

Česká zemědělská univerzita v Praze

Technická fakulta

KATEDRA MATERIÁLU A STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE



Robotizované svařování oceli

diplomová práce

Vedoucí bakalářské práce: **prof. Ing. Milan Brožek, CSc.**

Studijní obor: **Obchod a podnikání s technikou**

Autor práce: **Bc. Lukáš Bejvl**

PRAHA 2014

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Katedra materiálu a strojírenské technologie

Technická fakulta

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Bejvl Lukáš

Obchod a podnikání s technikou

Název práce

Robotizované svařování oceli

Anglický název

Robotic steel welding

Cíle práce

- shromáždit informace o průmyslových robotech a jejich použití v technologii svařování,
- experimentálně zhodnotit jakost svarů zhotovených svařovacím robotem a ručně,
- provést technicko-ekonomické zhodnocení.

Metodika

- současný stav řešeného problému (literární rešerše),
- cíl práce a metody jejího zpracování,
- výsledky experimentů a jejich diskuse,
- závěry a přínos práce.

Osnova práce

1. Úvod.
2. Podstata technologie svařování, její uplatnění v praxi.
3. Robotizovaná pracoviště pro svařování.
4. Experimentální posouzení jakosti svarů provedených ručně a svařovacím robotem.
5. Závěr.

Rozsah textové části

cca 60 stran

Klíčová slova

průmyslový robot, technologie svařování, ocel

Doporučené zdroje informací

BERNASOVÁ, E. et al.: Svařování. Praha, SNTL 1987.
BLAŠČÍK, F. et al.: Technologია tvárnenia, zlievárenstva a zvarania. Bratislava, ALFA 1987.
HOLÁSEK, J.: Odporové zvaranie. Bratislava, Slov. vydav. technické literatury 1968.
KŘÍŽ, R. - VÁVRA, P.: Strojirenská příručka. Svazek 8. Praha, SCIENTIA 1998.
KULIK, T. A.: Slovar – spravocnik po svarke. Kijev, Naukova dumka 1974.
KUNCIPÁL, J. - PILOUS, V. - DUNOVSKÝ, J.: Nové směry ve svařování. Praha, SNTL 1984.
LANCASTER, J. F.: Metallurgy of welding. 6. ed. Cambridge, Abington 1999.
MINAŘÍK, V.: Obloukové svařování. 2. aktualiz. vyd. Praha, Scientia 2003.
MINAŘÍK, V.: Plamenové svařování. Praha, Scientia 1997.
STEDFELD, R. L.: Metals handbook. Vol. 6., Welding, brazing, and soldering. 9. ed. Metals Park, Oh., American Society for Metals 1983.
WEMAN, K.: Welding processes handbook. Cambridge, Woodhead 2003.
Časopisy: Manufacturing Technology, MM průmyslové spektrum, Strojárstvo - Strojirenství, Strojirenská technologie, Strojirenská výroba, Technický týdeník, Technik, Zvávarie - Svařování.
Firemní literatura: katalogy, prospekty, prezentace.

Vedoucí práce

Brožek Milan, prof. Ing., CSc.

Termín zadání

listopad 2012

Termín odevzdání

duben 2014



prof. Ing. Milan Brožek, CSc.

Vedoucí katedry



prof. Ing. Vladimír Jurča, CSc.

Děkan fakulty

13.12.2012 - dne 18.3.2013

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci na téma Robotizované svařování oceli vypracoval samostatně pod dohledem prof. Ing. Milana Brožka, CSc. a použil jen zdroje, které cituji a uvádím v seznamu použitých zdrojů.

V Praze dne 10. 3. 2014

Lukáš Bejvl

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji všem, kteří se podíleli odbornou pomocí, především prof. Ing. Milanu Brožkovi, CSc. za vedení při tvorbě mé diplomové práce, firmě Messer Eutectic Castolin spol. s r. o., za spolupráci na experimentální části.

Dále děkuji rodině za podporu při mém studiu a při tvorbě této diplomové práce.

Abstrakt

Téma diplomové práce se týká problematiky robotizovaného svařování oceli. Cílem bylo podat srozumitelný přehled na dané téma, popsat robotizovaná pracoviště a experimentálně posoudit jakost svarů provedených ručně a provedených svařovacím robotem.

Úvodní část je zaměřena na seznámení se základy procesu svařování, především pak na technologii MIG/MAG, která je v robotizace velmi rozšířená. V kapitole číslo tři je popsána struktura robotizovaných pracovišť. Další kapitola obsahuje experimentální posouzení jakosti svarů, a jejich technicko – ekonomické zhodnocení. V závěru jsou popsány výsledky experimentální části.

Klíčová slova: průmyslový robot, technologie svařování, ocel

Abstract

The topic of the thesis concerns the issue of robotic welding steel. The aim was to give a comprehensive overview on the topic, describe robotics and experimentally assess the quality of welds made by hand and made by robots.

The first part is focused on introducing the basics of welding process, especially for MIG / MAG, which is very common in robotics. In the third chapter describes the structure of automated operations. The next chapter contains experimental assessment of weld quality, and technical - economic evaluation. In conclusion, the results described in the experimental section.

Keywords: industrial robot, welding technology, steel

Obsah

1 Úvod.....	1
2 Podstata technologie svařování.....	2
2.1 Základní pojmy	2
2.2 Výhody a nevýhody svarků.....	3
2.3 Přehled svařování	4
2.4 Základní materiály	5
2.4.1 Oceli konstrukční tvářené.....	5
2.4.2 Svařitelnost ocelí	7
2.4.3 Výpočet uhlíkového ekvivalentu Ce	8
2.4.4 Opatření ke zlepšení svařitelnosti.....	9
2.5 Svařování elektrickým obloukem	9
2.5.1 Svařovací oblouk	9
2.5.2 Obloukové svařování v ochranných atmosférách.....	11
3 Robotizovaná pracoviště pro svařování.....	19
3.1 Způsoby automatizace obloukového svařování	19
3.2 Navrhování a realizace robotizovaných pracovišť	21
3.3 Technická příprava pracoviště	22
3.3.1 Výběr vhodných svařenců	22
3.4 Technologie vhodné pro robotizované svařování	23
3.5 Projektování robotizovaných pracovišť a postup při navrhování a realizaci robotizovaných pracovišť	23
3.6 Robotizované systémy	24
3.6.1 Vnitřní členění robotizovaného pracoviště.....	25
3.7 Technická vybavení obloukového svařovacího systému	26

3.9 Kinematické systémy průmyslových robotů	28
3.10 Řídicí systém	29
3.10.1 Způsoby řízení pohybu technologické hlavičky	30
3.10.2. Druhy provozu řídicího systému	30
3.11. Svařovací zařízení	32
3.12 Bezpečnostní zařízení robotizovaného pracoviště	34
3.13 Provoz robotizovaných pracovišť	35
3.14 Vývojové trendy v robotizaci obloukového svařování	35
4 Experimentální posouzení jakosti svarů provedených ručně a svařovacím robotem	37
4.1 Postup k vyhodnocení svarů	40
4.2 Vyhodnocení měření	47
4.3 Zhodnocení jakosti svarů, které byly vyrobeny ručně a pomocí svařovacího robotu	52
4.4 Technicko - ekonomické zhodnocení	53
4.4.1 Ruční svařování	54
4.4.2 Svařování svařovacím robotem	55
4.4.3 Zhodnocení výpočtů	56
5 Závěr	57
Seznam literatury	58
Seznam obrázků	60
Seznam tabulek	61

1 Úvod

Svařování je v dnešní průmyslové výrobě velmi rozšířená technologie. V průběhu historie se značně vyvíjela, až do podoby jakou jí známe v dnešní podobě. Vývoj v oblasti svařování měl několik příčin, především snaha zvýšit produktivitu a efektivnost práce, zlepšit jakost svarů bez vážnějšího narušení základního materiálu.

V důsledku těchto příčin se začala postupem času v oblasti svařování objevovat robotizace. Robotizace samotná nenahrazuje technologii svařování, ale úspěšně nahrazuje lidskou práci, která díky faktoru originality může vést k vadám ve svarových spojích. Základní výhodou používání průmyslových robotů ve svařování je jejich podstatně vyšší produktivita práce a zvýšená kvalita svarových spojů.

Ať už se jedná o ruční svařování, nebo robotizované svařování, k tomu aby vznikl kvalitní svar, je potřeba mnoho parametrů. Před samotným svařováním je zapotřebí zvážit, kterou metodu použijeme, jaký materiál, protože ne každý materiál je vhodný ke svařování a mnoho dalších parametrů.

Cílem této práce je seznámit čtenáře s problematikou robotizovaného svařování. Kapitola 2 se zaměřuje na podstatu technologie svařování, na přehled materiálů, a jejich vhodnost ke svařování. Především se zaměřuje na obloukové svařování v ochranných atmosférách, které je v robotizovaném svařování nejpoužívanější. V kapitole 3 jsou popsána robotizovaná pracoviště pro svařování. Kapitola 4 má za úkol posoudit jakost svarů provedených ručním svařováním a svarů provedených pomocí svařovacího robota, dále techniko-ekonomické zhodnocení svarů, vyrobeny těmito způsoby.

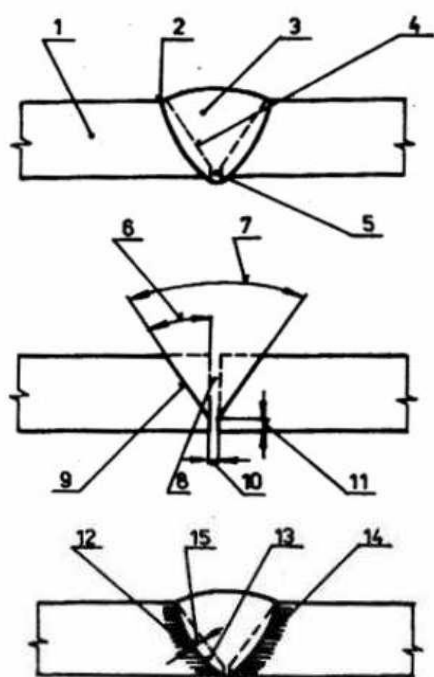
2 Podstata technologie svařování

Svařování je spojování jednotlivých součástí a dílů v nerozebíratelný celek. Podstatou svařování je vytvoření metalurgického spojení, tzn. spojení založeného na působení meziatomových vazebných sil, které jsou příčinou soudržnosti a pevnosti kovů. K vytvoření svarového spoje je nutno vynaložit určitou energii, která může být mechanická, tepelná nebo mechanická i tepelná v různých vzájemných poměrech. Základním předpokladem k získání kvalitních spojů požadovaných vlastností je však použití svařitelných materiálů a vhodná volba způsobu a postupu svařování. Podle způsobu vynaložené energie lze rozdělit svařování na tlakové a tavné: [1]

2.1 Základní pojmy

Svar je část svarového spoje, vytvořena v důsledku krystalizace roztaveného kovu (v případě tavného svařování) nebo plastické deformace (svařování s použitím tlaku). [2]

Obr. 1 Svarový spoj [3]



- 1 základní materiál
- 2 okraj svaru
- 3 svarový kov
- 4 svarová plocha
- 5 kořen svaru
- 6 úhel zkosení
- 7 úhel rozevření
- 8 styková mezera
- 9 zkosená svarová plocha
- 10 kořenová mezera
- 11 výška otupení
- 12 ovlivněná oblast
- 13 závar
- 14 přechod svaru
- 15 hloubka závaru

Teplem ovlivněná oblast (TOO) je část základního materiálu, která nebyla roztavená, ale její struktura a vlastnosti se změnila v důsledku ohřevu při tavném svařování. [2]

Při svařování dojde ke spojení dvou nebo více základních materiálů ve svarovém spoji. Přitom se k vytvoření svarového spoje buď použije, nebo nepoužije přídavný materiál (např. elektroda, holý drát), který umožní nebo usnadní vytvoření svarového spoje. Přídavný materiál je při přechodu do svarové lázně taven, mísí se s roztaveným základním materiálem a po ztuhnutí vytváří svarový kov. [2]

Energie pro vytvoření svarového spoje se přivádí pomocí topných těles (např. odporové topné články), kapaliny (např. tavenina při hoření aluminotermické směsi), plamenem (kyslík – acetylen), záření (laserovým nebo elektronový paprsek), tření (pohyb svařovaných částí) nebo výbojem v plynu (elektrický oblouk). Pro svařování se někdy používají jako základní materiály kromě kovů také jiné látky, např. kombinace různých materiálů. [2]

Svařování se principiálně uplatňuje ve dvou oblastech. První oblast je výroba strojních dílů (svarků) a svařovaných konstrukcí kdy jsou navzájem připojované části tvořeny buď polotovary hutní výroby (plechy, tyče, trubky, a jiné) nebo v kombinaci s výrobky a odlitky. Druhou oblastí využití svařování je opravárenství. [2]

Pod pojmem svařování je nutno rozumět nejen svařování ve smyslu spojení dvou a více dílů do jednoho nerozebíratelného celku, ale i navařování vrstvy materiálu na povrch základního materiálu k doplnění respektive zvětšení opotřebovaného objemu nebo k získání povrchové vrstvy o předem definovaných vlastnostech, jako je například ochrana proti korozi nebo otěru a jiné. [2]

2.2 Výhody a nevýhody svarků

Jako každá technologie tak i svařování má své výhody a nevýhody.

Svarky místo odlitků

Výhody: Vyšší pevnost konstrukce, menší citlivost proti nárazům, úspora hmotnosti až o 50 %, úspora pracnosti 20 – 50 %, větší volnost při návrhu tvaru, menší přídavek na opracování (svarek 8 – 12 %, odlitek až 20 %).

Nevýhody: Vyšší tepelná pnutí, menší tlumicí účinek, v případě malých dílů sériově vyráběných dražší výroba[2]

Svarky místo výkovků

Výhody: Větší volnost při návrhu tvaru, úspora hmotnosti.

Nevýhody: V případě tvarově jednoduchých malých dílů sériově vyráběných dražší výroba. [2]

Praxe potvrzuje, že při svařování jsou nízké výrobní náklady zejména při kusové a malosériové výrobě nebo tam, kde je možno výrobní průběh mechanizovat či automatizovat. Výhody a nevýhody výše uvedené u odlitků a výkovků platí pouze obecně, neboť pro konkrétní výrobek je nutno uvažovat ještě další vlivy. Zvolí-li se svařovaná konstrukce, musí být pro svařování přizpůsoben materiál a tvar konstrukce, aby bylo zaručeno optimální využití technických a ekonomických předností svařování. Při návrhu svaru nebo svařované konstrukce je proto výhodná spolupráce konstruktéra s technologem, jejímž výsledkem je, že navrhovaná svařovaná konstrukce odpovídá jistým zásadám technologičnosti. Znamená to, že je možno svařovanou konstrukci vyrobit a to při dodržení požadavků nejen na jejich funkci, ale i na bezpečnost jejího provozu a hospodárnost výroby. [2]

2.3 Přehled svařování

Svařovací technika prochází rychlým rozvojem, který je doprovázen zcela novými způsoby svařování, zdokonalováním používaných svářečských metod, snahou po vyšší produktivitě práce při svařování a po dosažení vyššího stupně mechanizace a automatizace. Také ve svařování se začínají uplatňovat průmyslové roboty. Současně s rozvojem metod svařování se zdokonaluje i zabezpečení vyšší kvality svarových spojů lepšími způsoby kontroly svarů bez porušení a zvyšování kvalifikace svářečů. V neposlední řadě se uplatňuje úsilí po snížení spotřeby energie, snaha zvýšit bezpečnost práce při svařování a zlepšit pracovní prostředí svářečů. [4]

Svařování je proces zhotovování nerozebíratelných spojů dosažením meziatomových vazeb mezi spojovanými díly při jejich ohřevu nebo plastické deformaci, případně při společném působení ohřevu a plastické deformace. V zásadě se proto jedná o následující dva způsoby svařování. [2]

- svařování tavné – vykonávané místním ztavením spojovaných částí bez použití tlaku
- svařování s použitím tlaku – při něm je k dokonalému svaření dílů tlak nevyhnutelný

V tab. 1 je přehledně uvedeno další členění způsobů svařování.

