *automobilní průmysl*. Automatizovaná linka je nyní schopna poskládat a svařit kompletně celou karoserii, popřípadě celý automobil s využitím dalších *robotů manipulátorů*. Jsou však výrobní společnosti, které dodávají menší již svařené dílce pro konkrétní modely automobilů a exportují je dále do výrobních závodů jednotlivých značek. [29]



Obrázek 7.1: Svařence zadní části nápravy vozidla



Obrázek 7.2: Svařenec upevněný v otočném stole



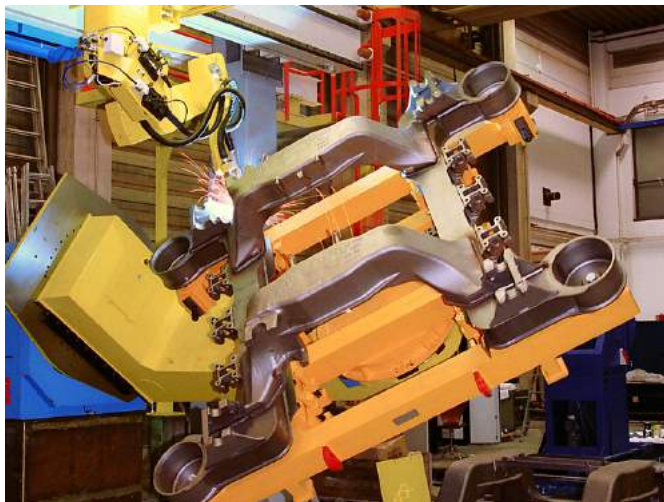
Obrázek 7.3: Čepy předního kola automobilu

7.2 Letectví

Dalším velice podstatným segmentem ve svařovací robotice je *letecký průmysl*. U všech typů letadel je kladen extrémní důraz na bezpečnost a bezchybnost jakéhokoliv konstrukčního prvku, protože selhání může mít fatální následky. U svařovacích robotů je jejich výhodou možnost provést velkou sérii svarů, které budou mít vysokou kvalitu v *celé délce trupu* letadla. [29]

7.3 Železniční produkce

Svařování *kolejnic* do větších celků je pro svařovací roboty typické, využívá se zde opět jejich možnosti vést souvislé a kvalitní dlouhé svary. Svařovací roboty jsou také hojně využívány k svařování nejrůznějších konstrukcí lokomotiv a vagónů.[30]



Obrázek 7.4: Část podvozku vlaku [30]

7.4 Ostatní odvětví

Dalšími spotřebními výrobky jsou například rámy jízdních kol, nejrůznější komponenty v dopravní technice, svařence konstrukcí jeřábů a jiných stavebních strojů, tepelná zařízení, jako například kotle. Velké procento zaujímají také stavební zakázky, jako například mosty, lešení a další konstrukce.



Obrázek 7.5: Svařování rámu kola [38]

8 Průzkum současného trhu se svařovacími agregáty

Do této části práce je zařazena aktuální nabídka prodejců svařovacích agregátů – svařovací zdroje a podavače drátů. Jsou vybrány agregáty, které jsou dostupné pro evropský trh a tím pádem je lze bez problému připojit k elektrické soustavě používané v České republice.

8.1 Svařovací zdroje

Prvně budou uvedeny vybrané svařovací zdroje, rozdělení bude podle použité svařovací technologie, které jsou již ve této práci zmíněny v kapitole 5. Některé z uvedených svařovacích zdrojů jsou určeny pro více než jednu technologii. K vybraným technologiím jsou uvedeni vždy alespoň dva zástupci. Někteří výrobci uvádějí přímo doporučenou maloobchodní cenu, u jiných není cena uvedena, ale tito výrobci mají přímo zastoupení v Česku, takže je možná poptávka.

8.1.1 MIG/MAG svařování

POWER WAVE R450 CE ROBOTIC POWER SOURCE

Výrobce	Lincoln Electric [USA]
Modelové/Katalogové označení	K3455-1
Parametry:	Hodnoty:
Vstupní napětí	208/230/380-415/460/575 V
Frekvence napětí	50/60 Hz
Rozsah výstupního napětí	10-50 V
Rozsah výstupního proudu	5-550 A
Jmenovitý výstup	550 A, 41.5 V, 40% / 450 A, 36.5 V, 100%
Operační teplota	-20...+50 °C
Rozměry	571 mm x 355 mm x 630 mm
Hmotnost	69,85 kg
Cena	\$15 468

Tabulka 8.1: Tabulka parametrů zdroje POWER WAVE R450 CE [26]



Obrázek 8.1: Zdroj POWER WAVE R450 CE [26]

KempArc Pulse

Výrobce	KEMPPI [FIN]
Modelové/Katalogové označení	KempArc Pulse 450 Power source
Parametry:	Hodnoty:
Vstupní napětí	400 V
Frekvence napětí	50/60 Hz
Rozsah výstupního napětí	10-50 V
Rozsah výstupního proudu	5-450 A
Jmenovitý výstup	450 A, 50 V, 60%
Operační teplota	-20...+40 °C
Rozměry	590 mm × 230 mm × 430 mm
Hmotnost	37 kg
Cena	neuveďeno

