

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

FAKULTA STROJNÍ

Ústav strojírenské technologie

Návrh svařovacího přípravku pro výrobu mostního zábradlí

Bakalářská práce

Autor:

Bohumil Vender

Studijní obor:

Výroba a ekonomika ve strojírenství

Vedoucí práce:

doc. Ing. Ladislav Kolařík, Ph.D., IWE

Konzultant:

Miroslav Fišer IWT

Praha 2018



ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Vender** Jméno: **Bohumil** Osobní číslo: **458458**
 Fakulta/ústav: **Fakulta strojní**
 Zadávací katedra/ústav: **Ústav strojírenské technologie**
 Studijní program: **Výroba a ekonomika ve strojírenství**
 Studijní obor: **Technologie, materiály a ekonomika strojírenství**

II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce:

Návrh svařovacího přípravku pro výrobu mostního zábradlí

Název bakalářské práce anglicky:

Design of welding fixture for the production of a bridge railing

Pokyny pro vypracování:

- Rozbor výroby svařovaných ocelových mostních zábradlí ? popis, výrobku, materiálu, používaných technologií (včetně vytvoření výrobní dokumentace)
- Popis vybrané technologie svařování a možností její robotizace
- Vytvoření a optimalizace svařovacího přípravku pro výrobu mostního zábradlí.
- Zhodnocení dosažených výsledků

Seznam doporučené literatury:

- [1] Kolařík L. a kolektiv. Konstrukce a navrhování svarových spojů, učební texty kurzu IWE, ČVUT v Praze, Praha, 2017
- [2] Kuncipál, J. a kolektiv: Teorie svařování, SNTL, Praha, 1986
- [3] Kolektiv autorů. Technologie svařování a zařízení, učební texty kurzu IWE, VUT Brno, Brno, 2016
- [3] Lienert T. J. ASM Handbook, 6A Welding Fundamentals and Processes, ASM International, 2012, ISBN 9781615031337
- [4] Příslušné EN normy ?.
- [5] Firemní materiály společnosti OK-BE spol. s r.o.

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) bakalářské práce:

doc. Ing. Ladislav Kolařík, Ph.D., ústav strojírenské technologie FS

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

Miroslav Fišer, IWT, OK-BE spol. s.r.o.


Datum zadání bakalářské práce: **31.10.2018**

Termín odevzdání bakalářské práce: **08.01.2019**

Platnost zadání bakalářské práce: **31.12.2019**

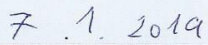

 doc. Ing. Ladislav Kolařík, Ph.D.
 podpis vedoucí(ho) práce

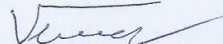

 doc. Ing. Ladislav Kolařík, Ph.D.
 podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry


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

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

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


 Datum převzetí zadání


 Podpis studenta

Prohlášení:

Prohlašuji, že jsem svou bakalářskou práci vypracoval samostatně a použil jsem pouze podklady uvedené v příloženém seznamu použitých zdrojů.

Nemám závažný důvod proti užití mé bakalářské práce ve smyslu § 60 Zákona č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon)

Dne

Bohumil Vender:

PODĚKOVÁNÍ

Rád bych poděkoval svému vedoucímu bakalářské práce panu doc. Ing. Ladislavu Kolaříkovi, Ph.D., IWE za pomoc a vedení při mé bakalářské práci, cenné rady a mnoho trpělivosti. Poděkovat chci také panu Miroslavu Fišerovi, IWT za podporu, podnětné připomínky a odbornou pomoc při vypracovávání praktické části.

Velké poděkování patří i mým rodičům, kteří mne během celého bakalářského studia podporovali, přítelkyni Dominice Slavíkové děkuji za trpělivost.

Název práce: Návrh svařovacího přípravku pro výrobu mostního zábradlí
Autor: Bohumil Vender
Vedoucí práce: doc. Ing. Ladislav Kolařík, Ph.D., IWE
Pracoviště: Ústav strojírenské technologie, FS, ČVUT v Praze

Abstrakt:

Práce je zaměřená na výrobu svařovaných ocelových zábradlí. V teoretické části se zabývá rozborem tavné svařovací metody MAG a možnosti její robotizace. V praktické části je rozebrána problematika výroby mostního zábradlí, které se vyrábí ve firmě OK-BE s.r.o. (včetně všech legislativních požadavků, spojených s výrobou). Dále byl porovnán současný způsob výroby a bylo navrženo robotické pracoviště, které by se mohlo v budoucnu ve firmě OK-BE s.r.o. aplikovat při výrobě zábradlí. Ve zhodnocení je provedeno porovnání ručního a robotického svařování zábradlí z hlediska ekonomiky a času.