Tab. 1 Přehled svařování [4]

<i>Svařování</i>	
tavné	tlakem
plamenem	kovářské
elektrickým obloukem	elektrickým odporem
elektrovibrační navařování	termitem tlakové
Plazmatem	třením
termitem bez použití tlaku	tlakem za studena
elektrostruskové	difúzní
proudem elektronů	ultrazvukem
světelným paprskem (LASER)	výbuchové

2.4 Základní materiály

Kovů používaných v technické praxi je velmi mnoho. Daleko více než čistých kovů se však používá slitin, kdy vhodnou kombinací různých kovů nebo kombinací kovů s nekovy lze získat vlastnosti, které jsou u čistých kovů často nedosažitelné. Různým tepelným zpracováním, tvářením za tepla či studena lze dále ovlivnit vlastnosti používaných kovů a slitin. Rychlý rozvoj techniky vede k výzkumu a vývoji stále nových slitin. [4]

2.4.1 Oceli konstrukční tvářené

Tvářené oceli se vyrábějí v mnoha jakostech a podle ČSN EN 1002 se označují číselnou značkou, kterou tvoří pětimístné číslo. První číslice ve značce tvářené oceli je vždy 1. První dvojčíslí udává třídu oceli. V tab. 2 je přehledně uvedeno rozdělení ocelí podle tříd. Význam dalších číslic v číselném označování ocelí se liší podle třídy oceli. [4]

Tab. 2 Rozdělení ocelí [4]

třída oceli	použití oceli	stupeň legování		chemické složení	
10	konstrukční	nelegované		zpravidla není zaručeno - předepsány hodnoty mechanických vlastností	
11				zaručen obsah C, P, S - předepsány hodnoty mech. vlastností	
12				zaručen obsah C, Mn, Si, P, S	
13		legované	nízko a středně legované		legovací prvky Mn, Si
14					legovací prvky Cr, Mn, Si, Cr + Al
15					legovací prvky Mo, Cr - Mo
16					legovací prvky Ni, Cr - Ni, Ni - V
17		středně a vysoko legované	legovací prvky Cr, Ni, Cr - Ni, Cr - V		
19	nástrojové	nelegované		zaručen obsah C, Mn, Si, P, S	
		legované	nízko, středně i vysoko legované	legovací prvky Cr, V, Cr - Ni, Cr - Mo, Cr - W	

2.4.2 Svařitelnost ocelí

Pojem svařitelnost není lehké definovat, i když má vyjádřit zdánlivě jednoduchou vlastnost materiálů a to jak lehce nebo těžce je lze spojit svařováním. Chování materiálu při svařování ale není čistě materiálovou záležitostí, neboť je ovlivňováno řadou dalších vlivů, mj. použitým způsobem svařování, přídavným materiálem a konstrukčním uspořádáním svařovaných dílů. Tyto vlivy na svařitelnost jsou zcela rozdílné povahy a především jsou na sobě nezávislé. [2]

Všeobecně se svařitelnost ocelí hodnotí podle chemického složení a podle největší tloušťky svařovaného průřezu. [2]

Stupně svařitelnosti jsou dány normou ČSN takto:

- a) zaručená svařitelnost (stupeň 1a)
- b) zaručená podmíněná svařitelnost (stupeň 1b)
- c) dobrá svařitelnost (stupeň 2)
- d) obtížná svařitelnost (stupeň 3)

Zaručená svařitelnost znamená, že výrobce zaručuje svařitelnost oceli při svařování až do 0 °C bez zvláštních opatření při svařování. Při svařování pod 0 °C zaručuje výrobce svařitelnost oceli jen při dodržení opatření, snižujících rychlost ochlazování svařovaných spojů. [2]

Zaručená podmíněná svařitelnost znamená, že výrobce zaručuje svařitelnost oceli při dodržení předem určených podmínek uvedených v materiálových listech ČSN. Svařitelnost je podmíněna pro danou tloušťku průřezu oceli tepelným zpracováním před svařováním, teplotou předehřevu, dohřevu, meziochlazení, tepelným zpracováním po svařování a měrným tepelným příkonem svařování. [2]

Dobrá svařitelnost znamená, že výrobce nezaručuje svařitelnost oceli, avšak u oceli je možno dosáhnout použitím vhodné technologie svařování ve většině případů vyhovující svarový spoj. [2]

Obtížná svařitelnost znamená, že u oceli nelze zpravidla dosáhnout vyhovující jakost svarového spoje, ani při dodržení zvláštních opatření při svařování. [2]

Z hlediska svařitelnosti ocelí je možno pro hrubou orientaci uvažovat následující zásady, v konkrétních případech jsou rozhodující materiálové listy. [2]

- uhlíkové oceli s obsahem C < 0,22 % při tloušťce do 25 mm mají zaručenou svařitelnost
- uhlíkové oceli s obsahem C = 0,22 až 0,5 % jsou zaručeně podmíněně svařitelné
- legované oceli s obsahem C do 0,22 % a C_e do 0,5 % jsou zaručeně podmíněně svařitelné
- oceli výše legované jsou zaručeně podmíněně až obtížně svařitelné

2.4.3 Výpočet uhlíkového ekvivalentu C_e

Vliv chemického složení oceli na její svařitelnost vyjadřujeme nejčastěji tzv. ekvivalentem uhlíku C_e, který vyjadřuje příspěvek jednotlivých legujících prvků ke kvalitnosti oceli. Čím se daná ocel snadněji zakalí, tj. roste nebezpečí vzniku křehkých zakalených struktur v TOO svarového spoje a ve svarovém kovu i při nižších rychlostech ochlazování, tím obtížněji se daná ocel svařuje. Proto je C_e zároveň ukazatelem svařitelnosti oceli z pohledu jejího chemického složení. Dominantní úlohu ve všech používaných formách ekvivalentního uhlíku má obsah uhlíku v oceli. Do některých vztahů pro jeho výpočet je zahrnuta i tloušťka svařovaného materiálu. Čím je tedy hodnota C_e materiálu větší, tím hůře se daný materiál svařuje. Do následujících vztahů pro výpočet C_e se dosazují obsahy prvků v oceli, nebo ve svarovém kovu v hm%. [5]

Podle původní ČSN 05 1310 se hodnota C_e vypočítala: [6]

$$C_e = C + \frac{Mn}{6} + \frac{Cr}{5} + \frac{Ni}{15} + \frac{Mo}{4} + \frac{Cu}{13} + \frac{P}{2} + 0,0024 \cdot s \quad [\%]$$

kde : s je tloušťka materiálu v mm

Tato rovnice platí pro materiály do obsahu prvků (v hmotnostních procentech):

C = 0,22 %, Mn = 1,6 %, Cr = 1 %, Ni = 3 %, V = 0,14 %, Cu = 0,3 %. [5]

Většina uhlíkových ocelí vyžaduje pro dosažení vyhovujícího spoje použití přehřevu.

Ke stanovení teploty je možné aplikovat vztah [6]

$$T = 350 \cdot \sqrt{[C] - 0,25} \quad [^{\circ}\text{C}]$$

2.4.4 Opatření ke zlepšení svařitelnosti

Svařitelnost materiálu musí být brána v úvahu již při návrhu konstrukce. Nebezpečí vzniku trhlin u různě obtížně svařitelných ocelí se zmírňuje opatřeními, které mají všechny v podstatě jeden účel, a to zabránit vytvoření křehkého pásma, neboli zachovat oceli jistou schopnost plastické deformace. Již předem musí být řešeny otázky předehřevu svařovaného materiálu, žihání, pracovního postupu při svařování, volby elektrod a zvolena další vhodná opatření. Mezi opatření ke zlepšení svařitelnosti patří:[7]

- předehřev
- žihání k odstranění vnitřních pnutí
- normalizační žihání
- vliv pracovního postupu na svařitelnost
- elektrody
- další opatření

2.5 Svařování elektrickým obloukem

Elektrický oblouk je v současné době nejrozšířenějším zdrojem tepla používaným pro tavné způsoby svařování. Elektrický oblouk je možno ovlivňovat a měnit jeho vlastnosti a tvar. Děje probíhající v elektrickém oblouku jsou velmi složité a probíhají velmi rychle za vysokých teplot. K tomu, aby bylo možno technologicky využít ovlivnění vlastností elektrického oblouku, je nutné znát základní principy dějů probíhajících v elektrickém oblouku. [8]

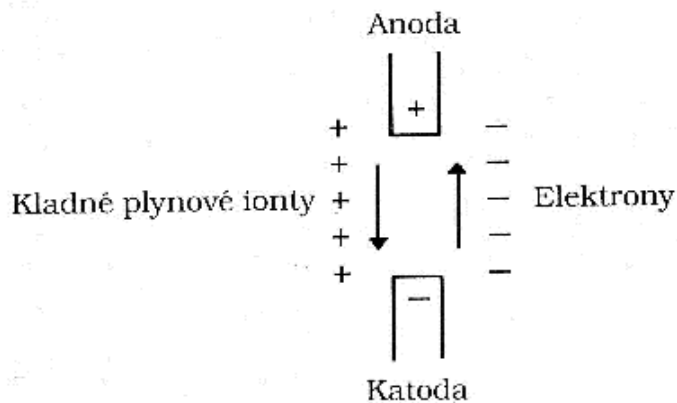
Při obloukovém svařování je jako zdroj tepla využíván elektrický oblouk hořící mezi elektrodou a svařovaným materiálem, který taví kov elektrody a taví povrch základního materiálu. Roztavený kov elektrody přechází sloupcem oblouku do tavné lázně a slitím tohoto přídavného materiálu a nataveného základního materiálu vzniká svar. [7]

2.5.1 Svařovací oblouk

Svařovací oblouk je elektrický výboj kruhového průřezu, který prochází horkým ionizovaným plynem. Proud k udržování sloupce plazmy v ionizovaném stavu musí být dostatečný a napětí vyšší než je ionizační napětí. Pro svařovací oblouk je charakteristické napětí 10 až 50 V a proud 10 až 2000 A. V oblouku jsou na žhavé katodě uvolňovány

elektrony, ty procházejí sloupcem oblouku (vodivou plazmou) a jsou odváděny anodou. Teplota oblouku je přes 5000 °C. Poměry přesunu částic v oblouku ukazuje obr. 2. [7]

Obr. 2 Přesuny částic v oblouku [7]



Oblouk tvoří následující oblasti: [7]

- Katodová skvrna, to je část povrchu žhavé katody. Podle geometrie a teploty katody je buď stabilní, anebo se po povrchu katody přemísťuje.
- Oblast katodového úbytku napětí, což je prostor těsně u katody o tloušťce asi 0,1 mm. Nastává zde prudký úbytek napětí (cca 8 až 16 V).
- Sloupec oblouku, to je prostor mezi elektrodami, jasně září a dosahuje vysoké teploty (přes 5000 °C). Pokles napětí je v této oblasti rovnoměrný a závisí na délce oblouku. Fyzikálně je sloupec oblouku tvořen plazmatem. Vedení proudu ve sloupci oblouku zajišťují hlavně elektrony, neboť mají nesrovnatelně menší hmotnost než nejmenší ionty a pohybují se mnohem rychleji ve spádu napětí. Kladné ionty se při nižších hodnotách proudu pohybují od anody ke katodě účinkem přitažlivých elektrostatických sil. Nad určitou kritickou hodnotu proudu začne ale plazma proudit směrem od elektrody k základnímu materiálu bez ohledu na polaritu. Tento jev souvisí s intenzitou kruhového magnetického pole, které je indukováno proudem protékajícím obloukem, a působí na plazma silou, která směřuje vždy k základně kužele oblouku, to je od elektrody k základnímu materiálu. Rychlost proudění dosahuje hodnot 10 až 100 m/s , což podstatně ovlivňuje rozdělení teplot ve sloupci oblouku a tepelný účinek oblouku.

- Oblast anodového úbytku napětí leží u anody a má malou tloušťku. Dochází tam k prudkému úbytku napětí
- Anodová skvrna je oblast na anodě, kde jsou pohlcovány elektrony.

Elektrický oblouk má výrazné tepelné a mechanické účinky na své okolí. Rozdělení tepla na obě elektrody není rovnoměrné. Obecně se na kladné elektrodě získá více tepla než na záporné, neboť katoda se ochlazuje termoemisí elektronů a anoda se jejich dopadem zahřívá. Poměr rozdělení tepla na elektrodách závisí na materiálu elektrod, prostředí, v němž oblouk hoří, na druhu elektrického oblouku. Elektrický oblouk může působit na tavnou lázeň značnou silou. Vlivem této síly se v tavné lázni vytváří prohlubeň, tím se obnažuje nenatavený materiál a vytváří se předpoklad pro dosažení hlubokého závaru. Při obloukovém svařování stejnosměrným proudem hovoříme o přímé polaritě oblouku, je-li na elektrodě pól minus a na základním materiálu pól plus. V opačném případě jde o nepřímou polaritu. [7]

2.5.2 Obloukové svařování v ochranných atmosférách

Svařování v ochranných atmosférách patří v současné době k technologiím, které se ve strojírenských podnicích nejvíce rozvíjejí a uplatňují se ve všech oborech svařovaných konstrukcí. Přehledné rozdělení svařování v ochranných atmosférách najdeme v tab. 3.[9]

Tab. 3 Rozdělení svařování v ochranných atmosférách [7]

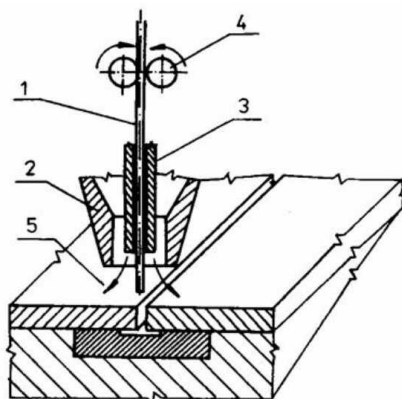
Svařování v ochranných atmosférách						
<i>netavící se elektrodou (WIG)= TIG</i>		<i>tavící se elektrodou</i>				
ruční	automatické	v ochranné atmosféře Ar He (MIG)		v ochranné atmosféře CO ₂ , směsné plyny (MAG)		trubičkovou elektrodou s vlastní plynovou ochranou (MOG)
		poloautomatické	automatické	poloautomatické	automatické	

Při obloukovém svařování v ochranných atmosférách hoří oblouk obklopen atmosférou ochranného plynu, který je přiváděn hořákem. Elektroda, oblouk i tavná lázeň je chráněna ochranným plynem před účinky okolní atmosféry. Jako ochrana se používá inertní nebo aktivní plyn. [7]

Svařování MIG/MAG

Princip svařování elektrickým obloukem v ochranných atmosférách MIG/MAG je na obr. 3.

Obr. 3 Princip svařování MIG/MAG [10]



- 1 svařovací drát
- 2 hubice
- 3 přívod elektrického proudu
- 4 podávací kladky
- 5 ochranný plyn

Svařování MIG

Jedná se o svařování kovovou tavící se elektrodou (drát) v inertním plynu, nejčastěji argonu nebo heliu, či jejich směsi. Oblouk hoří mezi drátem a základním materiálem a je zcela obklopen inertním plynem. Drát je na cívce a podávacím mechanismem je podáván do svařovacího hořáku. Povrch tavné lázně je chráněn též inertním plynem. Plyn nereaguje s materiálem, a proto je metoda MIG používána často pro svařování hliníku, mědi, titanu a dalších neželezných kovů. [7]

Svařování MAG

Svařování metodou MAG využívá kovovou tavící se elektrodu a aktivní plyn, dříve CO_2 , dnes směs CO_2 , argonu, kyslíku apod. Oblouk hoří mezi tavícím se drátem a základním materiálem. Drát je na cívce a je podáván do hořáku podávacím mechanismem rychlostí, která odpovídá jeho průměru a svařovacímu proudu. Ochrana svařovací lázně je prováděna prostřednictvím aktivního plynu. Plyn vstupuje do chemických reakcí. Svařování MAG se používá ke svařování nelegovaných, nízkolegovaných a vysocelegovaných ocelí. [7]

Vzhledem k tomu, že svařovací zařízení je pro metodu MIG i MAG stejné (mění se ochranný drát, případně drát) a i charakter svařování je podobný, bude v dalším textu uváděno často označení MIG/MAG svařování. [4]

Ochranné plyny

Na druhu ochranného plynu, použitého při svařování MIG/MAG, závisí hloubka závaru, šíře svaru, povrch svaru, příp. nebezpečí vzniku vrubů atd. Vhodnou volbou ochranného plynu se dosáhne nejen dobrých mechanických vlastností svaru a jeho vhodné metalurgické struktury, ale zvýší se i rychlost svařování a omezí se rozstřík kovu na minimum. To může přinést velký ekonomický efekt. [7]

Plyny pro svařování MIG/MAG

Zde vynecháme plyny pro svařování MIG a zaměřím se pouze na MAG, z důvodu většího využití při svařování ocelí.