Tabulka 8.2: Tabulka parametrů zdroje KempArc Pulse [28]



Obrázek 8.2: Zdroj KempArc Pulse [28]

ESAB ORIGO MIG

Výrobce	ESAB [SWE]
Modelové/Katalogové označení	ORIGO MIG 6502C
Parametry:	Hodnoty:
Vstupní napětí	230/400-415/440-460/500 V
Frekvence napětí	50/60 Hz
Rozsah výstupního napětí	10-44 V
Rozsah výstupního proudu	5-103 A
Jmenovitý výstup	103 A, 44 V, 60% / 80 A, 39 V, 100%
Operační teplota	-10...+40 °C
Rozměry	830 mm × 640 mm × 835 mm
Hmotnost	222 kg
Cena	neuveďeno

Tabulka 8.3: Tabulka parametrů zdroje ESAB ORIGO MIG [3]



Obrázek 8.3: Zdroj ESAB ORIGO MIG [3]

Vyhodnocení:

První dva zmíněné zdroje jsou si velmi podobné ve svých charakteristických parametrech. Zdroj od firmy Lincoln Electric může poskytnout o 100 A vyšší svařovací proud a je schopen pracovat při vyšší teplotě okolí, na druhou stranu zdroj firmy Kemppi je menších rozměrů a tím pádem velmi lehký, mohl by se využít i na mobilních pracovištích.

Poslední zdroj je robustnější, velmi těžký, ale dovoluje použití při specifitějších procesech.

8.1.2 TIG svařování

POWER WAVE S700 ADVANCED PROCESS WELDER

Výrobce	Lincoln Electric [USA]
Modelové/Katalogové označení	K3279-1
Parametry:	Hodnoty:
Vstupní napětí	380/400-415/460/575 V
Frekvence napětí	50/60 Hz
Rozsah výstupního napětí	10-44 V
Rozsah výstupního proudu	20-900 A
Jmenovitý výstup	900 A, 44 V, 60% / 700 A, 44 V, 100%
Operační teplota	-20...+50 °C
Rozměry	765 mm × 485 mm × 932 mm
Hmotnost	167,83 kg
Cena	\$12 477

Tabulka 8.4: Tabulka parametrů zdroje POWER WAVE S700 [27]



Obrázek 8.4: Zdroj POWER WAVE S700 [27]

MIGATRONIC ROBO

Výrobce	Migatronic [DEN]
Modelové/Katalogové označení	PI 500 ROBO AC/DC W
Parametry:	Hodnoty:
Vstupní napětí	400 V
Frekvence napětí	60 Hz
Rozsah výstupního napětí	10-35 V
Rozsah výstupního proudu	5-500 A
Jmenovitý výstup	500 A, 30 V, 60% / 475 A, 30 V, 100%
Operační teplota	-10...+40 °C
Rozměry	980 mm × 545 mm × 1080 mm
Hmotnost	77 kg
Cena	neuveďeno

Tabulka 8.5: Tabulka parametrů zdroje MIGATRONIC ROBO [24]



Obrázek 8.5: Zdroj MIGATRONIC ROBO [24]

Vyhodnocení:

V kategorii TIG svařování jsem uvedl dva zdroje. První zmíněný zdroj je opět od firmy Lincoln Electric, tento zdroj je robustní a umožňuje také další svařovací operace, jako je MIG/MAG a další, jeho prioritou je však TIG svařování. Nabízí velký rozsah výstupního proudu, a proto bych ho navrhl do provozu s různými svařovacími postupy.

Naproti tomu zdroj od firmy Migatronic je kompaktnější, umožňuje pouze svařování metodou TIG, má menší rozsah proudu, to však není nevýhodou, neboť TIG svařování obecně nepotřebuje tak vysoké výstupní proudy. Doporučil bych ho do provozu cíleného na TIG svařování.

8.1.3 Svařování elektrickým odporem

U svařování elektrickým odporem se zaměřujeme na podobné parametry jako u svařování elektrickým obloukem, je zde však velmi důležitá možnost nastavení časů pro jednotlivé operace provázející tento typ svařování tzn. - čas pro stlačení materiálů k sobě, čas pro průchod elektrického proudu, čas pro stlačování materiálů po zastavení elektrického proudu.

Další charakteristika je rozsah přítlačných sil mezi kleštinami, které je zdroj schopen podporovat.

Hlavním rozdílem je to, že odporové svářecí zdroje poskytují několikanásobně vyšší výstupní proudy, a oproti tomu menší výstupní napětí.