Rozsah: 67 stran
Počet obrázků: 20 obrázků
Počet tabulek: 4 tabulky

Name of bachelor thesis: Design of welding fixture for the production of a bridge railing
Author: Bohumil Vender
Supervisor: Doc. Ing. Ladislav Kolařík, Ph.D., IWE
Workplace: Department of Manufacturing technology

Abstract:

Bachelor thesis is focused on the production of welded steel railing. In the theoretical part I deal with the analysis of the fusion welding method MAG and her possibilities of robotization. In the practical part there is discussed the issue of production of bridge railings, which is made in the company OK-BE s.r.o. Further it was compared present method of production and was suggested a robotic workplace which could be used during the production in the company OK-BE s.r.o. The evaluation is done by comparing hand and robot welding in terms of economy and time.

Scope of work: 67 pages
Number of pictures: 20 pictures
Number of tables: 4 tables

Obsah

I. TEORETICKÁ ČÁST	10
1. Popis svařování metodou MAG	11
1.1. Princip svařování.....	11
1.1.1. Elektrický oblouk	12
1.2. Princip metody MAG.....	14
1.2.1. Ochranné plyny pro metodu MAG	16
1.3. Přenos svarového kovu elektrickým obloukem.....	20
2. Robotizace svařovacího procesu	23
2.1. Definice robota	23
2.2. Důvody robotizace	23
II. PRAKTICKÁ ČÁST	25
3. Rozbor výroby svařovaných ocelových mostních zábradlí:.....	26
3.1. Popis výrobku mostní zábradlí.....	26
3.2. Technické požadavky na zábradlí:	27
3.2.1. Rozdělení zábradlí:	29
3.3. Navrhování zábradlí	30
4. Zjednodušený technologický postup pro výrobu zábradlí.....	32
4.1. Požadavky na materiál.....	33
4.2. Jednotlivé kroky výroby	35
4.3. Povrchová ochrana	42
4.4. Výběr nejvhodnějšího typu zábradlí z hlediska cenové kalkulace i pracnosti: 43	
4.4.1. Postup výroby zábradlí typu A1.	46
5. Návrh robotického pracoviště pro svařování panelu A1.....	47
5.1. Technická specifikace Robota KR 16L6	47
5.1.1. Technická data průmyslového robota:.....	49

5.1.2.	Řídící skříň KR C2	49
5.1.3.	Výkonová část a měřicí systém:	49
5.1.4.	Bezpečnostní funkce (prov. podle EN 775 a směrnice 89/392/EEC)	49
5.1.5.	Ovládací panel	50
5.1.6.	Operační systém.....	50
5.2.	Software KUKA.CR ArcTech Digital	51
5.2.1.	ARC STRIKE	52
5.2.2.	ARC	52
5.2.3.	ARC OFF	52
5.2.4.	Pendl.....	52
5.2.5.	Touch Sensor H70.....	53
5.3.	Svařovací vybava	53
5.3.1.	Speciální vlastnosti zdroje:.....	54
5.3.2.	Technická data svářecího zdroje TPS 5000 [12]	55
5.3.3.	Příslušenství.....	55
5.3.4.	Kolizní spojka CAT2.....	55
	Hlavní přednosti:	56
5.3.5.	Jednotka pro mechanické čištění hubice	56
5.3.6.	Technická data:	56
5.3.7.	Elektromagnetické čištění hubice	56
5.4.	Polohovadlo KPF3-H2H750	56
	Schéma pracoviště.....	58
5.5.	Univerzální upínací přípravek	59
6.	Hodnocení ruční a robotické výroby mostního zábradlí	60
	Výsledek porovnání robotického a ručního svařování:	61
	Závěr:	62
	Seznam zkratek a norem	65

ÚVOD:

Tato práce je zaměřená na problematiku výroby mostního zábradlí z pohledu svařování. K dosažení výsledků bylo nejdříve potřeba analyzovat výrobu mostního zábradlí ve firmě OK-BE s.r.o., kde byla tato bakalářská práce (BP) po praktické stránce řešena. Firma se zabývá výrobou ocelových konstrukcí už od roku 1993 a do dnešního dne veškeré operace provádí ručně, vyjma tepelného dělení, které je prováděno na CNC pálicím stroji.