Jako aktivní plyn se používají pro svařování MAG směsné plyny CO₂ s velkým podílem argonu a přídavky kyslíku. Směsné plyny se používají jen pro svařování ocelí. Samotný CO₂ dává pravidelný hluboký závar, zabezpečuje úzkou a převýšenou svarovou housenku. Používá se při svařování nelegovaných a omezeně při svařování nízkolegovaných ocelí. [7]

Směsi argon – oxid uhličitý: Pro svařování nelegovaných a nízkolegovaných ocelí se často používají směsné plyny na bázi argonu s obsahem CO₂ od 10 do 25 %. Ve srovnání se svařováním čistým argonem dochází k hlubšímu závaru, je menší citlivost ke vzniku pórů a tvoří se více strusky. Při použití vhodných parametrů lze svařovat zkratovým, sprchovým i impulzním přenosem s malým rozstříkem. Zvláště vhodné je použití Ar/CO₂ směsného plynu pro svařování tenkých plechů. Směsi se zvýšeným podílem CO₂ jsou výhodně používány při svařování v polohách, při svařování shora dolů a při tlustším materiálu. [7]

Směsi argon – kyslík: V technické praxi se používají pro svařování MAG ocelí směsné plyny na bázi argonu s kyslíkem. Obsah kyslíku bývá zpravidla od 1 do 5 %. Kyslík v oblouku způsobuje sprchový přenos kovu, a to i při nízkém svařovacím proudu. Obsah kyslíku vede k široké, pouze mírně převýšené svarové housence, s povrchem ve tvaru jemných šupinek. Vzhledem k bezzkratovému přenosu kovu je malý rozstřík kovu. Teplota svarové lázně při použití Ar/O₂ směsí je zvýšená. Ve směsném plynu na bázi Ar/O₂ je možný stabilní sprchový i impulzní přenos kovu. Ve srovnání se směsí Ar/CO₂ pracovní rozsah pro sprchový přenos začíná již u nízkého výkonu. Kapky kovu jsou jemné. [7]

Směsi argon – oxid uhličitý – kyslík: V praxi se používají i tříložkové směsné plyny. Obvykle obsahují 5 až 14 % CO₂, 3 až 6 % O₂ a zbytek Ar. Tyto směsné plyny jsou vhodné pro svařování nelegovaných ocelí a nízkolegovaných ocelí. Pro austenitické chromniklové oceli, s korozní odolností, lze použít směsné plyny pouze při obsahu CO₂ menším než 5 %. V těchto směsích se spojují výhody Ar/CO₂ a Ar/O₂. Směsi Ar/CO₂/O₂ jsou při zkratovém procesu velmi vhodné pro svařování tenkých plechů a tam, kde je potřeba překlenout větší spáry. Při sprchovém přenosu při větších výkonech oblouku jsou kapky kovu v oblouku velice jemné a proces téměř bez rozstříku. [7]

Dráty

Pro metody obloukového svařování se používá přídavný materiál ve formě drátu, který je navinut na cívce. Cívky jsou z plastu, nebo drátěné. Obvykle je na cívce namotáno 15 kg ocelového drátu. Pro svařování nelegovaných a nízkolegovaných ocelí metodou MAG je důležité, aby byl v materiálu drátu přítomen mangan a křemík. Tyto prvky zajišťují dezoxidaci svarové lázně při použití aktivní ochranné atmosféry. Oba prvky se slučují s kyslíkem a vzniklé lehce tekuté oxidy zůstávají jako tzv. skelná struska na svarové housence. [7]

Přenos kovu u MIG/MAG svařování

U metody MIG se používá: [7]

- a) sprchový přenos s jemnými kapkami kovu v širokém rozmezí výkonu a odtavování
- b) impulzní přenos kovu pro vyšší výkony a odtavování

U metody MAG se směsným plynem se používá: [7]

- a) zkratový přenos při malých výkonech a malém odtavování
- b) kapkový přenos při středních výkonech
- c) sprchový přenos při vysokém výkonu a odtavování
- d) impulzní přenos kovu

U metody MAG s CO₂ se používá: [7]

- a) zkratový přenos
- b) kapkový přenos
- c) sprchový přenos

Zdroje pro svařování MIG/MAG

Pro svařování metodami MIG/MAG se používá stejnosměrný proud. V zásadě se používají usměrňovače různých druhů. Pro poloautomatické svařování MIG/MAG mají zdroje plochou statickou charakteristiku. Podavače drátu obvykle podávají drát konstantní rychlostí a při změně délky oblouku se mění poloha pracovního bodu na statické charakteristice a mění se významně svařovací proud, a tím dochází k rychlejšímu nebo pomalejšímu odtavování drátu. Délka oblouku se stabilizuje v rovnovážné poloze. Toto je možné jen při ploché statické charakteristice zdroje. Často se hovoří o statické charakteristice s konstantním napětím. Pro svařování metodami MIG/MAG existují tato zařízení: [7]

- a) Kompaktní s integrovaným podavačem drátu přímo ve svařovacím zdroji.
- b) Zdroj s odděleným podavačem drátu, kdy je podavač drátu se zdrojem spojen spojovacím kabelem a je umístěn buď přímo na zdroji, nebo je ho možno umístit mimo. Obvykle může být vzdálenost spojovacího vedení od zdroje k podavači 20 metrů u vodou chlazených hořáků a 40 metrů u vzduchem chlazených hořáků. Délka vedení od podavače drátu k vlastnímu hořáku bývá 3 až 5 metrů.
- c) Kompaktní s přídatným podavačem drátu. Tato sestava je někdy nazývána Push-Pull-Motor. Cívka drátu s podavačem, který tlačí drát, je ve zdroji a přídatný podavač, umístěný ve vzdálenosti 10 až 20 metrů, má kladky a pomáhá táhnout drát. Výhodou tohoto uspořádání je, že přídatný podavač nemá cívku drátu, a je tedy lehký. Hodí se zejména pro svařování na konstrukcích.
- d) S podavačem přímo v hořáku, kdy je malá cívka drátu a podávací mechanismus umístěny přímo v hořáku. Použití je opodstatněné pouze při svařování hliníku s tenkým drátem.

Podavač drátu

Pro svařování MIG/MAG je přídatným materiálem drát, který je podáván do hořáku. K podávání slouží podavač drátu, zabudovaný ve zdroji svařovacího proudu nebo umístěný odděleně. Podavač musí zajistit konstantní rychlost podávání bez poškození povrchu drátu. [7]

Hořáky MIG/MAG

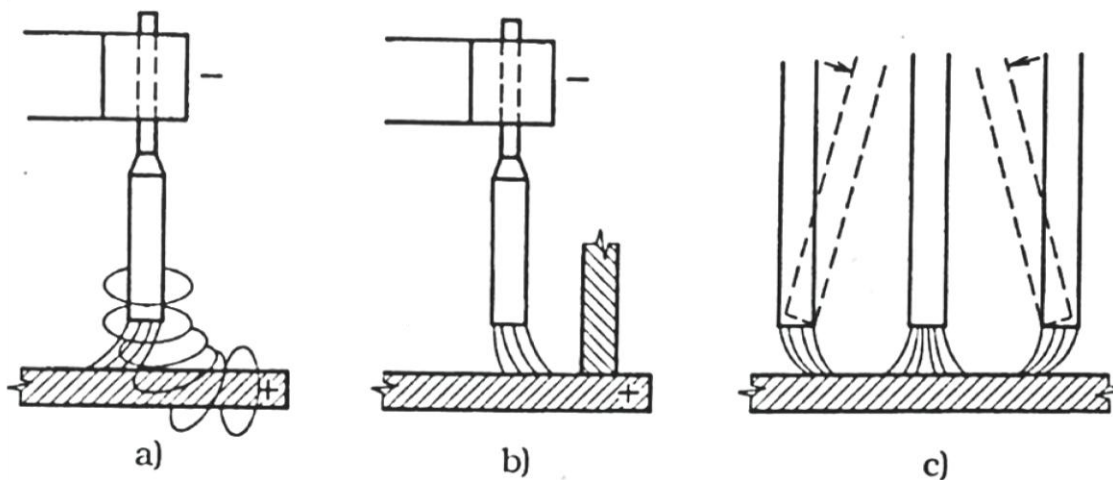
Pro svařování MIG/MAG se používají hořáky, kterými je přiváděn drát, svařovací proud na drát a ochranná atmosféra. Hořáky buď využívají ke svému chlazení plyn, nebo

pro větší svařovací výkony jsou chlazeny vodou. Konstrukčně jsou řešeny jako ruční a strojní. [7]

Foukání oblouku

Foukání oblouku může být způsobeno vícero příčinami (obr. 4). Společným znakem všech příčin je, že kolem každého vodiče, kterým prochází proud, je magnetické pole. Mezi póly může docházet k odchylování oblouku od normálního směru. [11]

Obr. 4 Foukání oblouku [7]



- a) při nevhodném umístění přípoje uzemňovacího kabelu
- b) při svařování v blízkosti žebra
- c) při naklápění elektrody

Přenos kovu v oblouku

Při obloukovém svařování tavící elektrodou dochází ve sloupci oblouku k přenosu roztaveného kovu elektrody do svarové lázně. Tento přenos se děje různými způsoby, je ovlivňován především proudovou hustotou (udává proud tekoucí elektrodou vztážený na jednotku obsahu elektrody – A/m^2), napětím (délkou oblouku), atmosférou, obalem elektrod a polaritou. Vlastní mechanismus oddělení jedné kapky roztaveného kovu od elektrody a její přechod sloupcem oblouku je závislý na mnoha fyzikálně-chemických faktorech. Především se jedná o silové účinky iontů a elektronů, elektrostatické a elektrodynamické síly způsobené elektromagnetickým polem, silový účinek vypařování a tepelných proudů, silový účinek zemské tíže, povrchového napětí, chemických reakcí aj. Při svařování obalenou elektrodou není vždy pro přenos kovu v oblouku rozhodující

polarita. Složky obalu elektrody mohou snižovat účinek proudu elektronů zvýšeným množstvím snadno se ionizujících prvků v oblouku. Pro složení obalu elektrody není však rozhodující jen hledisko stability oblouku, ale i hledisko metalurgické. [7]

Zkratový přenos

Při tomto typu přenosu kapka roztaveného kovu z elektrody při dotyku s tavnou lázní vytvoří zkrat mezi elektrodou a tavnou lázní. Po přerušení zkratu se opět zapálí oblouk. K zapálení oblouku dojde v důsledku rostoucího proudu a přerušení tzv. krčku mezi elektrodou a kapkou. Celý proces je charakterizován údobím hoření oblouku a údobím zkratu. Tento proces kovu je uskutečňován při nižším napětí a podkritickém proudu. [7]

Kapkový přenos

Při kapkovém přenosu kovu obloukem se odtavují menší kapky s frekvencí 20 až 50 kapek za sekundu. Nedochází ke zkratům. Pokud se používá pulzující proud, odpovídá frekvence přenosu kapek frekvenci pulzace proudu. Kapkový přenos je charakterizován pro obloukové svařování v ochranné atmosféře CO₂ [7]

Sprchový přenos

Je to bezzkratový druh přenosu. Kapky tekutého kovu jsou jemně rozptýleny (tvoří tzv. sprchu), a pohybují se ve směru osy elektrody. Sprchový přenos vzniká při vyšším proudu (nadkritické proudové hustotě) a delším oblouku (vyšším napětí). Je typický pro obloukové svařování v ochranné atmosféře bohaté na argon. Při tomto typu přenosu kovu se dosahuje vysoký výkon odtavení. [7]

3 Robotizovaná pracoviště pro svařování

Růst produktivity práce při výrobě svařovaných konstrukcí je možno řešit technologičností konstrukce, volbou optimální technologie a technologického postupu. V posledních letech se zde objevují další faktory, a to komplexní mechanizace, automatizace a využití průmyslových robotů. [12]

Při návrhu robotizace je nutno uvažovat několik hledisek: svařovací robot, svařenec, celková ekonomie projektu. Hledisko svařovacího robotu je dáno technickými parametry soustavy robot – polohovadlo. Z hlediska svařence je nutno řešit problematiku technologičností konstrukce, a z hlediska ekonomie je nutno zvážit, že ne každý svařenec je vhodný pro robotizaci. [13]

3.1 Způsoby automatizace obloukového svařování

Snahou automatizace je nejenom automatizovat samotné technologické procesy, ale též další pomocné a vedlejší operace. Z hlediska mechanizace a automatizace svařování je třeba vzít v úvahu vlastní svařovací proces a manipulaci při svařování. Manipulaci při svařování je nutno rozdělit: [14]

- na manipulaci se svařovacím hořákem, tj. pohyb podél dráhy svaru a jeho optimální polohování v prostoru z technologických důvodů
- na posuv přídavného materiálu do tavné lázně
- na manipulaci se svařencem, čímž je míněno především jeho polohování z hlediska přístupu, vychystávání, doprava svařenců apod.

Jednotlivé, dnes používané způsoby svařování, lze podle stupně mechanizace a automatizace rozdělit do několika skupin. [14]

- stupeň 1- bez mechanizace
- stupeň 2- částečná mechanizace
- stupeň 3- plná mechanizace
- stupeň 4- automatizace
- stupeň 5- automatizace s předem zvoleným programem
- stupeň 6- automatizace s adaptabilními vlastnostmi
- stupeň 7- automatizace s optimalizovaným programováním

Z předchozího rozdělení je dobře patrné, že o automatizaci na úrovni robotizace je možno uvažovat až od pátého stupně. Hlavní důvody, pro které se obloukové svařování automatizuje pomocí průmyslových robotů, je možno rozdělit do tří skupin: [14]

a) na technické

- pružnost výroby
- zlepšení kvality výrobků
- snížení zmetkovosti
- zlepšení rytmičnosti výroby

b) na ekonomické

- zvýšení výrobnosti
- vysoké využití strojů
- zvýšení koeficientu směnnosti
- úspora pracovního místa
- uvolnění pracovníků s možností jejich převedení na jiná pracovní místa
- zmenšení ztrát spojených s lidskou obsluhou (rovnoměrný výkon během celé směny)
- zmenšení fluktuace
- vyřešení nedostatku pracovních sil

c) na sociální

- vyřazení člověka z fyzicky namáhavé a monotónní práce
- vyřazení člověka ze zdraví škodlivého prostředí (snížení úrazů a chorob z povolání)

Podle dnešních měřítek a možností se automatizace výrobních procesů rozděluje v zásadě na dvě skupiny: [14]

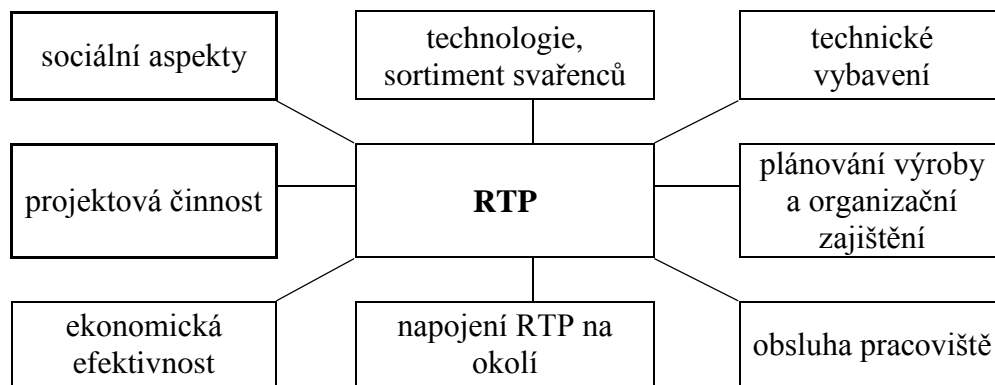
- automatizaci tvrdou
- automatizaci pružnou

Obloukové svařování je z hlediska svých nároků velmi specifická oblast. Výhodné vlastnosti průmyslových robotů umožní jejich ekonomické nasazení i v oblastech, které se na první pohled zdají nejlépe řešitelné klasickou tvrdou automatizací. Na druhé straně moderní průmyslové roboty promyšlených konstrukcí s jednoduchým způsobem programování začínají pronikat i do nižších stupňů výrob – malosériových, případně i kusových. [14]

3.2 Navrhování a realizace robotizovaných pracovišť

Navrhování a realizace robotizovaného pracoviště je komplexní a značně náročná činnost, která v sobě zahrnuje celou řadu vzájemných a pro úspěch akce neopominutelných souvislostí. Informativně jsou tyto souvislosti znázorněny na obr. 5. [14]