AMADA SPOT WELDING POWER SUPPLY

Výrobce	Amada Miyachi America [USA]
Modelové/Katalogové označení	DC2013-T
Parametry:	Hodnoty:
Vstupní napětí	380-480 V
Frekvence napětí	50/60 Hz
Maximální výstupní napětí	6 V
Maximální výstupní proud	3000 A
Jmenovitý výstup	3000 A, 6 V, 3% / 4000 A, 6 V, 2%
Rozsah operačních časů	0,1-999,9 ms
Rozsah přítlačné síly	0-500 N
Operační teplota	-10...+40 °C
Rozměry	497 mm × 220 mm × 445 mm
Hmotnost	38 kg
Cena	neuveďeno

Tabulka 8.6: Tabulka parametrů zdroje AMADA SPOT WELDING POWER SUPPLY [32]



Obrázek 8.6: Zdroj AMADA SPOT WELDING POWER SUPPLY [32]

ELMATECH PREMIUMspot Vision

Výrobce	Elmatech GMBH [GER]
Modelové/Katalogové označení	-
Parametry:	Hodnoty:
Vstupní napětí	400 V
Frekvence napětí	50/60 Hz
Maximální výstupní napětí	12,5 V
Maximální výstupní proud	13 kA
Jmenovitý výstup	-
Rozsah operačních časů	0,1-999,9 ms
Rozsah přítlačné síly	0-5,5 kN
Operační teplota	-10...+40 °C
Rozměry	1220 mm × 680 mm × 800 mm
Hmotnost	95 kg
Cena	neuveдено

Tabulka 8.7: Tabulka parametrů zdrojů ELMATECH PREMIUMspot Vision [35]



Obrázek 8.7: Zdroj ELIMATECH PREMIUMspot Vision [35]

Vyhodnocení:

U odporového svařování mám opět dva zdroje. První ze zdrojů je od americké firmy Amada, poskytuje až 4000 A ve speciálním režimu, má kompaktní rozměry a nízkou hmotnost.

Druhý zdroj je od německého výrobce Elmatech. Oproti prvnímu zdroji disponuje maximálním elektrickým proudem až 13 kA. Umožňuje také stlačovací sílu až 5,5 kN, což už je velmi znatelný rozsah. Druhý zdroj bude však pravděpodobně dražší.

8.1.4 Svařování plazmatem

Uvedeno je zde řešení od světoznámého výrobce Fronius, které je možné použít jako nástavbu k jejich TIG svářecím zdrojům. Během několika minut lze překonfigurovat systém na svaření plazmou. Toto řešení je velmi flexibilní a ušetří znatelné náklady do provozů, které využívají plazmové svařování pouze okrajově.

PLASMAMODULE 10

Výrobce	Fronius [AUT]
Modelové/Katalogové označení	-
Parametry:	Hodnoty:
Vstupní napětí	230 V
Frekvence napětí	50/60 Hz
Rozsah elektrického proudu	3-30 A
Rozsah proudění plazmatického plynu	0,2-10,0 l/min
Jmenovitý výstup	30 A, 100%
Operační teplota	-10...+40 °C
Rozměry	505 mm × 180 mm × 344 mm
Hmotnost	14,2 kg
Cena	neuveďeno

Tabulka 8.8: Tabulka parametrů zdroje PLASMAMODULE 10 [25]



Obrázek 8.8: Zdroj PLASMAMODULE 10 [25]

8.2 Podavače drátu

U podavačů drátu, stejně jako u ostatního příslušenství, se doporučuje, aby byly pořizovány od stejného výrobce, jako svařovací zdroj. Předejde se tak možným potížím s nekompatibilitou mezi jednotlivými komponentami.

Byla tedy proto snaha vybrat podavače drátu od výrobců, které byly již vybrány pro svařovací zdroje.

AUTODRIVE S

Výrobce	Lincoln Electric [USA]
Modelové/Katalogové označení	K4303-1
Parametry:	Hodnoty:
Výstupní proud	500 A
Rychlost podávání drátu	760-20 320 mm/min
Průměry drátů	0,8/1/1,2 mm
Rozměry	178 mm × 190 mm × 275 mm
Hmotnost	6,81 kg
Cena	\$10 573

Tabulka 8.9: Tabulka parametrů podavače drátu AUTODRIVE S [5]



Obrázek 8.9: Podavač drátu AUTODRIVE S [5]

ARISTO ROBOFEED

Výrobce	ESAB [SWE]
Modelové/Katalogové označení	3004W
Parametry:	Hodnoty:
Výstupní proud	500 A
Rychlost podávání drátu	800-30 000 mm/min
Průměry drátů	0,6-1,6 mm
Rozměry	235 mm × 362 mm × 246 mm
Hmotnost	7,3 kg
Cena	neuveďeno

Tabulka 8.10: Tabulka parametrů podavače drátu ARISTO ROBOFEED [4]



Obrázek 8.10: Podavač drátu ARISTO ROBOFEED [4]

A7 Wire Feeder 25

Výrobce	KEMPPI [FIN]
Modelové/Katalogové označení	6203510
Parametry:	Hodnoty:
Výstupní proud	500 A
Rychlost podávání drátu	500-25 000 mm/min
Průměry drátů	0,8-1,6 mm
Rozměry	380 mm × 250 mm × 170 mm
Hmotnost	7,8 kg
Cena	neuveveno

Tabulka 8.11: Tabulka parametrů podavače drátu A7 Wire Feeder 25 [2]



Obrázek 8.11: Podavač drátu A7 Wire Feeder 25 [2]

Vyhodnocení:

Mezi podavači drátu nejsou příliš velké rozdíly. Podavač od firmy ESAB disponuje největším rozsahem rychlosti podávání drátu do hlavice, ale rozhodující je, zda je tento rozsah pro daného spotřebitele využitelný.