Zábradlí je ve firmě OK-BE s.r.o. svařováno zásadně metodou MAG (podle ČSN EN ISO 4063), neboli metodou MAG. Tato technologie je nejvhodnější svařovací metodou pro robotizaci procesu svařování. V rámci řešení BP bylo navrženo řešení pomocí robotického svařování, které bylo reálně navrženo ve spolupráci s firmami dodávajícími průmyslové roboty, které pomohly takové pracoviště navrhnout.

Důvodem pořízení robotického pracoviště, je snížení provozních nákladů, zvýšení kvality svarových spojů a hlavně zvýšení produktivity výroby mostního zábradlí.

I. TEORETICKÁ ČÁST

1. *Popis svařování metodou MAG*

V technické praxi se můžeme setkat s různými druhy spojení strojních součástí. Hlavní metodou spojování kovových materiálů jsou spojení nerozebíratelná, mezi která patří vytváření svarových spojů. Cílem svařování je vyrobit vyhovující spojení určitých částí povrchů dvou a více dílů, tak aby vzniklý spoj vykazoval vlastnosti, které jsou požadovány nebo vyhovují provozním podmínkám. [1][11]

1.1. *Princip svařování*

Nejpoužívanější metody svařování jsou ty, které využívají k vytvoření spoje tepelnou energii (tzv. tavné metody svařování). Z tavných metod svařování se dnes nejvíce používají ty, které využívají jako koncentrovaný zdroj tepla elektrický oblouk. Elektrický oblouk vytváří teplo potřebné pro místní natavení základního materiálu i pro tavení přídavného materiálu, který má stejné nebo podobné složení jako spojované materiály. Svarový spoj vznikne působením meziatomárních sil a vazeb na teplem aktivovaných plochách, které se tvoří v roztaveném nebo plastickém stavu. Abychom dosáhli po metalurgické stránce vyhovující vlastnosti svarového spoje, je nutno v procesu svařování ochránit svarovou lázeň i kov odtavující se z přídavného materiálu před přístupem okolního vzduchu. K zajištění výhodných metalurgických vlastností svarového kovu u metody MAG slouží ochranná atmosféra aktivního plynu. [2]

1.1.1. Elektrický oblouk

Elektrický oblouk je nízkonapěťový elektrický vysokotlaký výboj, který vzniká obvykle mezi elektrodou a základním materiálem v prostředí ionizovaného plynu. Stabilně hoří za předpokladu napětí dostatečného pro ionizaci daného prostředí a proudu udržujícího plazma v oblouku v ionizovaném stavu. Je to zvláštní forma elektrického výboje v plynech, který je charakteristický ionizací plynového prostředí a uvolněním velkého množství tepla. [2]

Disociace - je proces, při kterém se v důsledku přívodu energie molekule rozpadá na odtržené molekuly, ionizované atomy a molekulární ionty. [1]

Ionizace - přívodem energie nastává odtržení jednoho nebo více valenčních elektronů atomů. Vzniká volný elektron a iont. Energie k tomu potřebná se nazývá iont Ui. [1]

Elektrický oblouk je intenzivně svítící a zřetelně ohraničený výboj kruhového průřezu o průměru 0,1 až 1 cm. Vysoké teploty vznikají při proudech větších než 0,3 A a při vyšších tlacích. Svařovací oblouk má délku 2 až 7 mm. Charakteristický proud elektrického oblouku se pohybuje od 10 až 2000 A, napětí je v rozpětí 10 až 50 V. [3]

Nejlépe lze jednotlivé části elektrického oblouku popsat na stejnosměrném oblouku hořícího mezi wolframovou elektrodou a základním materiálem v ochranném prostředí argonu(tj metoda TIG), protože při stejnosměrném proudu a konstantní délce oblouk hoří velmi stabilně beze změny napětí a proudu. [2]

Oblouk je možné rozdělit na následující části[2], jak je zobrazeno na obrázku 1.1:

- Katodovou oblast
- Sloupec oblouku
- Anodovou oblast

Katodová skvrna je ostře ohraničená oblast, která termickou emisí emituje prvotní elektrony důležité pro zapálení oblouku a ionizaci plynného prostředí. Elektrony získávají v oblasti katodového úbytku napětí tak velkou kinetickou energii, že jsou schopny při srážkách ionizovat neutrální atomy na kladné ionty a sekundární elektrony. Skvrna je stabilní, nebo se v závislosti na teplotě, proudu a geometrii konce elektrody po povrchu katody přemísťuje. Teplota katodové skvrny není stálá a zvyšuje se s růstem proudu. Teplota katody se vlivem ochlazovacího efektu termoemise elektronů pohybuje v rozmezí 2400 ° - 3000°C. Proudová hustota na katodové skvrně je velmi vysoká a dosahuje až 1000 – 1500 A.mm⁻². [2]

Na katodovou skvrnu elektrody dopadají kladné ionty, které se pohybují ve směru záporného pólu vlivem elektrostatických sil. Ionty jsou na povrchu neutralizovány a předávají na katodu svoji ionizační energii, která přispívá k termoemisi elektronů.

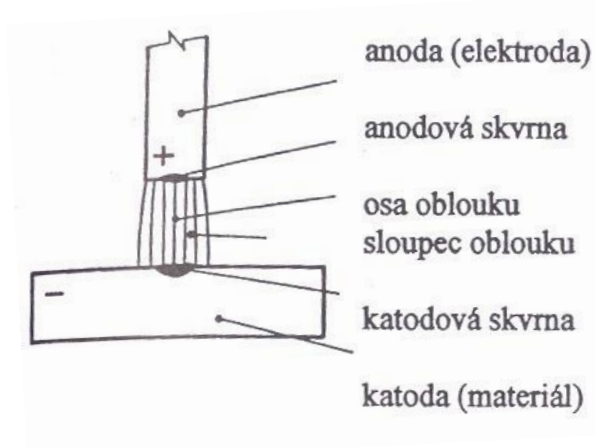
Ke katodové vrstvě přiléhá oblast katodového úbytku napětí. Tento úbytek napětí způsobuje prostorový náboj iontů, který brzdí elektrony uvolněné z katody. Pokles napětí je výsledkem spotřeby energie oblouku pro emisi elektronů a udělení dostatečné kinetické energie potřebné k ionizaci sloupce oblouku. [2]

Sloupec oblouku je oblast, ze které zářivě svítí ionizovaný a disociovaný plyn ve formě plazmy mezi elektrodami, který dosahuje vysokých teplot. Maximální teplota závisí na řadě faktorů. Největší vliv na teplotu má počet srážek částic v oblouku, který je dán intenzitou proudu a hodnotou napětí. V závislosti na teplotě nám prostředí oblouku určuje stupeň disociace a ionizace. Maximální teplota elektrického oblouku se nachází ve sloupci oblouku pod katodovou oblastí. [2]

Elektrický proud je při normálních podmínkách pro plyn nevodivý. Počet kladných a záporných částic ve sloupci nám určuje elektrickou vodivost plynu.

Anodová skvrna je oblast, kde se neutralizují elektrony, které byly emitovány katodou. Vysoká teplota anodové skvrny je dána transformací kinetické energie

rychle letících elektronů na energii tepelnou. Teplota anodové vrstvy se pohybuje v rozmezí 2700 – 3600 °C a to je většinou dostatečná teplota na roztavení materiálu.
[2]