Obr. 5 Znárodnění souvislostí při návrhu a realizaci robotizovaného pracoviště [14]



Obecně je možno celou problematiku rozdělit do dvou velkých skupin, charakteru technického a sociálního. Některé z těchto činností zajišťují pracovníci podniku, který robotizaci plánuje, jiné je vhodné zadat odborné organizaci. Není prakticky možné, aby tuto činnost realizoval pouze jeden pracovník. Rozsah prací je velký a náročný, a je proto vždy lepší, když se problematikou zabývá odborně zdatný tým pracovníků. [14]

Trend komplexních pracovišť nabývá v poslední době na významu sestavováním složitějších pracovišť s více průmyslovými roboty a manipulátory, eventuelně linek. Lze říci, že pracoviště s robotem a dvoukolovým polohovadlem, respektive dvěma polohovadly se stala již zcela běžná. Výjimkou není již ani umístění robota na pojezdu, které budilo v minulosti značný rozruch. Obecně se komplexní pracoviště skládá z následujících komponentů: [15]

- průmyslový robot
- řídicí systém
- polohovadlo
- svařovací vybavení
- svařovací přípravek
- systém operační manipulace
- ostatní vybavení

Požadavky na parametry svařovacích robotů pro obloukové svařování vyplývají z potřeb svařovací technologie. Co se týče pracovního prostoru, resp. pracovních dosahů, nejsou rozměry pracovních zón průmyslových robotů pro obloukové svařování ve většině případů příliš veliké. Častější a modernější řešení je však použití robotů s menším dosahem ve spojení s lineárním pojezdem, na kterém může robot zaujímat různé polohy podle programu. Pracovní prostor robota tak lze několikrát zvětšit. Pracovní rychlosti jsou v celkové relaci k ostatním robotům dosti vysoké a dosahují i více než 1000 mm/s. Velká rychlost přemístění koncového členu je dána většinou používanými elektrickými pohony především nízkou hmotností manipulovaného předmětu, tj. v tomto případě svářecího hořáku. Tím se dostáváme k dalšímu základnímu parametru, tj. nosnosti koncového členu. Lze říci, že naprostá většina průmyslových robotů používaných pro obloukové svařování má nosnost 3 – 6 kg, max. 10 kg, což je pro manipulaci s hubicí zcela postačující. Dalším základním a velice důležitým parametrem je přesnost polohování koncového členu. Obecně lze říci, že polohovací přesnost průmyslových robotů pro obloukové svařování se pohybuje průměrně v rozsahu $\pm 0,5$ mm. Ke kinematice robotů a jejich pracovnímu prostoru lze v zásadě říci, že pro obloukové svařování se úspěšně používají roboty pracující ve všech systémech souřadnic i jejich kombinacích. Časté je kinematické schéma ve sférických souřadnicích, kde pohyb koncového členu robota je limitován sférickou plochou. [15]

3.3 Technická příprava pracoviště

Pro první posouzení možností nasazení průmyslového robotu je rozhodující dostatečný sortiment vhodných svařenců, jejichž výběr je nutno provést v odpovídajícím předstihu. Vlastní výběr je součástí technické přípravy, která obsahuje ještě vypracování technologických postupů, návrh a v případě očekávané realizace také konstrukci a výrobu svařovacích přípravků. [14]

3.3.1 Výběr vhodných svařenců

Vhodný svařenec pro svařování na robotizovaném pracovišti musí splňovat soubor předpokladů a podmínek, nutných k úspěšnému svařování robotem s minimálními technologickými potížemi. Při vlastním výběru se posuzují tyto okruhy problémů: [14]

a) geometrie svařence

- velikost
- tvar
- členitost
- počet dílů v sestavě
- hmotnost apod.

b) technologické

- velikost a tvar svarů
- poloha svarů v prostoru, přístupnost
- vliv tepelných deformací
- možnosti přípravy dílů
- požadavky na konstrukci přípravků
- přesnost sestavy

c) konstrukční

- úprava svařence z hlediska robotizovaného svařování

3.4 Technologie vhodné pro robotizované svařování

Jenom některé z běžně užívaných technologií obloukového svařování jsou vhodné pro robotizaci. Zvolená metoda svařování pro tento typ automatizace musí mít plynulé podávání svařovacího drátu a vhodnou ochranu tavné lázně. Ze známých metod obloukového svařování, které uvedeným podmínkám vyhovují, se běžně používá svařování v ochranných plynech metodami MIG a MAG. Z fyzikálních metod přichází v úvahu pro robotizované svařování laserový paprsek a plazma. Svařování metodami MIG a MAG jsou se zařízením s plynulým podáváním drátu v aktivním ochranném plynu. V robotizaci je nejvíce rozšířena metoda MAG. V souvislosti s plynou ochrannou atmosférou je třeba poznamenat, že každý druh ochranného plynu spoluvytváří specifické technologické podmínky svařování. [14]

3.5 Projektování robotizovaných pracovišť a postup při navrhování a realizaci robotizovaných pracovišť

Dokumentace k projektování robotizovaných pracovišť obsahuje: [14]

- základní technicko-ekonomické zadání
- úvodní projekt

- projekt
- dokumentaci o skutečném provedení

Robotizovaná pracoviště si svými specifickými technickými i ekonomickými problémy vyžádala nové přístupy ke zpracování. Algoritmus řešení od výběru vhodných svařenců až po jeho odevzdání do trvalého provozu vypadá zpravidla takto: [14]

1. výběr vhodných pracovišť pro automatizace pomocí průmyslových robotů
2. vypracování základního ekonomického zadání
3. rozhodnutí o realizaci, způsobu financování a zabezpečení všech komponentů
4. objednání typových komponentů a projektových prací
5. vypracování projektové dokumentace, výrobních dokumentací chybějících účelových doplňkových zařízení, elektrodokumentace a programů automatického řízení
6. výroba atypických zařízení
7. dodávky, montáž a odladění jednotlivých komponentů a komplexního ATP
8. ověřovací provoz, výkonové zkoušky a odevzdání do trvalého provozu
9. záruční a pozáruční servis

3.6 Robotizované systémy

V nejširším slova smyslu jsou robotizované systémy relativně složité celky, které nelze omezit pouze na vlastní průmyslový robot. Nutno chápat jakou soubor celé řady vzájemně spolupracujících zařízení. Robotizovaná pracoviště se uplatňují ve výrobním procesu buď jednotlivě (RTP), nebo skupinově (RTK), nebo jako pružné výrobní systémy (PVS). [14]

Robotizované pracoviště je účelové seskupení výrobních zařízení a průmyslového robotu, které autonomně a v automatickém pracovním cyklu vykonává manipulační nebo technologické operace daného výrobního procesu, případně jeho části. Na robotizovaném pracovišti vykonávají jednotlivá výrobní zařízení a průmyslový robot společnou manipulační nebo technologickou operaci v rámci výrobního procesu. Mohou se vyskytnout následující seskupení základních výrobních zařízení (VZ) a průmyslových robotů (PR): [14]

1. jeden PR a jeho základní VZ
2. jeden PR a několik základních VZ
3. více PR a jedno základní VZ
4. průmyslový robot a automatický bezobslužný výrobní stroj integrovaný společným řídicím systémem

Robotizovaný komplex je soubor dvou nebo více robotizovaných pracovišť a prostředků automatizované mezioperační manipulace, které realizují v automatickém pracovním cyklu návazné technologické a manipulační operace. Pružný výrobní systém je složen z automaticky pracujících výrobních strojů, propojených s automatickým manipulačním zařízením a systémem řízení celého výrobního procesu. Konečným cílem robotizace není pochopitelně jednotlivé nasazování robotizovaných pracovišť ale automatizace celé výroby, a to nejenom z hlediska vlastního svařování a manipulace, ale také z hlediska jejich řízení a napojení na automatizovanou technickou přípravu. [14]

3.6.1 Vnitřní členění robotizovaného pracoviště

Celý tento výrobní systém lze z hlediska vnitřních funkcí rozdělit obecně na řadu subsystémů. Subsystémy robotizovaného pracoviště: [14]

- Technologická soustava – zajišťuje změnu geometrických, případně fyzikálně-mechanických vlastností objektů zpracování v souladu se stanovenou technologickou úlohou.
- Manipulace – z hlediska vlastního robotizovaného pracoviště lze vzhledem k jeho vnitřním funkcím i jeho napojení na okolí rozeznávat několik druhů manipulačních činností.
- Technologická manipulace – zabezpečuje pohyb technologické hlavice během operace svařování.
- Operační manipulace – zabezpečuje vhodnou polohu svařence.
- Mezioperační manipulace – zahrnuje přemísťování svařenců z dopravních prostředků na svařovací pracoviště a zpět.
- Manipulace dopravní – činnost, při které se svařence nebo jejich části přemísťují mezi jednotlivými pracovišti.
- Zdroje a rozvody energie – zabezpečuje zdroje, transformaci a rozvod energií pro všechny subsystémy RTP.

- Měření a kontrola – vykonává sledování a signalizaci požadovaných technologických a manipulačních funkcí. Odměřuje a kontroluje dosažení požadovaných poloh pracovních orgánů výrobních a pomocných zařízení.
- Řízení – systém řízení je nejsložitější a funkčně nejdůležitější. Zahrnuje shromažďování, zpracování a přenos informací o časovém a prostorovém pohybu polotovarů, svařenců, nástrojů, technologických hlavic, přípravků, pomocného materiálu a odpadu. Zajišťuje změny fyzikálně-mechanických a geometrických vlastností výrobků při realizaci technologické úlohy a zabezpečuje integrované řízení výrobního procesu.

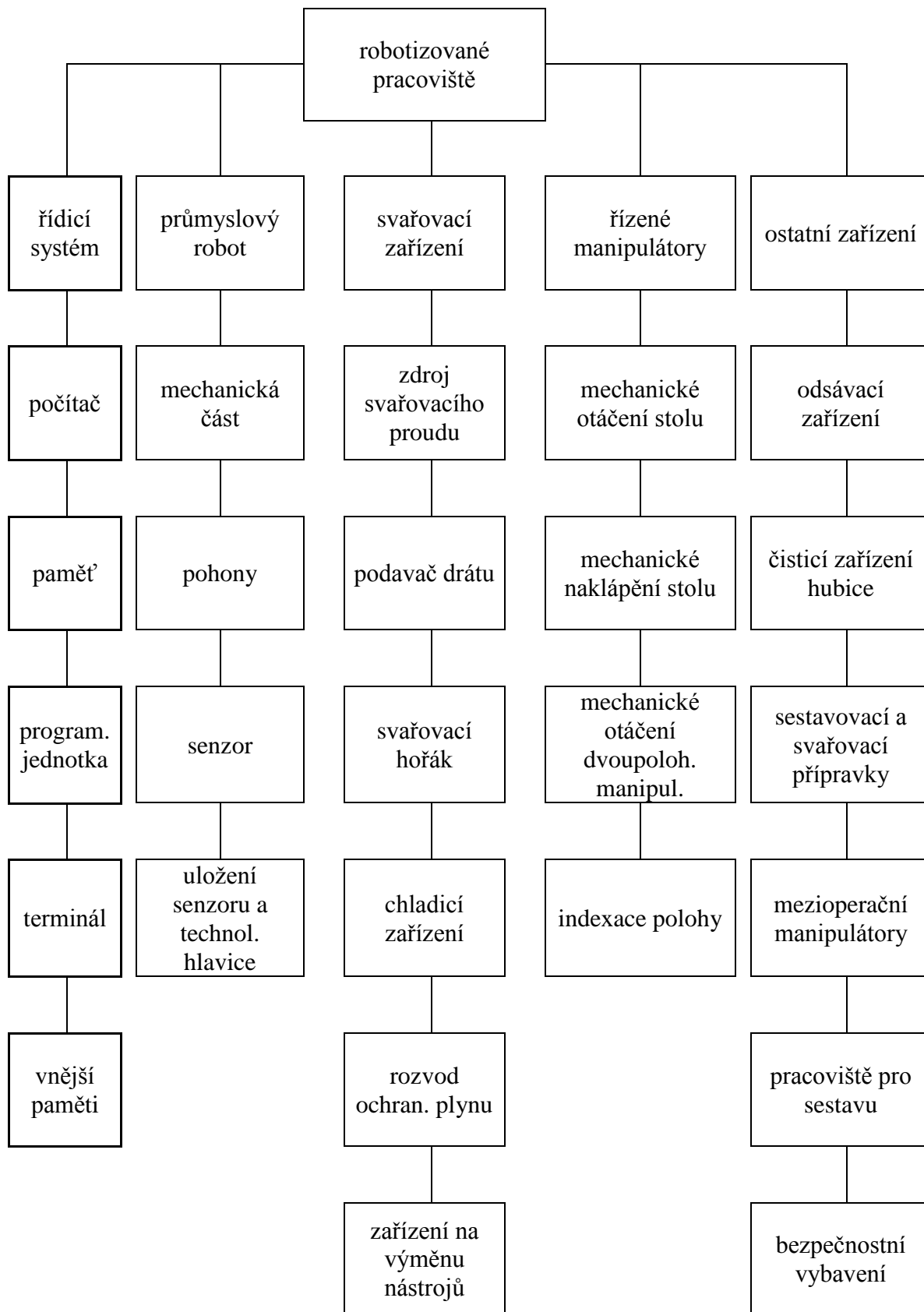
3.7 Technická vybavení obloukového svařovacího systému

Uspořádání robotizovaných pracovišť pro obloukové svařování se v posledních letech prakticky ustálilo. Vybavení se různí technickou úrovní jednotlivých komponentů. Základní vybavení svařovacího pracoviště pro technologii MAG je patrné na obr. 6. [14]

Průmyslový robot

I když se termín průmyslový robot velice dobře a rychle vžil a představa o konkrétním technickém zařízení je poměrná přesná, není vždy jeho definice jednotná. Různé průmyslové státy i přední odborníci se více či méně v přesném určení pojmu „průmyslový robot“ liší. Průmyslový robot je automatický stroj, obsahující manipulátor průmyslového robota se dvěma a více pohybovými osami a programovatelný řídicí systém na uskutečňování pohybových a řídicích funkcí ve výrobním procesu, které nahrazují analogické funkce člověka při přemísťování výrobních předmětů nebo technologického příslušenství. [14]

Obr. 6 vybavení svařovacího pracoviště pro technologii MAG [14]



3.9 Kinematické systémy průmyslových robotů

Obečně je možno napsat, že mechanická část robotu musí zajistit: [14]

- dosažení libovolného bodu v pracovním prostoru robotu (polohovací část mechanismu - sloup, naklápěcí a posuvná ramena)
- optimální technologickou orientaci svařovacího hořáku (orientační část mechanismu - zápěstí)

Uvedeným požadavkům vyhovují průmyslové roboty s kinematickým řetězcem, sestaveným z pěti nebo šesti dvojic. Pro využití všech kinematických struktur průmyslového robota mají hlavní význam, zejména ve svařování s neadaptabilním systémem řízení, dva parametry: opakovatelná přesnost polohování a pracovní prostor mechanismu. [14]

V obloukovém svařování se v současné době různou měrou uplatňují tři kinematické struktury polohovacího ústrojí průmyslového robota: [14]

- mechanismus se třemi translančními (posuvnými) dvojicemi „p-p-p“ - kartézský souřadnicový systém
- mechanismus se dvěma translančními a jednou rotační dvojicí „p-p-r“ - cylindrický souřadnicový systém
- mechanismus se dvěma rotačními a jednou translanční dvojicí „r-r-p“ - sférický souřadnicový systém
- mechanismus se třemi rotačními dvojicemi „r-r-r“ - angulární souřadnicový systém

Kinematika polohovacího ústrojí typu r-r-r

U struktury s kinematikou polohovacího ústrojí r-r-r je výsledná chyba mezi požadovanou a skutečnou polohou výstupní hlavice závislá na odlehlosti referenčního bodu od počátku souřadnicového systému, proloženého vertikální osou průmyslového robota. Tuto skutečnost si uvědomili výrobci robotů a omezili stavební délku ramen tak, aby zajistili požadovanou opakovanou přesnost $\pm 0,2$ mm. Tento konstrukční zásah nepříznivě ovlivnil pracovní prostor mechanismu a omezil aplikace na rozměrově relativně malé svařence. Popsané kinematické uspořádání je i přes uvedený negativní důsledek velmi rozšířené. Má totiž řadu významných předností. Jsou to: [14]