9 Závěr

V práci bylo shrnuto seznámení s automatizací jako takovou, byl představen základní pohled na svařování a jeho technologie a využití. Následovalo popsání základních principů ovládání robota a jeho význam pro průmysl. Dále je v práci uveden diagram a rozdělení všech druhů svařování, je ukázán princip běžného ručního svařování a poté následuje výčet nejvyužívanějších metod, které se aktuálně používají ve světě.

Dalším bodem práce bylo popsat systém v robotické buňce, do které se roboty nasazují. Je zde náhled na fungování robota v kontextu celkového robotického technologického pracoviště. Poté jsou popsány nezbytné prvky pro fungování RTP, je zde výpis nejnужnějších periférií pro aplikace svařování a jeho bezproblémový chod. Dále jsou v této kapitole vyjmenovány, přiblíženy a detailně popsány ostatní zařízení, které jsou běžně součástí robotických pracovišť bez ohledu na specifické zaměření a funkci robota.

Následující část je zaměřena na konkrétní využití svařovací robotiky. Jsou zde uvedeny oblasti průmyslu, které této robotické technologii využívají nejvíce. Řadí se sem zejména automobilní, letecký a železniční průmysl. Nechybí však seznam odvětví, ve kterých je robotika nověji, ale progresivně aplikována.

Samotný závěr práce je pak věnován průzkumu současného trhu se svařovacími zdroji a podavači drátů, které jsou optimalizované pro robotické použití. Jsou uvedeni zástupci svařovacích zdrojů k metodám, které jsem jmenoval v kapitole 5.1 a 5.2. U každého zdroje jsou uvedeny charakteristické parametry, které určují možnosti zdroje. U zdrojů, které neobsahují cenu přímo v tabulce bohužel nebylo možné cenu dohledat z katalogů, nebo webových stránek, ale tyto ceny se budou pohybovat od 100 do 200 tisíc korun za jednotku. Další porovnání proběhlo mezi aktuální nabídkou podavačů drátů. Ty byly vybrány na základě již jmenovaných výrobců zdrojů, aby bylo možné zajistit kompatibilitu mezi zdroji a podavači. Zatímco svařovací zdroje mají poměrně odlišné parametry, rozměry a hmotnost, podavače drátů se téměř neliší, a proto je rozhodující především výrobce, pro bezproblémové zařazení do celého systému.

Aby podnik mohl zařadit systém se svařovacími roboty do svého procesu, je nutné zvážit několik zásadních věcí a poté učinit toto rozhodnutí. Pro aplikaci robota do výrobního procesu bezesporu hovoří usnadnění lidské práce, přesnost, kvalita provedení svaru, rychlost, relativní neúnavnost a možnost pracovat téměř nepřetržitě. Dalšími výhodami jsou jeho možnost využití, variace jeho činností a návaznost na další automatizované systémy. Mezi nevýhody patří především vysoké pořizovací náklady, nutnost pravidelné údržby a přizpůsobení struktury chodu výroby. V blízké budoucnosti se svařovací robotika bude dostávat do stále většího počtu odvětví, proto lze předpokládat, že pořizovací náklady se vlivem masovější produkce budou snižovat a tím pádem se svařovací roboty stanou dostupnější i pro malé podniky s menšími obraty. Toto odvětví nabízí velkou perspektivu, je v něm stále kam se posouvat a zdokonalovat aplikaci jiných, experimentálnějších svářecích technologií.

Co se týče robotiky jako takové, toto odvětví průmyslu je v současnosti na vzestupu a nabízí obrovský potenciál. Roboty jsou stále častěji nasazovány na pracovní pozice, které bychom ještě před pár lety nebyli schopni automatizovat. Toto dle mého názoru nabízí jedinečnou možnost pro lidi, aby byli oprostěni od nezáživných a stále se opakujících činností, které nenabízí kreativní přemýšlení a osobní rozvoj. Bohužel pro mnoho lidí je tato

vidina velmi znepokojující, neboť mají starost o svoje pracovní místa, což je pochopitelné. S rostoucím nedostatkem pracovníků v průmyslové výrobě, a nejen v ní, mi však přijde tato revoluce nevyhnutelná, a je potřeba se na ni připravit. Mnoho pracovních míst bude samozřejmě nahrazeno roboty a dalšími systémy, ale oproti tomu vznikne více nových, daleko zajímavějších a hodnotnějších pozic. V robotizaci spočívá podle mého názoru velká šance pro celkové zlepšení úrovně života, zejména dělnických profesí, a vidím v ní potenciál pro možnost České republiky se angažovat mezi prvními zeměmi, které začnou toto progresivní odvětví hromadně podporovat a těžit z jeho růstu a integrace. Základem však musí být příprava na tuto situaci, reformace školního systému, který zatím dostatečně nekalkuluje s touto skutečností, a sociálně-ekonomický plán jednotlivých zemí pro další roky, které budou automatizaci jen přibližovat a více začleňovat.