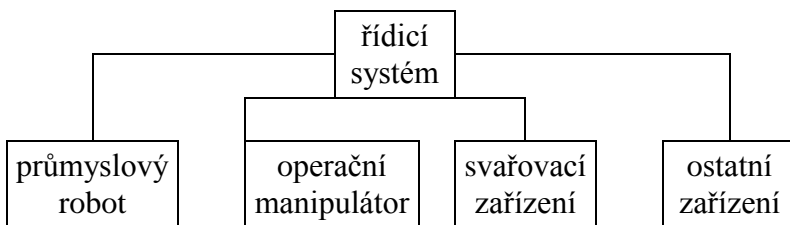
- technologické výhody při výrobě rotačních hlavních částí
- vysoké dosahované rychlosti manipulačních pohybů hlavic

- minimální zastavěné výrobní plochy
- možnosti jednoduchého rozšíření pracovního prostoru translační pohybovou jednotkou

3.10 Řídicí systém

Řídicí systém nahrazuje na robotizovaném pracovišti člověka - svářeče a přejímá proto jeho funkci řídicí a rozhodovací. Řídicí systém, na který jsou kladeny značné a specifické požadavky, zprostředkovává komunikaci robotu s ostatními stroji, a proto se považuje za řídicí systém celého technologického pracoviště (obr. 7). [14]

Obr. 7 Schéma řídicího systému[14]



Zvláštní podmínky činnosti řídicího systému plynou z nutného polohování technologické hlavice do libovolného místa pracovního prostoru robotu a z definovaných technologických podmínek procesu obloukového svařování. Jedná se o kontinuální změny polohy svařovací hubice během hoření oblouku, koordinaci jednotlivých pohonů na předepsanou postupovou rychlost hlavice po určených trajektoriích v prostoru, dále pak o změny svařovacích parametrů a poloh svařence během manipulačního cyklu o další funkce, nezbytné v automatizované činnosti a programování. Činnosti řídicího systému jsou: [14]

- ovládání pohonů průmyslového robota
- přijímání signálů, které charakterizují stav výrobního systému a vydávání povelů pro činnost RTP

Signály zpracovávané řídicím systémem robotu jsou všechny informace, které řídicí systém přijímá a poté je zpracovává. Podle jejich povahy se dělí na: [14]

- funkční - vypovídají o funkcích a dosažených stavech robotu
- podmínkové - vypovídají o činnosti RTP
- havarijní – informují ŘS o poruchách zařízení RTP

d) blokovací – vlivem těchto signálů se zastavuje činnost RTP

3.10.1 Způsoby řízení pohybu technologické hlavice

Pro řízení pohybu technologické hlavice se používají dvě metody: [14]

- bodové řízení – metoda PTP – Point To Point
- spojité řízení – metoda CP – Continuous Path

Metoda PTP – Bodové řízení je založeno na definování polohy v konkrétních bodech pracovního prostoru robotu. Dráha, po které se referenční bod hlavice pohybuje mezi dvěma zadanými prostorovými body, není v tomto případě definována. Situace je způsobena nekoordinovanými pohyby jednotlivých řízených pohonů mechanismu. [14]

Metoda CP – U spojitého řízení postupuje TCP po přímce, popřípadě po kružnici nebo parabole, a to od počátku do konečného bodu naprogramovaného pohybu. U této metody je definován vedle počátku a konce také průběh trajektorie TCP. Koordinace pohybů všech pohonů robotu je nutná pro realizaci pohybu referenčního bodu hlavice po předepsané trajektorii. Zařízení, kterého se využívá k regulaci rychlosti pohybu po určené dráze, se nazývá interpolátor. Hovoří se pak o interpolaci přímkové, kruhové, případně parabolické. [14]

3.10.2. Druhy provozu řídicího systému

Na robotizovaném svářečském pracovišti se obvykle používají tyto druhy provozu: [14]

- ruční
- poloautomatický
- automatický
- zápis programu
- čtení programu

Ruční řízení

Slouží k programování automatického výrobního cyklu, ke korekci poloh všech řízených os, k opravám rychlosti svařování a umožňuje manipulaci s robotem a manipulatory při poruchách a haváriích. [14]

Poloautomatické řízení

Uplatňuje se při kontrole nového programu. Během kontroly je možno provádět korekci svařovacích parametrů. Poloprovoz probíhá obvykle za snížených manipulačních rychlostí. [14]

Automatické řízení

Po dokončení programu, jeho kontrole a doladění je zahájen běžný uživatelský provoz s automatickým řízením za neomezených provozních parametrů. Během zápisu probíhá ukládání programu do vnější paměti. Při čtení probíhá opačný proces, program se převádí ze záznamu do hlavní paměti řídicího systému. Vlastní programování činnosti svařovacího robotu závisí na úrovni řídicího systému a provádí se buď přímým vedením svařovacího hořáku, nebo postupným naváděním koncového členu robotu do požadovaných poloh, či přímým zadáváním souřadnic. Nejužívanějším způsobem je postupné ruční programování poloh technologické hlavice robotu i svařence a pomocných funkcí. [14]

S rozvojem robotizace obloukového svařování vznikají další nároky, které mají zajistit následující speciální funkce: [14]

- programovatelné příčné kývání technologické hlavice
- adaptabilitu průmyslového robotu
- transformaci polohy svařence
- zrcadlové zobrazení

Příčné pohyby svařovacího hořáku (pendlování) u obloukového svařování patří mezi zvláštnosti ŘS schopnost snadného a úsporného programování příčné oscilace hořáku. Masovému rozšíření robotizace obloukového svařování stojí v cestě, vedle nedostatečné technologičnosti svařenců, nízká úroveň výroby detailů a sestav svařovacích konstrukcí. Neekonomické zásahy ve výrobě pro zajišťování rozměrové přesnosti detailů a sestav, určených k robotizaci pomocí pevných ŘS, je možno odstranit uplatněním adaptability. V oblasti svařovacích robotů se chápe adaptabilita jako schopnost PR přizpůsobit svou činnost výrobním podmínkám, odlišným od předpokládaných, a dosáhnout požadovaných vlastností. Vhodně aplikovaná adaptabilita přináší s sebou nejen úspory v přípravě sestav, ale i rozšíření robotizace do oblastí složitých rozměrných svařenců, vyžadujících bezpodmínečně roboty vyšší generace, Vyžaduje se od nich

schopnost poznat výrobní tolerance a začátek i konec svaru. Transformace polohy svařence je nejčastěji paralelní posunutí prostorových bodů, označené též jako posunutí 3D. Libovolné přímočaré posunutí programu v prostoru je definován vektorem, určeným směrem posunutí a vzdáleností shodného bodu svařence mezi původní a posunutou polohou. Tento rozdílový vektor je přičítán ke všem bodům původního programu. Zrcadlové zobrazování je méně časté. Ve strojírenství se často vyskytují svařence, které mají provedení pravé a levé a jsou zrcadlově shodné. Programuje se levá nebo pravá součást. Zrcadlový obraz programu provádí systém pomocí tří bodů na svařenci. [14]

3.11. Svařovací zařízení

Svařovací zařízení použité na robotizovaném pracovišti musí v podstatě splňovat dvě hlediska: [14]

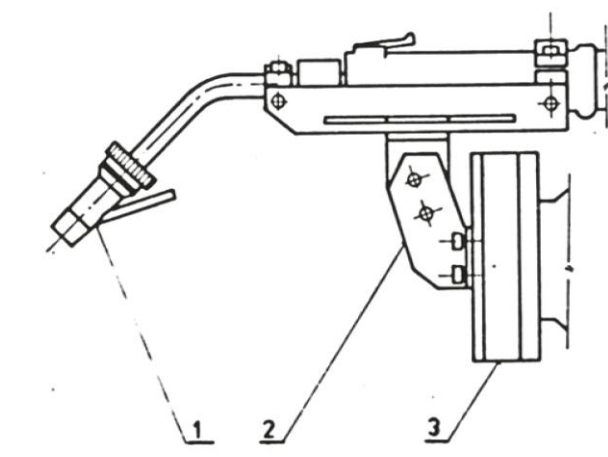
- požadavky technologické
- požadavky, které vyplývají z automatizace procesu svařování

Na rozdíl od poloautomatického způsobu svařování se počítá u robotizovaných systémů s vysokým využitím pracovní doby, které klade mimořádné nároky na všechny komponenty svařovacího zařízení. Robotizovaná pracoviště pro obloukové svařování využívají především metod s plynou ochrannou atmosférou. [14]

Technologická hlavice

Technologická hlavice je umístěna na zápěstí robotu. Podle výrobní technologie, pro kterou se robot využívá, se volí druh nástroje. U obloukového svařování tvoří technologickou hlavici svařovací hořák, držák hořáku, pružné uchycení na zápěstí robotu a senzory. Celkový vzhled typického konstrukčního provedení technologické hlavice je na obr. 8. [14]

Obr. 8 Technologická hlavice [14]



1. svařovací hořák
2. stavitelné uchycení svařovacího hořáku
3. zápěstí robotu

Svařovací hořák

Svařovací hořák, který je koncovým členem svařovacího zařízení, patří mezi nejexponovanější komponenty na pracovišti. Nároky na toto zařízení je možno stručně specifikovat takto: [14]

- značná mechanická a tepelná odolnost hlavice při trvalém provozu
- vhodný tvar hlavice umožňující dobrou přístupnost ke svarům
- snadná údržba, čištění a výměna opotřebených a poškozených dílů
- snadné ustavení koncového bodu hlavice (TCP) do počáteční polohy
- vhodný tvar plynové hubice s ohledem na minimální ulpívání rozstříku na jejím vnitřním povrchu a na ostatních ohrožených dílech.

V některých případech je součástí hořáku zařízení na odsávání zplodin hoření oblouku. Toto řešení může ale omezit přístup ke svarům a nepříznivě komplikovat hlavici a přívody instalovaným odsávacím systémem. U obloukových svařovacích robotů se používají principiálně dva typy hořáků: strojní svařovací hořák, speciálně konstruovaný pro automatizované svařování, a svařovací hořák s držadlem, původně určený pro poloautomatické svařování. [14]

Držák svařovacího hořáku a jeho uchycení

Jak bylo již uvedeno, držák svařovacího hořáku má umožnit optimální seřízení polohy svařovacího hořáku. Oba tyto komponenty jsou uchyceny na zápěstí robotu pružným způsobem, který umožní pružné vychýlení hořáku při kolizi se svařencem nebo jinou částí RTP a zabrání mnohdy vážnému poškození technologické hlavice i

mechanismu robotu. Pro zvýšení účinnosti se někdy vybavuje pružné uchycení mikrospláči, které vypnou při nárazu řídicí systém. [14]

3.12 Bezpečnostní zařízení robotizovaného pracoviště

Robotizovaná pracoviště vzhledem k rizikům, která existují, musí být dokonale zabezpečena, aby možnost úrazu obsluhy byla snížena na minimum. Z hlediska vlastního zařízení lze tato opatření rozdělit: [14]

- na bezpečnou konstrukci jednotlivých zařízení použitých na robotizovaném pracovišti
- na správné rozmístění jednotlivých zařízení jak z hlediska jejich funkce, tak i z hlediska bezpečnosti
- na zabránění neoprávněnému vstupu, tento systém ochrany je možno dále rozdělit na vnější a vnitřní.

Bezpečná konstrukce jednotlivých zařízení v celém rozsahu řeší výrobce průmyslového robotu a ostatních zařízení použitých na robotizovaném pracovišti. Požadavky lze shrnout do následujících bodů: [14]

- při práci zařízení nemají vznikat nebezpečná střížná ani tlačná místa
- povrch zařízení nemá mít ostré hrany nebo hroty
- roboty musí být vybaveny účinným brzdícím systémem všech stupňů volnosti
- brzdící účinek musí být zachován i po výpadku energie
- zastavení pohybu musí být rychlé
- poruchy energie nesmějí vést k nežádoucím pohybům, nýbrž pouze k zastavení činnosti
- při obnově dodávky energie nesmí robot samovolně zahájit činnost
- roboty musí být vybaveny zařízením, umožňujícím snížit rychlost pohybujících se částí na 10 % pracovní rychlosti. Tato rychlost je potřebná při seřizování, programování a při výuce pracovníků
- překročí-li se hranice předem stanoveného tolerančního pásma, má být robot vybaven zařízením, které robot samočinně vypne
- roboty musí být uzpůsobeny podmínkám prostředí, ve kterém budou pracovat

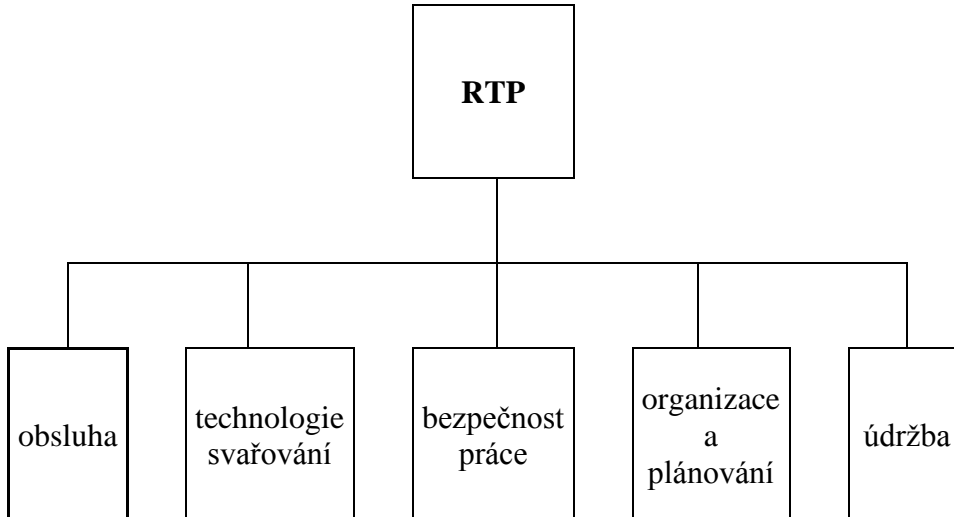
Vnější bezpečnostní systém tvoří nejčastěji různé typy ohrazení kolem celého pracoviště a s blokovanou ochrannou tam, kde se z důvodů výuky nebo údržby požaduje

vstup. Nejčastěji to bývají pevná ohrazení, ochranné plenty, nášlapné podlahy, světelné závory. Systém zábran musí být spojen s blokováním chodu robotizovaného pracoviště. Vnitřní bezpečnostní systém se užívá v určitých případech, kterými jsou zejména programování, seřizování, údržba, musí obsluha vstupovat do robotizovaného pracoviště, je třeba použít zvláštní systém ochrany. Účelová opatření jsou zvláštní program řídicího systému, systém kontroly pohybu, zabezpečení pracoviště proti nenadálému spuštění nepovolanou osobou, používání přenosného ovládacího panelu. Uvnitř i mimo pracoviště musí být na vhodných místech rozmístěna tzv. STOP tlačítka. [14]

3.13 Provoz robotizovaných pracovišť

Po překonání nemalých problémů spojených s realizací robotizovaného pracoviště a končících předáním robotizovaného pracoviště do trvalého užívání je nutno zajistit dokonalé využívání kapacity pracoviště ve dvou, po zajištění vhodných podmínek ve třech směnách. Stejně tak jako činnosti, tak i provoz robotizovaného pracoviště je záležitost velmi náročná a komplexní. Základní vztahy jsou uvedeny na obr. 9. [14]

Obr. 9 Znárodnění provozních souvislostí robotizovaného pracoviště [14]



3.14 Vývojové trendy v robotizaci obloukového svařování

Při pohledu zpět můžeme říci, že svařovací roboty pro obloukové svařování prodělaly za relativně krátkou dobu své existence dosti značný vývoj, který můžeme velice stručně shrnout takto: [15]

V oblasti hardwaru:

- původní robustní konstrukce byly nahrazeny lehkými kompaktními systémy pracujícími většinou v multiplových souřadnicích
- hydraulické pohony jsou téměř vytlačeny elektropohony
- podstatně se zvýšila rychlost a přesnost robotů
- několikanásobně se snížila hmotnost

V oblasti softwaru:

- zvýšila se uživatelská kapacita paměti řídicích systémů
- rozšířilo se softwarové vybavení potřebné pro zvládnutí technologie obloukového svařování
- špičkové roboty jsou vybavovány adaptivními systémy

Lze říci, že tyto prvky v zásadě určují i další vývojové směry v této oblasti. Pro další léta lze předpokládat, že dynamika vývoje se bude odehrávat především v oblasti softwaru. A to rozšířením možností adaptivity, používáním programovacích jazyků. Značný vývoj neprodělaly pochopitelně pouze svařovací roboty, ale i ostatní komponenty robotizovaného pracoviště. Podstatně se rozšířily pohybové možnosti i rychlosti polohovadel a vývoj se nezastavil ani u svářečského vybavení. [15]

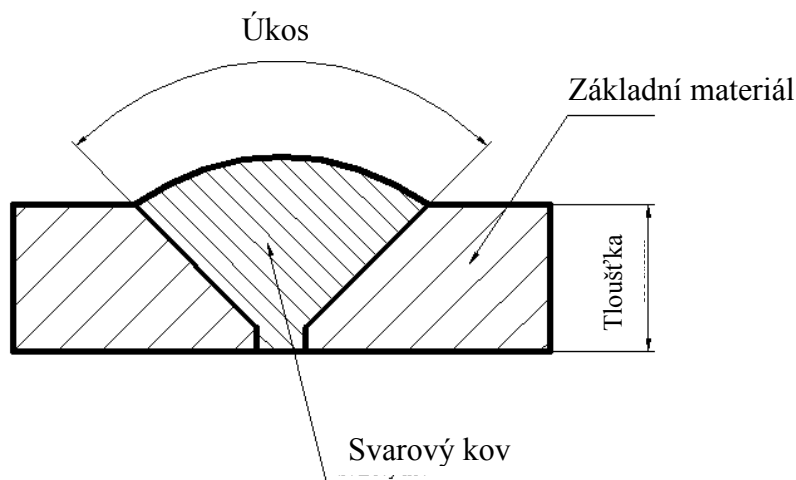
4 Experimentální posouzení jakosti svarů provedených ručně a svařovacím robotem

V této kapitole se zaměříme na posuzování jakosti svarů provedených ručně a svarů pomocí svařovacího robotu. Dále rozebereme ekonomické zhodnocení obou typů provedení svarů. Zvolili jsme tři druhy vzorků tak, aby každý obsahoval různý typ svaru. Od každého druhu svaru jsme zhotovili šest vzorků, abychom určili, které faktory mohou mít vliv na výsledný svar. Polovina vzorků byla před samotným svařováním odmaštěna a otryskána a druhá polovina zůstala pouze odmaštěna. Dále jsme se rozhodli, že svařovat bude svářeč „amátér“, svářeč s praxí a svařovací robot (obr. 13). Popis, kdo svařoval který vzorek, je popsán v tab. 4. Tupý svar je znázorněn na obr. 10, koutový svar na obr. 11, a oblý svar oboustranný na obr. 12.

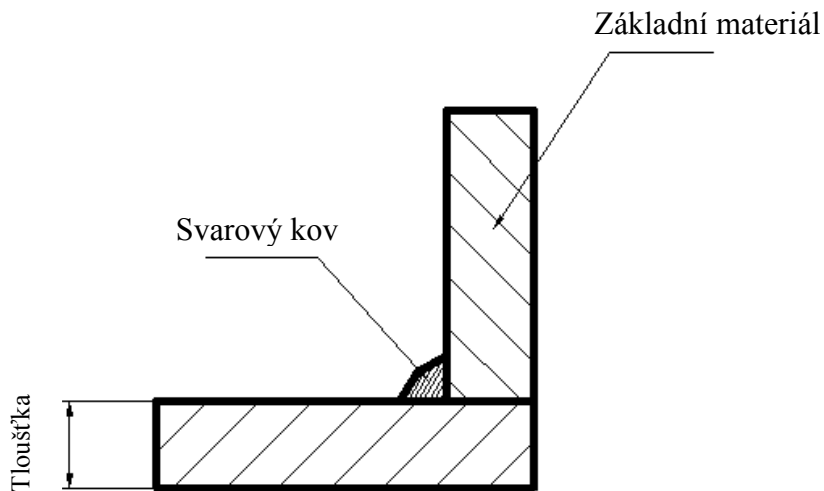
Tab. 4 Popis práce při svařování

	notryskáno	otryskáno
svářeč amatér	svar tupý svar koutový svar oblý	svar tupý svar koutový svar oblý
svářeč s praxí	svar tupý svar koutový svar oblý	svar tupý svar koutový svar oblý
svařovací robot	svar tupý svar koutový svar oblý	svar tupý svar koutový svar oblý

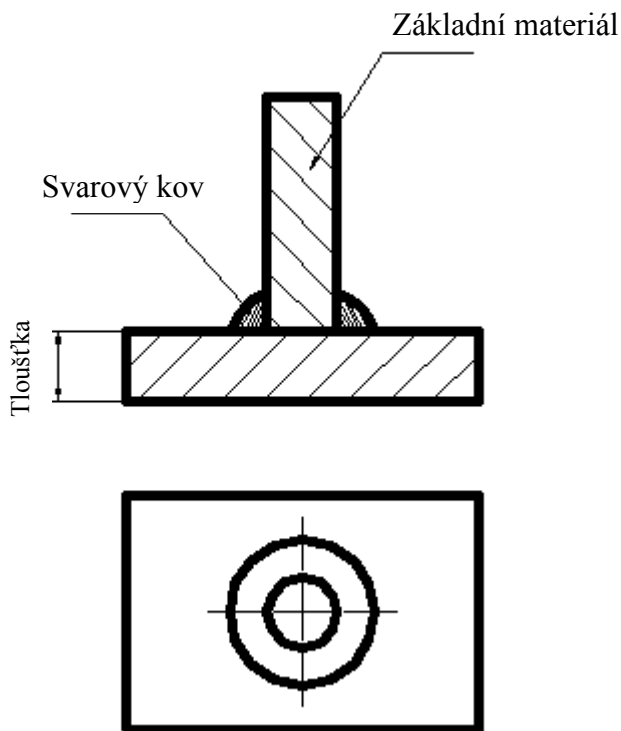
Obr. 10 Tupý svar



Obr. 11 Koutový svar



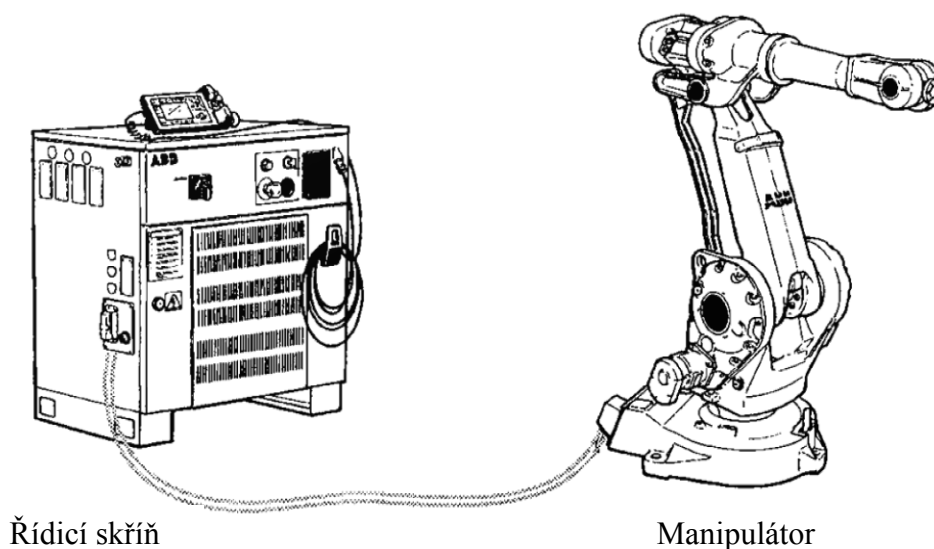
Obr. 12 Oblý svar oboustranný



Svářeč „amátér“ je člověk, který zná teoreticky problematiku svařování, jeho zkušenosti se svařováním jsou takové, že zvládá udělat „housenku“, ale je zde zapotřebí dohledu svářeče se svářečským průkazem. Svářeč s praxí je člověk, který má svářečské osvědčení a svařování se věnuje minimálně dva roky. Jeho znalosti se svařováním jsou především praktické. Svařovací robot tvoří dvě hlavní části, řídicí skříň a manipulátor (obr.

13). Na obr. 14 jsou znázorněny pohybové možnosti manipulátoru. Robot je osazen bezúdržbovými střídavými motory s elektromagnetickými brzdami. Brzdy zajišťují motory v klidovém stavu více než 1000 hodin. Poté se provádí revize elektromagnetických brz.

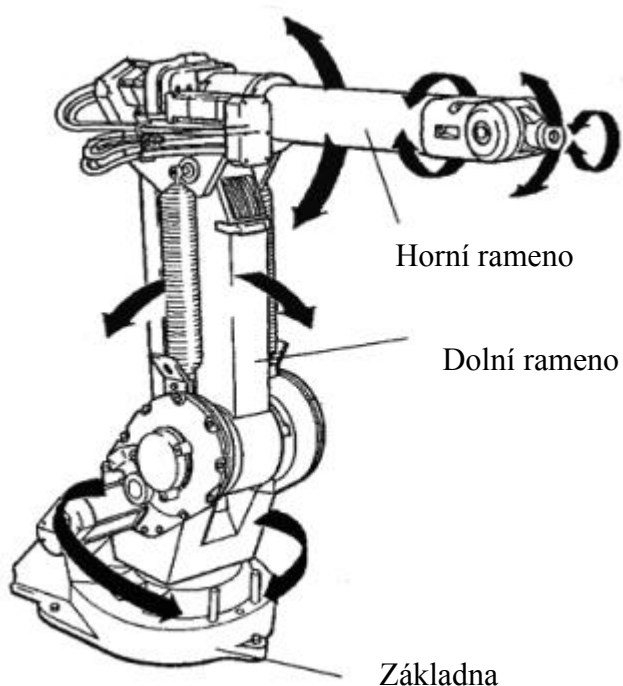
Obr. 13 Svařovací robot [16]



Řídicí skříň obsahující počítačový systém a jeho příslušenství, je speciální řídicí automat konstruován pouze pro řízení robotu a tím je dosaženo optimálních provozních výsledků a funkčnosti. Všechny prvky řídicí elektroniky, mimo sériovou měřicí kartu která je umístěna v základně robotu, jsou umístěny společně v robotu. Počítačový systém se skládá z:

- zadní deska: jedna sběrnice hlavního počítače a sedmi PCI sběrnic
- hlavní počítač: Pro řízení systému robotu Intel Pentium™ – CPU. 32 MB DRAM. 10/100 Mb, 7/s ethernet controller
- zálohová jednotka: 64 Mb Flash disk, (volitelných 128 Mb)
- počítač os robotu: řídí osy robotu
- I/O počítač: zajišťuje I/O komunikaci (CAN, Ethernet, sériové linky)
- volitelné karty: externí osy, externí I/O počítače, bus komunikace
- napájení počítače: čtyři stabilizované výstupy s ochranou proti zkratu a hodnotami
- bateriová jednotka: dobíjecí NiCd baterie a bateriová řídicí karta

Obr. 14 Pohybové možnosti svařovacího robota [16]



4.1 Postup k vyhodnocení svarů

Ke správnému vyhodnocení svarů je zapotřebí následujících kroků:

1. výběr materiálu na vzorky
2. výběr tvaru materiálu na vzorky
3. obrábění vzorků
4. odmašťování
5. otryskávání
6. svařování
7. chladnutí
8. příprava vzorků k měření
 - a) řezání
 - b) broušení na rovinné brusce
 - c) broušení na brusce na rozbor materiálu
 - d) leptání
9. focení vzorků

Výběr materiálu na vzorky

Ve strojírenství je velká škála materiálů, ale jelikož jsme se zaměřili na jakost svarů provedených ručně a svařovacím robotem, rozhodli jsme se faktor materiálů zanedbat. Všechny vzorky jsou zhotoveny z oceli 11 373. Tato ocel se vyznačuje především zaručenou svařitelností, což byl pro náš výzkum hlavní požadavek. I když svařitelnost ovlivňuje chemické složení, zde jsme použili jeden druh oceli tak, abychom faktor chemického složení mohli při výsledcích zanedbat.

Výběr tvaru materiálu na vzorky

Při volbě tvaru jsme se nejdříve domluvili s programátorem svařovacího robotu, aby svařovací robot v daných podmínkách byl schopen svary vyhotovit. U svářečů je tento faktor zcela zanedbatelný, jelikož jsou velmi operativní. Další požadavek byl aby, každý svar byl tvarově jiný. Na základě těchto poznatků jsme vybrali svar oblý, tupý a koutový. Jako tvar polotovarů byly zvoleny ploché tyče a tyč kruhového průřezu. U plochých tyčí byla jedna polovina vzorků z tloušťky 3 mm a druhá polovina z tloušťky 7 mm, a to protože druhým hlavním faktorem, na kterém závisí svařitelnost, je tloušťka materiálu.

Obrábění vzorků

Zvolené tvary materiálu jsou sériově vyráběné ve větších rozměrech, a proto jsme je zkrátili na námi požadovaný rozměr (u ploché tyče, a tyče s kruhovým průřezem se jedná o délku). Ke zkrácení byla použita ruční bruska s řezným kotoučem. Další úpravou bylo vyhotovení úkosů, tak aby svary byly možné vyhotovit. Velikost úkosu vždy záleží na tloušťce materiálu, ale úhel úkosu by měl mít 45°. Úkosy byly zhotoveny na kotoučové brusce s korundovým brusným kotoučem.

Odmašťování

Dalším krokem bylo odmaštění materiálu, při kterém jsme použili odmašťovadlo LPS Instant Super Cleaner. Odmašťovadlo se pomocí čistého kusu látky nanášelo na materiál, dokud nebyl odmaštěn. Odmašťování následovalo i po otryskávání, abychom se zbavili prachu od abraziva.

Otryskávání

Ihned po odmašťování následovalo otryskávání. Jedná se o úpravu povrchu materiálu proudem jemných částic, které nazýváme abrazivo. V našem případě se jednalo o oxid hlinitý Al_2O_3 . Velkou rychlost abrazivu dává stlačený vzduch, který je za pomoci

kompresoru vháněn do tryskací kabiny. Do kabiny jsme vložili materiál určený k otryskání. Do otvorů v tryskací kabině jsme strčili ruce, na kterých jsme měli gumové rukavice, které nejlépe ochrání pokožku před nárazy abraziva. Po sešlápnutí pedálu, kterým se ovládá množství stlačeného vzduchu, přicházejícího do kabiny, jsme postupně otryskali všechn materiál. Po otryskání jsme si na ruce vzali čisté dílenské rukavice a všechn materiál přenesli na pracoviště, na kterém bude probíhat samotné svařování.

Svařování

Ke svařování byla využita technologie v ochranných atmosférách, konkrétně se jedná o MIG/MAG (kap. 2.5.2). Důvod proč MIG/MAG je ten, že ke svařování byl využit směsný plyn KRYVAL 18, který je značen podle ČSN EN 439 jako M21. Tento směsný plyn obsahuje 82 % Ar a 18 % CO₂. Svařování probíhalo pomocí svářečky od firmy Castolin Eutectic s označením TOTAL Arc² 3000 (obr. 15). Jelikož svařování probíhalo technologií MIG/MAG bylo potřeba vybrat správný svařovací drát. Z nabídky přídatných materiálů pro technologii MIG/MAG byl vybrán svařovací drát s označením CASTOMAG 45 257. Jedná se o svařovací drát plný, který se vyznačuje mezi pevnosti, která je 790 MPa a mezi kluzu, která je 690 MPa. Svařovací drát CASTOMAG 45 257 je certifikovaný podle normy EN ISO 3834-2,3,4 a EN 15085. Svarový kov je legovaný Ni, Mn, Cr, Mo. Je vysoce pevný a rozsah teplot použití je od -20 do 350 °C. Po vybrání správného svařovacího drátu jsme nastavili svářečku na příslušný drát. Jelikož průměr drátu je 1,2 mm, na základě přiložené tabulky od výrobce svářečky, zvolili jsme program 7. Při tomto programu je svařovací proud v rozmezí 120 až 140 A, posuv drátu je + 2 a napětí se pohybuje v rozmezí 20 - 22 V. Dalším nastaveným parametrem byl dvoutakt s pulsem. Po přípravě pracoviště a všech potřebných pomůcek, probíhalo samotné svařování. Nejprve se svařovalo ručně, aby programátor robotu měl čas na naprogramování programu, a aby celkově bylo co nejméně časově náročné. První začal svařovat svářeč „amatér“, po něm svářeč s praxí. Nejdříve byly svařeny otryskané části, po nich neotryskané. Po ručním svařování bylo zapotřebí

Obr. 15 Svářečka TOTAL Arc² 3000 [17]



uzpůsobit pracoviště tak, aby na něm bylo možné provést svařování za pomoci robotu. Na zápěstí robotu jsme upevnili přípravek na uchycení svařovacího hořáku, na který jsme přišroubovali svařovací hořák. Poté bylo zapotřebí vyvázat „bowdeny“ aby nedošlo k zaseknutí drátu, který je podáván pomocí rolen bez přítlaku. Svářečka zůstala nastavena na stejný program jako při ručním svařování. Parametry při svařování si robot dokázal korigovat podle potřeby. První materiál byl upevněn do přípravku a pomocí dálkového ovládání se spustil chod robota, který je signalizován majákem. Postup svařování částí byl shodný jako při ručním svařování. Po svaření robot automaticky vypne svářečku, vrátí se do základní polohy a vypne signalizaci majáku. To je znamení pro obsluhu, že je možné pomocí kleští vyndat svarek z přípravku a vložit do něj další. Stejný postup se opakoval u všech svarků.