10 Literatura

- [1] 7 Common Types of Robotic Welding Processes and When They're Used. *Robotics Online* [online]. Ann Arbor (Michigan): Robotic Industries Association, ©2008-2019, 28.11.2017 [cit. 2019-04-06]. Dostupné z: <https://www.robotics.org/blog-article.cfm/7-Common-Types-of-Robotic-Welding-Processes-and-When-They-re-Used/72>
- [2] A7 MIG Welder. In: *Kemppi: Welding Equipment and Software* [online]. Lahti (Finsko): Kemppi, ©2019 [cit. 2019-05-01]. Dostupné z: <https://www.kemppi.com/en-US/offering/family/a7-mig-welder/>
- [3] Aristo/Origo MIG 4002C, 5002C, 6502C. In: *ESAB* [online]. Vamberk: ESAB, ©2019 [cit. 2019-05-01]. Dostupné z: <https://www.esab.cz/cz/cz/products/arc-welding-equipment/advanced-synergic-multi-process-equipment/aristo-origo-mig-4002c-5002c-6502c.cfm>
- [4] Aristo Robofeed 3004W. In: *ESAB* [online]. Vamberk: ESAB, ©2019 [cit. 2019-05-01]. Dostupné z: <https://www.esab.cz/cz/cz/products/welding-automation-robotics/gas-metal-arc-welding-gmaw/carriers-manipulators/robotics/aristo-robofeed-3004w.cfm>
- [5] Autodrive® S Wire Feeder. In: *Lincoln Electric* [online]. Euclid (Ohio): The Lincoln Electric Company, ©1999-2019 [cit. 2019-05-01]. Dostupné z: [https://www.lincolnelectric.com/en-us/Equipment/Pages/product.aspx?product=Products_RoboticsAutomation_AutomationWireFeeders-AutoDriveS\(LincolnElectric\)&product-type=wf&detail=K4303-1\(LincolnElectric\)](https://www.lincolnelectric.com/en-us/Equipment/Pages/product.aspx?product=Products_RoboticsAutomation_AutomationWireFeeders-AutoDriveS(LincolnElectric)&product-type=wf&detail=K4303-1(LincolnElectric))
- [6] Automation Wire Feeders. In: *Lincoln Electric* [online]. Euclid (Ohio): The Lincoln Electric Company, ©1999-2019 [cit. 2019-04-30]. Dostupné z: <https://www.lincolnelectric.com/en-sg/equipment/robotic-automation/products-and-systems/Pages/automation-wire-feeders.aspx>
- [7] BENEŠ, Libor. Svařování. *Fakulta strojní ČVUT v Praze* [online]. Praha: ČVUT FS, ©2014-2019 [cit. 2019-05-16]. Dostupné z: http://users.fs.cvut.cz/libor.benes/vyuka/svarovani/UT_01_Prehled_svarovani_T08.pdf
- [8] Bezpečnostní laserový skener PHARO. In: *REM: Industrial and Building automation* [online]. Brno: REM, ©2019 [cit. 2019-04-30]. Dostupné z: <https://www.rem-technik.cz/bezpecnostni-systemy/skenery/bezpecnostni-laserovy-skener-pharo-787.html>
- [9] Bezpečnostní průmyslové komponenty. In: *Contra* [online]. Brno: Contra, ©2010 [cit. 2019-04-30]. Dostupné z: <https://www.contra-brno.cz/produkt/bezpecnostni-svetelne-clony>
- [10] Bodové svařování. In: *Rockweld-Group* [online]. Praha: Rockweld, ©2013 [cit. 2019-04-29]. Dostupné z: <https://www.rockweld.cz/bodove-svarovani/>
- [11] Choosing a Welding Power Source. *Lincoln Electric* [online]. Euclid (Ohio): The Lincoln Electric Company, ©1999-2019 [cit. 2019-04-06]. Dostupné z: <https://www.lincolnelectric.com/en-us/support/welding-how-to/Pages/welding-power-source-detail.aspx>