Chladnutí

Při svařování v ochranných atmosférách vznikají vysoké teploty, které dosahují až k 10 000 °C. Chladnutí probíhá pozvolna, na ocelovém stole, a proto je potřeba nechat vzorky důkladně vychladnout, aby se předešlo případným popálením při manipulaci. Po vychladnutí bylo nutné, pro další přehlednost v měření, vzorky řádně označit. K označení jsme použili razidla na kov.

Příprava vzorků k měření

Příprava vzorků je k samotnému měření nezbytná, bez důkladné přípravy by výsledky byly značně znehodnoceny. Příprava vzorků k měření obsahuje následující kroky:

- řezání
- broušení na rovinné brusce
- broušení na metalografické brusce
- leptání

Řezání

Řezání jsme prováděli, abychom svary viděli v řezu a aby bylo možné jejich další použití v následujících krocích. Řezání bylo prováděno na strojní rámové pile. Při samotném procesu řezání vzniká velké teplo, proto jsme využili chladícího obvodu na strojní rámové pile a vzorky při průběhu řezání chladili. Poté jsme vzorky usušili pomocí čistého kusu látky.

Broušení na rovinné brusce

Tento krok v přípravě není zcela obvyklý, ale my jsme se pro něj rozhodli ze dvou důvodů. Prvním byla nerovnost po řezání, a druhým byla nedostatečná rovinnost, která byla způsobena upínáním v přípravku na strojní rámové pile. Brousili jsme na rovinné brusce, která byla vybavena korundovými kotouči. Brousilo se do té doby, než byla rovinnost a drsnost povrchu dostačující.

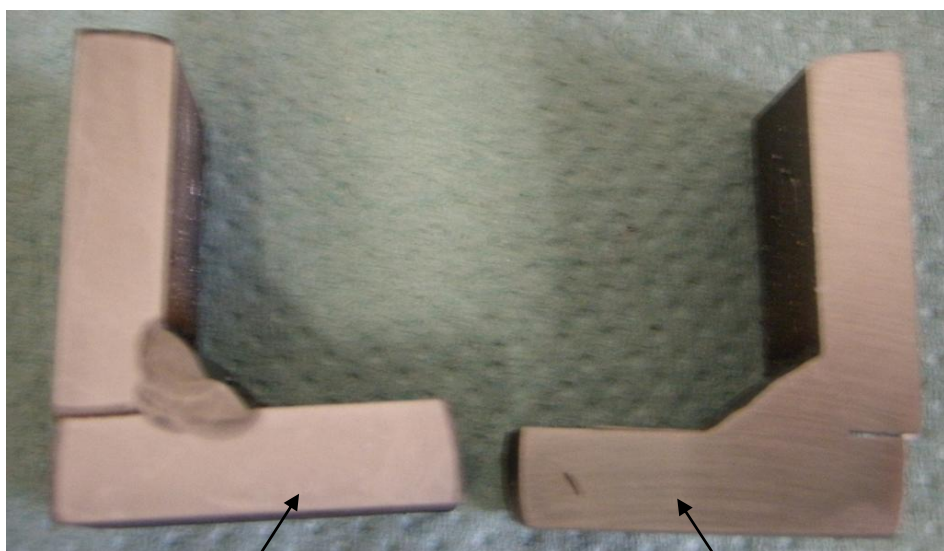
Broušení na metalografické brusce

Broušení na metalografické brusce je nenahraditelný proces v postupu přípravy vzorků. Broušení jsme prováděli na brusce METASINEX. Tato bruska je vybavena tzv. talířem, na který se položí brusný papír, a který se zajistí pojistným kroužkem proti vylétnutí brusného papíru. Po zapnutí brusky se talíř, který má vertikální osu otáčení, roztočí. Pro lepší broušení se zapne přívod vody, který pozvolna kape na brusný papír v ose otáčení. Poté jsme vzali vzorek, přiložili na brusný papír, lehce přitlačili a zároveň s ním pohybovali od středu ke kraji. Na středu může být rychlost pohybu menší, protože zde působí menší odstředivá síla. Při výběru brusného papíru jsme postupovali směrem od nejdrsnějšího k nejjemnějšímu. Použili jsme tři druhy brusných papírů, protože jsme zajistili dostatečnou drsnost povrchu a rovinnost broušením na rovinné brusce. Nejdrsnější brusný papír jsme zvolili Waterproof Paper Carborundum 120. Tento papír slouží především k doúpravě vzorků po broušení a připravení vzorku na broušení na jemnějších brusných papírech. Zda je vzorek dostatečně obroušen, jsme pozorovali pouhým okem. Rovinnost povrchu vzorku jsme poznali podle odrazu světla od povrchu. Na světle bylo taktéž možné vidět, zdali na povrchu nejsou nějaké „rýhy“. Broušení jsme prováděli do té doby, než na vzorku nebyla žádná „rýha“ a než byl odraz světla jednotný. Broušení probíhalo za přítomnosti vody, proto jsme vzorek po broušení usušili kusem čisté látky a pro větší spolehlivost vysušili fénem, jinak by nám vzorky začaly korodovat. Po broušení všech vzorků na brusném papíru Waterproof Paper Cardorundum 120 a jejich následném usušení, jsme vyjmuli brusný papír a vyměnili za papír s menší drsností. Tím byl brusný papír Waterproof Paper Carborundum 180. Zde jsme opakovali stejný postup, jako tomu bylo v případě brusného papíru Waterproof Paper Cardorundum 120. Poté jsme přešli k poslední výměně brusného papíru, a to za papír Waterproof Paper 400. Po broušení na tomto brusném papíru, už povrch součásti byl v předepsané drsnosti a bylo možné, po usušení přejít k dalšímu procesu v přípravě vzorků.

Leptání

Na vybroušené vzorky jsme nanесли leptadlo. Leptadlo jsme vyrobili v misce smícháním 4 ml kyseliny dusičné a 100 ml etanolu. Po důkladném promíchání bylo možné nanést leptadlo na vzorky, a to tím způsobem, že vybroušenou plochu jsme ponořili do leptadla a nechali minutu působit. Poté jsme vzorek vytáhli a za pomoci fěnu okamžitě osušili a odložili na sací ubrousek. Totéž jsme opakovali u všech vzorků. Pro ilustraci uvádím vybrané fotografie vzorků. Na obr. 16 jsou vidět vzorky tloušťky 7 mm před nanesením leptadla a po jeho nanesení.

Obr. 16 Fotografie vzorků před a po naleptání



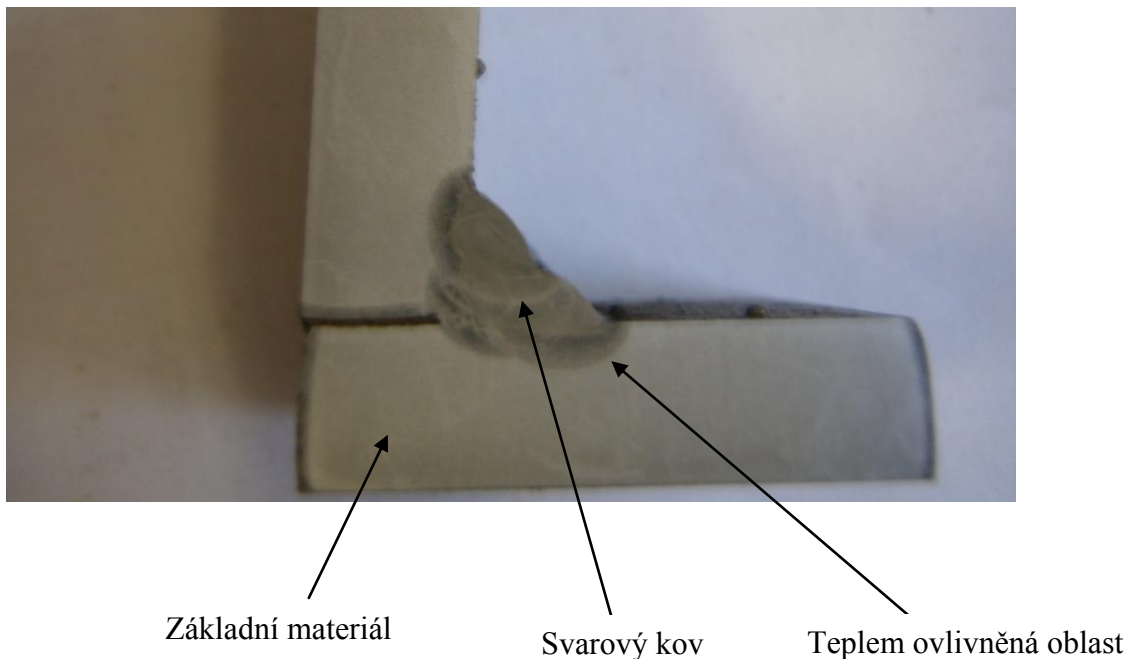
Po naleptání

Před naleptáním

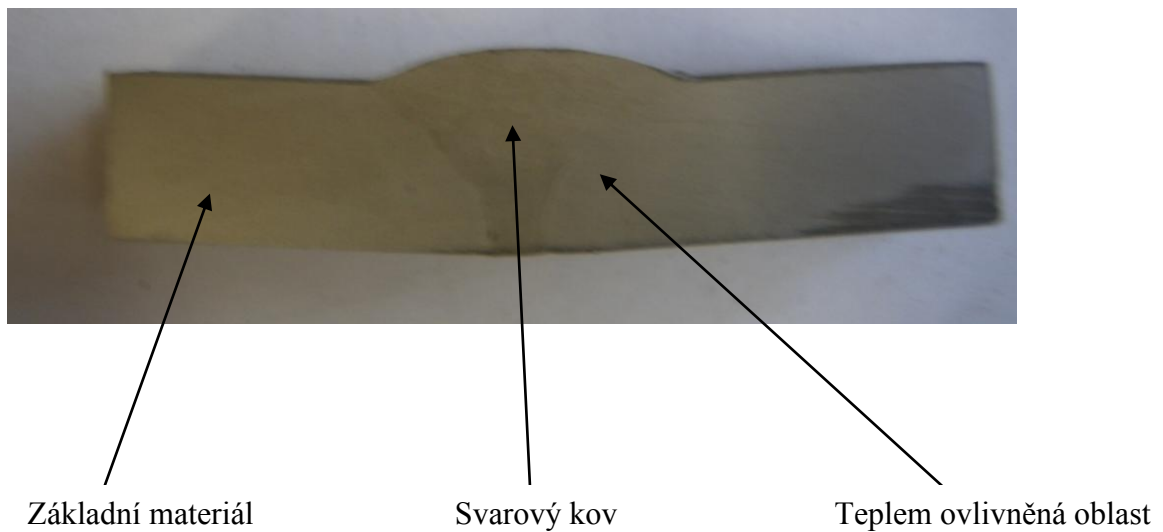
Focení vzorků

K focení byl využit kompaktní fotoaparát, který jsme nastavili do režimu Super Makro, který nám na fotografii dokázal zachytit výsledky makrostruktury svarů. Na fotografiích jsme viděli teplem ovlivněnou zónu a strukturu svarového kovu. Na obr. 17 zachycen naleptaný vzorek koutového svaru tloušťky 7 mm, na obr. 18 naleptaný vzorek tupého svaru tloušťky 7 mm.

Obr. 17 Fotografie koutového svaru



Obr. 18 Fotografie tupého svaru



4.2 Vyhodnocení měření

Pro přehlednost výsledků měření je v tab. 5 ke každému vzorku přiděleno číslo.

Tab. 5 Popis vzorků

měření	číslo vzorku						
	3mm			7mm			
svářeč amatér	1	2	3	4	5	6	otryskáno
svářeč s praxí	7	8	9	10	11	12	
svařovací robot	13	14	15	16	17	18	
svářeč amatér	19	20	21	22	23	24	neotryskáno
svářeč s praxí	25	26	27	28	29	30	
svařovací robot	31	32	33	34	35	36	
	svar tupý	svar koutový	svar oblý	svar tupý	svar koutový	svar oblý	

Ve vyhodnocování měření jakosti svarů jsme se zaměřili na vady svarů. U vad se dá najít příčina jejich vzniku, a proto nám lépe poskytnou informaci o jakosti svaru. Vady lze jednoduše rozdělit na vady vnější a vady vnitřní.

Tab. 6 Rozdělení vad vyskytující se ve svarech [4]

vady vnější	neprovařený kořen
	krápníky
	vruby
	hubený povrch
	neúměrné převýšení svaru
	kráter
	nedodržení rozměrů svaru
vady vnitřní	struskové vměstky
	póry
	bubliny
	studené spoje
	trhliny

Neprovařený kořen – vzniká z důvodu nesprávné úpravy svarových ploch, ve vzorcích se tato chyba vyskytovala, proto s ní ve výsledcích pracujeme.

Krápníky – vznikají z důvodu velké kořenové mezery, ve vzorcích se tato chyba neobjevila, proto s ní dále nepracujeme.

Vruby – vznikají z důvodu nesprávného vedení hořáku, ve vzorcích se chyba vyskytla, dále s ní pracujeme.

Hubený povrch – vzniká z důvodu nedostatečného počtu svarových vrstev, ve vzorcích se tato chyba neobjevila, dále s ní nepracujeme.

Neúměrné převýšení svaru – vzniká z důvodu buď nevhodné postupové rychlosti, nebo z nesprávného vedení hořáku, ve vzorcích se chyba vyskytla, dále s ní pracujeme.

Kráter – vzniká z důvodu rychlého oddálení hořáku, ve vzorcích se chyba vyskytla, dále s ní pracujeme.

Nedodržení rozměrů svaru – tato chyba se ve vzorcích nevyskytla, dále s ní nepracujeme.

Struskové vměstky – vznikají z důvodu foukání oblouku, ve vzorcích se chyba nevyskytla, dále s ní nepracujeme.

Póry – jsou to plynné vměstky, mají protáhlý tvar, vznikají z důvodu nedostatečné úpravy povrchu, ve vzorcích se chyba vyskytla, dále s ní pracujeme

Bubliny- podobné jako póry, s tím rozdílem, že bubliny jsou kulovitého tvaru, ve vzorcích se chyba vyskytla a dále s ní pracujeme.

Studené spoje – vzniká z důvodu nedostatečné intenzity svařovacího proudu, ve vzorcích se chyba nevyskytla, dále s ní nepracujeme.

Trhliny – vznikají z důvodu velkého vnitřního pnutí v chlazeném svarovém kovu, ve vzorcích se chyba nevyskytla, dále s ní nepracujeme. [4]

Tab. 7 Výsledky měření

číslo vzorku	neprovařený kořen	vruby	neúměrné převýšení svaru	kráter	póry	bubliny
1	x	x	x			x
2	x	x	x			
3		x	x	x		
4					x	
5	x	x		x		
6		x	x			
7						
8	x					
9	x	x	x			
10						
11		x				
12						x
13	x					
14						
15	x					
16						
17						
18			x			
19	x	x	x			
20	x			x		
21		x	x		x	
22				x		
23	x		x			
24	x	x	x		x	
25	x					
26	x					
27	x	x	x		x	
28						
29	x					
30						
31	x					
32	x					
33						
34						
35	x					
36						

V tab. 7 je značkou „x“ označeno, která vada se u jakého vzorku vyskytla. Jelikož porovnáváme jakost u ručního svařování a u svařování za pomoci robota jsou výsledky rozděleny do 3 skupin:

- svářeč „amatér“
- svářeč s praxí
- svařovací robot

Každý svařoval stejné druhy svarů, které podle tab. 7 nemají na výsledky velký vliv. Tyto tři skupiny jsme rozdělili podle toho, jestli svařovali otryskaný vzorek, nebo neotryskaný. Výsledky lze shrnout takto:

Svářeč „amatér“

U těchto vzorků bylo znát, že svářeč sice má teoretické znalosti z oboru svařování, ale malé praktické zkušenosti. U neprovařeného kořene byl důvod vady nedostatečná znalost technologie. U této vady se ukázalo, že povrchová úprava svarových ploch nemá na výslednou jakost svaru vliv.