- [12] Collaborative robots? Yeah, but why?. In: *CFM Robotique* [online]. Sherbrooke (Quebec): CFM, ©2019 [cit. 2019-04-30]. Dostupné z: <http://www.cfmrobotique.com/en/2016/11/10/collaborative-robots-yeah-but-why/>
- [13] Depalletizing Robotic cell. In: *Packaging-Labelling* [online]. Telangana (Indie): Packaging-Labelling, ©2008-2019 [cit. 2019-04-30]. Dostupné z: <https://www.packaging-labelling.com/products/tmg-impianti/depalletizing-robotic-cell>
- [14] Implementation of a robotic cell with the Safety Simplifier. In: *Safety System Products* [online]. Spaichingen (Německo): Safety System Products, ©2016-2019 [cit. 2019-04-30]. Dostupné z: <https://www.safety-products.de/index.php?index=1&lng=en&menuid=97>
- [15] IPS Robot Optimization. In: *Flex structures* [online]. Kaiserslautern (Německo): Flex structures, ©2013 [cit. 2019-04-30]. Dostupné z: <http://www.flexstructures.de/ips-robot-optimization-2?lang=en>
- [16] IRC5 Industrial Robot Controller. In: *ABB* [online]. Curych (Švýcarsko): ABB Asea Brown Boveri, ©2019 [cit. 2019-04-30]. Dostupné z: <https://new.abb.com/products/robotics/controllers/irc5>
- [17] KOLÍBAL, Zdeněk. Roboty a robotizované výrobní technologie. Brno: Vysoké učení technické v Brně - nakladatelství VUTIUM, 2016. ISBN 978-80-214-4828-5.
- [18] KUKA ready2spot. In: *Kuka* [online]. Augsburg (Německo): KUKA Aktiengesellschaft, ©2016 [cit. 2019-04-29]. Dostupné z: <https://www.kuka.com/en-de/products/robot-systems/ready2use/kuka-ready2spot>
- [19] Laser welding. In: *Kuka* [online]. Augsburg (Německo): KUKA Aktiengesellschaft, ©2016 [cit. 2019-04-29]. Dostupné z: <https://www.kuka.com/en-at/technologies/process-technologies/2016/07/laser-welding>
- [20] LEERINK, Henk. Welding equipment for robots. *Robot Welding: The essential guide* [online]. Robotwelding, 2017 [cit. 2019-04-06]. Dostupné z: http://www.robotwelding.co.uk/welding_equipment.php
- [21] Motorizovaný pásový dopravník OPT. In: *Technology: Svět balení* [online]. Jablonec nad Nisou: Technology, ©2019 [cit. 2019-04-30]. Dostupné z: <https://www.technology.cz/balici-stroje/pasove-dopravniky/motorizovany-pasovy-dopravnik-opt/>
- [22] Obalená elektroda. In: *Svářečky-elektrody* [online]. Příbram: QUICK - SERVIS, ©2016 [cit. 2019-04-29]. Dostupné z: <https://www.svarecky-elektrody.cz/obalena-elektroda-co-je-a-k-cemu-slouzi/t-27/t-95>
- [23] Otočné svářecí stoly. In: *Boels: Rental* [online]. Sittard (Nizozemsko): Boels, 2019 [cit. 2019-04-30]. Dostupné z: <https://www.boels.cz/pronajem/instalacni-technika/svareni/otocne-svareci-stoly>
- [24] PI Špičkové TIG A MMA Funkce Jednoduše. *Migatronic* [online]. Zoner inShop: Migatronic, ©2019, 21.12.2016 [cit. 2019-05-01]. Dostupné z: <http://migatronic.inshop.cz/inshop/files/79541621/Pi%20prospekt%20.pdf>

- [25] Plazma. In: *Fronius: Svařovací technika* [online]. Praha: Fronius, ©2019 [cit. 2019-05-01]. Dostupné z: <https://www.fronius.com/cs-cz/czech-republic/perfect-welding/vyrobky/robotizovan%C3%A9-sva%C5%99ov%C3%A1n%C3%AD/-plazma/plazma/plazma>
- [26] Power Wave R450 CE Robotic Power Source. In: *Lincoln Electric* [online]. Euclid (Ohio): The Lincoln Electric Company, ©1999-2019 [cit. 2019-05-01]. Dostupné z: [https://www.lincolnelectric.com/en-us/Equipment/Pages/product.aspx?product=K3455-1\(LincolnElectric\)](https://www.lincolnelectric.com/en-us/Equipment/Pages/product.aspx?product=K3455-1(LincolnElectric))
- [27] Power Wave S700 Advanced Process Welder. In: *Lincoln Electric* [online]. Euclid (Ohio): The Lincoln Electric Company, ©1999-2019 [cit. 2019-05-01]. Dostupné z: [https://www.lincolnelectric.com/en-us/Equipment/Pages/product.aspx?product=K3279-1\(LincolnElectric\)](https://www.lincolnelectric.com/en-us/Equipment/Pages/product.aspx?product=K3279-1(LincolnElectric))
- [28] Pulsed MIG/MAG Welding Automation System. In: *Kemppi: Welding Equipment and Software* [online]. Lahti (Finsko): Kemppi, ©2019 [cit. 2019-05-01]. Dostupné z: <https://www.kemppi.com/en-US/offering/family/kemparc-pulse/>
- [29] RUIWALE, V., A. KADAM, S. KULKARNI a M. JADHAO. A Review on Recent Trends in Robotic Welding. *International Journal of Engineering Science and Innovative Technology* [online]. 2015, 4(5), 167-176 [cit. 2019-04-06]. ISSN 2319-5967. Dostupné z: http://www.ijesit.com/Volume%204/Issue%205/IJESIT201505_20.pdf
- [30] Railway Industry with igm welding robots. In: *IGM* [online]. Huntington (UK): IGM Robotic Systems, ©2019 [cit. 2019-04-30]. Dostupné z: <http://www.igmrobotwelding.co.uk/articlearchivshow-railway-industry-with-igm-welding-robots/>
- [31] REED, Brian. Complete Guide to Robotic Welding. *Fairlawn Tool* [online]. Westminster (Maryland): Fairlawn Tool, ©2016, 13.12.2017 [cit. 2019-04-06]. Dostupné z: <https://www.fairlawntool.com/blog/complete-guide-robotic-welding/>
- [32] Resistance Spot Welding Power Supplies. In: *Amada Miyachi America* [online]. Monrovia (Kalifornie): Amada Miyachi America, ©2016 [cit. 2019-05-01]. Dostupné z: <http://www.amadamiyachi.com/products/resistance-welding/rw-power-supplies/dc2013t>
- [33] Robot torch and bracket. In: *Cloos* [online]. Haiger (Německo): Cloos, ©2018 [cit. 2019-04-29]. Dostupné z: <https://www.cloos.de/de-en/products/qineo/tungsten-inert-gas-welding-tig/tig-robot-welding-torches/roboterbrenner-und-halter/>
- [34] Solving Robot Communication Issues. In: *Automation World* [online]. Chicago (Illinois): PMMI Media Group, 6.6.2013 [cit. 2019-04-29]. Dostupné z: <https://www.automationworld.com/article/technologies/networking-connectivity/solving-robot-communication-issues>
- [35] Spot welding machine PREMIUMspot Vision for car repair. In: *Elmatech GMBH* [online]. Morsbach (Německo): ELMA-Tech, ©2012-2019 [cit. 2019-05-01]. Dostupné z: <https://www.elmatech-gmbh.de/index.php/en/elma-tech-products/resistance-welding-technology/spot-welding-systems/premiumspot-vision-fully-automatic-mobile-multifunction-spot-welding-machine-for-bodywork-repair#applications>

- [36] Svařovací zdroje. *Rockweld-Group* [online]. Praha: Rockweld, ©2013 [cit. 2019-04-06]. Dostupné z: <https://www.rockweld.cz/svarovaci-zdroje/>
- [37] Systémy Push. In: *Fronius: Svařovací technika* [online]. Praha: Fronius, ©2019 [cit. 2019-04-30]. Dostupné z: <https://www.fronius.com/cs-cz/czech-republic/perfect-welding/vyrobky/robotizovan%C3%A9-sva%C5%99ov%C3%A1n%C3%AD/jed-nodr%C3%A1tov%C3%A9-sva%C5%99ov%C3%A1n%C3%AD-mig-mag/syst%C3%A9my-push/syst%C3%A9my-push>
- [38] TIANJIN BATTLE FUJITA BICYCLE. Advanced Robotic Bike Frame Welding. In: *YouTube* [online]. San Bruno (Kalifornie): Google, ©2019, 12. 11. 2016 [cit. 2019-04-30]. Dostupné z: <https://www.youtube.com/watch?v=MrCXLnIgSw0>
- [39] USER52705. How to create a Industrial Robotic arm controller?. In: *Stack Exchange* [online]. New York: Stack Exchange, ©2019, 20.4.2017 [cit. 2019-04-06]. Dostupné z: <https://robotics.stackexchange.com/questions/12170/how-to-create-a-industrial-robotic-arm-controller>
- [40] Válečková trať MSR 7. In: *Bow: První hanácká* [online]. Olomouc: Bow, ©2018 [cit. 2019-04-30]. Dostupné z: <https://www.bow.cz/produkt/3357611-valeckova-trat-msr-7/>
- [41] VILLANI, Valeria, Fabio PINI, Francesco LEALI a Cristian SECCHI. Survey on human–robot collaboration in industrial settings: Safety, intuitive interfaces and applications. *Mechatronics* [online]. 2018, 55(7), 248-266 [cit. 2019-04-06]. ISSN 0957-4158. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0957415818300321?via%3Dihub>
- [42] Welding technology. PIRES, J.Norberto, Loureiro A. a Gunnar BOLMSJÖ. *Welding robots: technology, system issues and applications*. London: Springer, 2006, s. 27-71. ISBN 978-1-85233-953-1.
- [43] What Are The Main Parts Of An Industrial Robot?. *RobotWorx: A Scott Company* [online]. Marion (Ohio): RobotWorx, ©2017 [cit. 2019-04-06]. Dostupné z: <https://www.robots.com/faq/what-are-the-main-parts-of-an-industrial-robot>