Póry a bubliny se vyskytly v menší míře, a z tab. 7 lze vyčíst, že u otryskaných vzorků byly ve stejném počtu jako u vzorků neotryskaných. I když počet byl u otryskaných, i u neotryskaných stejný, povrchová úprava má vliv na póry a bubliny. U zbylých vad se projevila malá zkušenost svářeče s praktickou znalostí technologie. U zbylých vad nehrála povrchová úprava svarových ploch vliv.

Svářeč s praxí

U vzorků od svářeče s praxí bylo vidět na první pohled výrazné zlepšení jakosti svarů. Polovina vzorků měla neprovařený kořen, který byl způsoben rychlejším pohybem hořáku. Tuto chybu lze do budoucna odstranit, ale u zkušeného svářeče se to stávat nesmí.

Póry a bubliny se vyskytly pouze na dvou vzorcích. Zbylé vady se vyskytly v menším měřítku, a byly v porovnání se svářečem amatérem menší. I když byl počet pórů a bublin jak u otryskaných, tak i u neotryskaných stejný, znovu platí, že povrchová úprava svarových ploch má na tyto vady významný vliv. Vruby se vyskytly ve třech případech, a byly způsobeny špatným sklonem hořáku. Na vzorcích se vyskytly dva případy neúměrného převýšení svaru, ale bylo tak malé, že nelze s určitostí říct, čím byly zapříčiněny. Kráter se nevyskytl ani u jednoho vzorku. Na vruby, neúměrné převýšení svaru ani krátery neměla vliv povrchová úprava svarových ploch.

Svařovací robot

U vzorků, které byly vyrobeny svařovacím robotem, byl v pěti případech zjištěn neprovařený kořen. Zda-li byl vzorek otryskaný nebo neotryskaný nehrálo u této vady vliv. U vad, které jsou zapříčiněny samotnou technologií při svařování, jsme vady našli pouze v jediném případě, a to neúměrné převýšení svaru. Převýšení nebylo velkých rozměrů, proto s jistotou nemůžeme říct jeho příčinu.

4.3 Zhodnocení jakosti svarů, které byly vyrobeny ručně a pomocí svařovacího robotu

I když svary byly zhotoveny za pomoci svářeče „amatéra“, pro výsledné zhodnocení jakosti jsme na ně nebrali ohled. Velký výskyt vad ve svarech by celkové hodnocení jakosti zkreslovalo. Proto jsme ke zhodnocení porovnávali pouze svary zhotovené svářečem s praxí a svařovacím robotem. Pro lepší orientaci jsme počet pro každou vadu znázornili v tab. 8.

Tab. 8 Zhodnocení výsledků měření

zhotovitel	úprava	neprovařený kořen	vruby	neúměrné převýšení svaru	kráter	póry	bubliny
svářeč s praxí	otryskáno	2	2	1	0	1	1
	neotryskáno	4	1	1	0	1	1
svařovací robot	otryskáno	2	0	1	0	0	0
	neotryskáno	3	0	0	0	0	0

Vady, neprovařený kořen, póry a bubliny mají na výslednou jakost vliv, ale zda svařoval svářeč nebo svařovací robot, nemělo na výslednou jakost vliv. Pro porovnání jakosti jsme tedy použili vady vruby, neúměrné převýšení svaru, a kráter. Tyto vady byly ovlivněny tím, kdo který svar dělal. Z tab. 8 lze vyčíst, že u svarů, které byly zhotoveny svařovacím robotem, byly tyto chyby v menším počtu, a proto lze říci, že mají lepší jakost než svary zhotovené ručně. Příčina byla, že robot, pokud je dobře naprogramovaný, si udržuje konstantní vzdálenost hořáku od materiálu. Sklon hořáku je také konstantní, stejně jako rychlost posuvu. Kývavý pohyb hořáku je po celou dobu svařování „housesky“ stejný. Tyto parametry lze mít konstantní také u ručního svařování, ale zde záleží na zručnosti daného svářeče.

4.4 Technicko - ekonomické zhodnocení

Pro technicko – ekonomické zhodnocení existuje řada ukazatelů, které lze použít. V běžné praxi se nejvíce můžeme setkat s kritériem „Nákladů na 1 kg odtaveného svarového kovu“, které rychle poskytne informace o nákladech při tvorbě cenové nabídky. Při výpočtu „Nákladů na 1 kg odtaveného svarového kovu“ jsme použili mzdové a režijní náklady vztažené na svářeče, náklady na přídatný svařovací materiál, a náklady na ochranné plyny. Z ostatními ekonomickými ukazateli (odpisy, energie, nájemné, atd.) se při výpočtu „Nákladů na 1 kg odtaveného svarového kovu“ nepočítá. Při znalosti délek jednotlivých typů a velikostí svarů, není problém pomocí toho kritéria vypočítat celkové náklady na svařování určitého výrobku.

4.4.1 Ruční svařování

Náklady na 1 kg odtaveného kovu u ručního svařování tvoří:

- Mzdové a režijní náklady vztažené na svářeče
- Náklady na přídatný svařovací materiál
- Náklady na ochranné plyny

Výpočet jednotlivých nákladů

Mzdové a režijní náklady vztažené na svářeče

$$N_1 = \frac{S_{sv}}{G_{tav} \cdot t_{vyuz}} \quad [\text{Kč/kg}]$$

S_{sv} – Hodinová sazba svářeče [Kč/hod.]

Hodinová sazba obsahuje mzdové náklady + odvody z mezd + režijní náklady

G_{tav} – Výkon odtavení při svařování [kg/hod.]

Výkon odtavení se odvíjí od toho, jakou technologii jsme použili a na parametrech svařování

t_{vyuz} – Časové využití fondu pracovní doby pro svařování

Časové využití je podíl času hoření oblouku z celkové pracovní doby

Náklady na přídatný svařovací materiál

$$N_2 = \frac{C_{sv}}{V_{sv}} \quad [\text{Kč/kg}]$$

C_{sv} – Cena přídatného svařovacího materiálu [Kč/hod.]

V_{sv} – Využití přídatného materiálu [%]

Využití je podíl přeměny ve svarový kov, a závisí na použité technologii

Náklady na ochranné plyny

$$N_3 = \frac{Q_{plyn} \cdot C_{plyn}}{G_{tav}} \quad [\text{Kč/kg}]$$

Q_{plyn} – Průtočné hodnoty ochranného plynu [l/hod.]

C_{plyn} – Cena ochranného plynu [Kč/litr]

G_{tav} – Výkon odtavení při svařování

Celkové náklady na 1 kg odtaveného svarového kovu

$$N = N_1 + N_2 + N_3 \quad [\text{Kč/kg}]$$

4.4.2 Svařování svařovacím robotem

Náklady na 1 kg odtaveného kovu u ručního svařování tvoří:

- Mzdové a režijní náklady vztažené na programátora
- Náklady na přídatný svařovací materiál
- Náklady na ochranné plyny

Výpočet jednotlivých nákladů

Mzdové a režijní náklady vztažené na programátora

$$N_1 = \frac{S_{pr}}{G_{tav} \cdot t_{vyuz}} \quad [\text{Kč/kg}]$$

S_{pr} – Hodinová sazba programátora [Kč/hod.]

Hodinová sazba obsahuje mzdové náklady + odvody z mezd + režijní náklady

G_{tav} – Výkon odtavení při svařování [kg/hod.]

Výkon odtavení se odvíjí od toho, jakou technologii jsme použili a na parametrech svařování

t_{vyuz} – Časové využití fondu pracovní doby pro svařování

Časové využití je podíl času hoření oblouku z celkové pracovní doby

Náklady na přídatný svařovací materiál

$$N_2 = \frac{C_{sv}}{V_{sv}} \quad [\text{Kč/kg}]$$

C_{sv} – Cena přídatného svařovacího materiálu [Kč/hod.]

V_{sv} – Využití přídatného materiálu [%]

Využití je podíl přeměny ve svarový kov, a závisí na použité technologii

Náklady na ochranné plyny

$$N_3 = \frac{Q_{plyn} \cdot C_{plyn}}{G_{tav}} \quad [\text{Kč/kg}]$$

Q_{plyn} – Průtočné hodnoty ochranného plynu [l/hod.]

C_{plyn} – Cena ochranného plynu [Kč/litr]

G_{tav} – Výkon odtavení při svařování

Celkové náklady na 1 kg odtaveného svarového kovu

$$N = N_1 + N_2 + N_3 \quad [\text{Kč/kg}]$$

4.4.3 Zhodnocení výpočtů

Tab. 9 Zadané hodnoty

	$S_{sv}(S_{pr})$ [Kč/hod.]	G_{tav} [kg/hod.]	$t_{využ}$ [%]	C_{sv} [Kč/kg]	V_{sv} [%]	Q_{plyn} [litr/hod.]	C_{plyn} [Kč/litr]
ruční	488,70	3,70	0,40	48,30	0,91	800,00	0,09
robot	575,00	5,40	0,80	48,30	0,96	800,00	0,09

Tab. 10 Náklady

	N_1 [Kč/kg]	N_2 [Kč/kg]	N_3 [Kč/kg]	N [Kč/kg]
ruční	330,20	53,08	19,46	402,74
robot	133,10	50,31	13,33	196,75

Tab. 11 Poměr dílčích N k celkovému N

	N_1 [% z N]	N_2 [% z N]	N_3 [% z N]
ruční	81,99	13,18	4,83
robot	67,65	25,57	6,78

Z výpočtu nákladů vyplývá, že svařování pomocí svařovacího robotu má náklady na 1 kg odtaveného svarového kovu 196,75 Kč a náklady na 1 kg odtaveného svarového kovu u ručního svařování činí 402,74 Kč. Z těchto výsledků je jasné, že svařování pomocí svařovacího robotu má poloviční náklady než u ručního svařování.

5 Závěr

Jedním z cílů této práce bylo shromáždit literární poznatky o problematice robotizovaného svařování oceli, popsat technologii svařování, a její zapojení do robotizovaných pracovišť pro svařování.

Dalším cílem této práce bylo porovnat jakost a ekonomické hledisko u svarů provedených ručně a provedených pomocí svařovacího robotu. Z vzorků bylo zjištěno, na základě zjišťování vad ve svarech, že u svarů provedených pomocí svařovacího robotu, je vyšší jakost svarů než u svarů provedených ručně. U ekonomického hlediska bylo vypočítáno, pomocí kritéria „Náklady na 1 kg odtaveného svarového kovu“, že svary provedené pomocí svařovacího robotu mají poloviční náklady než svary provedené ručně.

Na základě těchto výsledků je možno říci, že robotizované svařování má opodstatněné postavení ve výrobním průmyslu. Je mnohem efektivnější než svařování ruční, i když ne vždy lze robotizované svařování použít. A to z důvodu geometrických, technologických, nebo ekonomických. Vždy závisí na daných podmínkách zakázky.

Robotizované svařování má do budoucna veliký potenciál zlepšovat se, a s tím souvisí rozšíření a rozvoj robotizovaných pracovišť. Tato práce obsahuje základy robotizace ve svařování, avšak snaha práce je čtenáře seznámit a vtáhnout do této problematiky. U experimentů je potřeba postupovat podle postupu uvedený v této práci, aby bylo možné případné nové experimenty porovnat s výsledky této práce.

Seznam literatury

- [1] NĚMEC, Milan, Jan SUCHÁNEK a Jan ŠANOVEC. *Základy technologie I. 2.*, přeprac. vyd. V Praze: České vysoké učení technické, 2011, 159 s. ISBN 978-80-01-04867-2 (BROŽ.).
- [2] KOVAŘÍK, Rudolf. *Technologie svařování. 2. vyd.* Plzeň: Západočeská univerzita, 2000, 185 s. ISBN 80-708-2697-5.
- [3] ADAMKA, Jozef, Milan TURŇA, Andrej HAVALDA a Ján STYK. *Základy zvarania, delenia a spájkovania kovov. 1. vydání.* Bratislava: ALFA, 1984. ISBN 63-037-84.
- [4] BERNASOVÁ, Eva. *Svařování. 1. vydání.* Praha: SNTL, 1988. ISBN 04-221-88.
- [5] KOUKAL, Jaroslav. *Svařování ocelových konstrukcí. 1. vyd.* Ostrava: Česká asociace ocelových konstrukcí, 2010, 159 s. ISBN 978-80-904535-4-8 (BROŽ.).
- [6] ADAMKA, Jozef, Emil GRUTKA a Július VESELKO. *Teória zvarania. 1. vydání.* Bratislava: Alfa. ISBN 63-848-84.
- [7] MINAŘÍK, Václav. *Obloukové svařování. 2., aktualiz. vyd.* Praha: Scientia, 2003, 241 s. ISBN 80-718-3285-5.
- [8] PRUDKÝ, Jan, Rudolf DUBENSKÝ, Jiří DUNOVSKÝ a Jiljí NOVOTNÝ. *Teorie a metodika svařování. 1. vydání.* Praha: Ediční středisko ČVUT, 1981.
- [9] KUNCIPÁL, Josef. *Svařování pro konstruktéry a technology. 1. vydání.* Praha: SNTL, 1980.
- [10] BROŽEK, Milan. *Strojírenská technologie 1, svařování. Přednášky. ČZU, Praha: 2008*
- [11] WEMAN, Klas. *Welding processes handbook. 1st ed.* Boca Raton: Woodhead, 1980, vii, 193 s. ISBN 18-557-3689-6.
- [12] KUNCIPÁL, Josef, Václav PILOUS a Jiří DUNOVSKÝ. *Nové technologie ve svařování. 1. vydání.* Praha: SNTL, 1984.
- [13] KUNCIPÁL, Josef. *Teorie svařování. 1. vydání.* Praha: SNTL, 1986,
- [14] PROŠEK, Jiří a Pravoslav KRATOCHVÍL. *Robotizace obloukového svařování. 1. vydání.* Praha: SNTL, 1987. ISBN 06-097-87.

- [15] KOŽÍŠEK, Jiří. *Robotizace v hutnictví a strojírenství: Průmyslové roboty a manipulátory, automatizovaná technologická pracoviště s průmyslovými roboty a manipulátory a robotizované výrobní systémy*. 1. vydání. Praha: UTRIN, 1986.
- [16] ABB v České republice: Katalog výrobků. [online]. [cit. 2014-03-07]. Dostupné z: <http://www.abb.cz/product/seitp327/56f6fd8b16df5b95c125726f0043cd35.aspx>
- [17] Castolin Eutectic: Svařovací zdroje MIG/MAG. [online]. [cit. 2014-03-07]. Dostupné z: <http://www.castolin.com/cs-CZ/product/total-arc2-3000>

Seznam obrázků

Obr. 1 Svarový spoj [3]

Obr. 2 Přesuny částic v oblouku [7]

Obr. 3 Princip svařování MIG/MAG [10]

Obr. 4 Foukání oblouku [7]

Obr. 5 Znárodnění souvislostí při návrhu a realizaci robotizovaného pracoviště [14]

Obr. 6 vybavení svařovacího pracoviště pro technologii MAG [14]

Obr. 7 Schéma řídicího systému [14]

Obr. 8 Technologická hlavice [14]

Obr. 10 Tupý svar

Obr. 11 Koutový svar

Obr. 12 Oblý svar oboustranný

Obr. 13 Svařovací robot [16]

Obr. 14 Pohybové možnosti svařovacího robota [16]

Obr. 15 Svářečka TOTAL Arc² 3000 [17]

Obr. 16 Fotografie vzorků před a po naleptání

Obr. 17 Fotografie koutového svaru

Obr. 18 Fotografie tupého svaru

Seznam tabulek

Tab. 1 Přehled svařování [4]

Tab. 2 Rozdělení ocelí [4]

Tab. 3 Rozdělení svařování v ochranných atmosférách [7]

Tab. 4 Popis práce při svařování

Tab. 5 Popis vzorků

Tab. 6 Rozdělení vad vyskytující se ve svarech [4]

Tab. 7 Výsledky měření

Tab. 8 Zhodnocení výsledků měření

Tab. 9 Zadané hodnoty

Tab. 10 Náklady

Tab. 11 Poměr dílčích N k celkovému N