11 Seznam použitých zkratek a symbolů

Zkratky

NC	Číslicové řízení (z anglického Numerical control)
CNC	Počítačově číslicově řízené (z anglického Computer numerical control)
KD	Kinematická dvojice
RRR	Ústrojí obsahující 3x rotační vazbu
HW	Hardware
SW	Software
BW	Brainware
MAG	Svařování aktivním plynem (z anglického Metal active gas)
MIG	Svařování inertním plynem (z anglického Metal inert gas)
WIG	Svařování wolframové netavící se elektrody v inertním plynu (z německého Wolfram inert gas)
TIG	Svařování wolframové netavící se elektrody v inertním plynu (z anglického Tungsten inert gas)
RTP	Robotické technologické pracoviště
PTP	Z bodu do bodu (z anglického Point to point)
CP	Podle dané trajektorije (z anglického Continuous path)
PVC	Polyvinylchlorid
IRC	Řídící jednotka (z anglického Industrial robot controller)

Symbols

Q	Thermal power
η	Efficiency depends on the type of welding
U	Electrical voltage
I	Electrical current
Q	Heat
R	Electrical resistance of metal
t	Application time
S	Safe distance
K	Velocity of body approach
T	Time needed to stop unsafe movements
C	Supplementary distance

12 Seznam obrázků

2.1	Průmyslový robot bez konkrétního efektoru	13
4.1	Schéma komunikace jednotlivých systémů robotu. Překresleno z[17]	18
5.1	Schéma rozdělení svařovacích metod [7]	19
5.2	Popis svařování obalenou elektrodou [22]	21
5.3	Svařování metodou MIG/MAG [7]	22
5.4	Koncový efektor pro WIG svařování [33]	23
5.5	Ukázka svařování pomocí laseru [19]	24
5.6	Kleště pro odporové svařování [18]	26
5.7	Schéma odporového svařování [10]	26
6.1	Robotizovaná linka v automobilové výrobě [34]	27
6.2	Příklad robotizovaného modulu [14]	28
6.3	Příklad uspořádání logistiky v robotizované buňce 1 [13]	29
6.4	Příklad uspořádání logistiky v robotizované buňce 2 [13]	29
6.5	Kolaborace více robotů na jednom výrobku [15]	30
6.6	Svařovací zdroje a ochranný plyn zpoza robotické buňky	31
6.7	Svařovací zdroj připojený k robotu [37]	32
6.8	Podavač drátu [6]	34
6.9	Schéma komunikace mezi jednotlivými komponentami robotu [20]	34
6.10	Zásobníky na přídatný drát s vývodem do svařovací buňky	35
6.11	Otočný stůl s magnetickým upínačem [23]	36
6.12	Sekvenční otočný stůl s kleštinovým upínáním	37
6.13	Pásový dopravník [21]	38
6.14	Válečková trať [40]	38
6.15	Ochranná klec [12]	40
6.16	Světelná závora [9]	40
6.17	Detail na jeden panel světelné závory	41
6.18	Bezpečnostní laserový skener [8]	42
6.19	Filtrační zařízení s připojeným potrubím	43
6.20	Odsávací hlavice nad svařovací buňkou	44
6.21	Štítek s provozními hodnotami	44
6.22	Řídící jednotka s přiloženým pendantem [16]	45
7.1	Svařence zadní části nápravy vozidla	46
7.2	Svařenec upevněný v otočném stole	47
7.3	Čepy předního kola automobilu	47
7.4	Část podvozku vlaku [30]	48
7.5	Svařování rámu kola [38]	48
8.1	Zdroj POWER WAVE R450 CE [26]	50
8.2	Zdroj KempArc Pulse [28]	50
8.3	Zdroj ESAB ORIGO MIG [3]	51
8.4	Zdroj POWER WAVE S700 [27]	52
8.5	Zdroj MIGATRONIC ROBO [24]	53
8.6	Zdroj AMADA SPOT WELDING POWER SUPPLY [32]	55
8.7	Zdroj ELMATECH PREMIUMspot Vision [35]	56
8.8	Zdroj PLASMAMODULE 10 [25]	57
8.9	Podavač drátu AUTODRIVE S [5]	58

8.10 Podavač drátu ARISTO ROBOFEED [4]	59
8.11 Podavač drátu A7 Wire Feeder 25 [2]	60

Seznam tabulek

8.1	Tabulka parametrů zdroje POWER WAVE R450 CE [26]	49
8.2	Tabulka parametrů zdroje KempArc Pulse [28]	50
8.3	Tabulka parametrů zdroje ESAB ORIGO MIG [3]	51
8.4	Tabulka parametrů zdroje POWER WAVE S700 [27]	52
8.5	Tabulka parametrů zdroje MIGATRONIC ROBO [24]	53
8.6	Tabulka parametrů zdroje AMADA SPOT WELDING POWER SUPPLY [32]	54
8.7	Tabulka parametrů zdroje ELMATECH PREMIUMspot Vision [35]	55
8.8	Tabulka parametrů zdroje PLASMAMODULE 10 [25]	57
8.9	Tabulka parametrů podavače drátu AUTODRIVE S [5]	58
8.10	Tabulka parametrů podavače drátu ARISTO ROBOFEED [4]	59
8.11	Tabulka parametrů podavače drátu A7 Wire Feeder 25 [2]	60