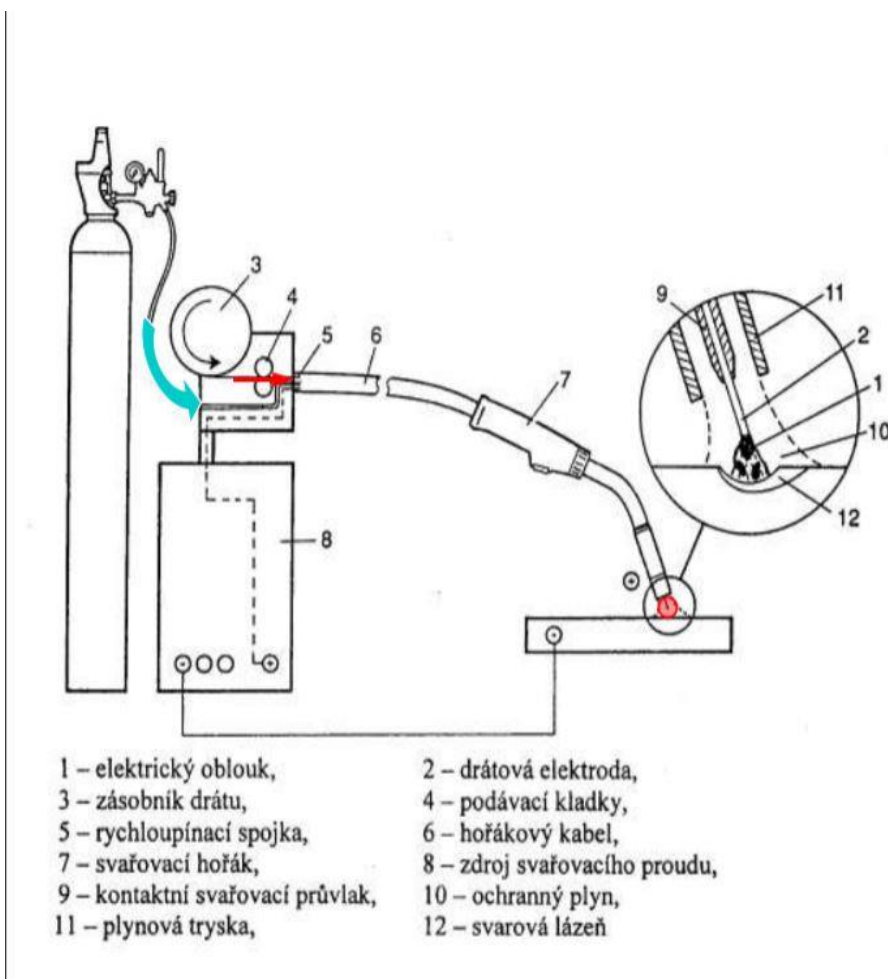
Obrázek 1. – Schéma elektrického oblouku s nepřímou polaritou[2]

1.2. Princip metody MAG

Jedná se o obloukové svařování, při kterém se odtavuje kovová elektroda, kdy elektrický oblouk a oblast svaru jsou chráněny před okolní atmosférou vrstvou ochranného plynu přiváděného z vnějšího zdroje. Při svařování metodou MAG je používán jako přídavný materiál svařovací drát, který je neustále pomocí kladkového podavače rovnoměrně dodáván do hořáku a proto je tato metoda kvůli své vysoké produktivitě hojně využívána. Jedná se o poloautomatický proces svařování.[4][14]

U metody MAG se používá výhradně nepřímá polarita, jak je zobrazeno na obrázku č.1.: Protože se jedná o nepřímou polaritu, je zemnicí svorka zapojena záporným pólem svařovacího zdroje na elektricky vodivou část spojenou se svařovaným materiálem, svařovací hořák zapojen na kladný pól svařovacího zdroje. Stejnoseměrný proud je dodáván svařovacím zdrojem. Při svařování nepřímou polaritou, dochází

na anodě k většímu odtavování přídavného materiálu, a to vede ke zvýšení výkonu odtavení. To je také důvod, proč je metoda MAG s ohledem na vysokou produktivitu práce velice populární. Do místa svařování je dodáván ochranný plyn, chrání elektrický oblouk a oblast svaru před okolní atmosférou. Ochranný plyn je skladován v tlakové lahvi s připojeným regulačním ventilem, pomocí kterého je možné regulovat průtočné množství ochranného plynu dodávaného do místa svařování.[4][14]



Obrázek č. 2. -Schéma metody [2]

Aby se docílilo kvalitního svarového spoje, je nutné nastavit vhodné procesní parametry. Napětí, proud a podávací rychlost drátu se nastavuje na svařovacím zdroji, průtočné množství ochranného plynu pak pomocí redukčního ventilu. Všechny již zmíněné parametry svařování nastavuje svářečský personál. Při svařování metodou MAG dochází k samoregulaci svařovacích parametrů, která je způsobena plochy průběhu statické charakteristiky svařovacího zdroje. Pokles délky oblouku vede k poklesu napětí, které vyvolá změnu svařovacího, což při konstantní rychlosti podávání svařovacího drátu vede k opětovnému zvýšení délky oblouku resp. napětí. [2]

Při svařování vzniká pro člověka mnoho nebezpečí a proto je nutno, aby byl celý proces opatřen bezpečnostními prvky. Jako ochrana očí před ultrafialovým a infračerveným zářením nám slouží filtr svářečské kukly. Pracoviště jsou často vybavena centrálním odsáváním, které odvádí škodlivé zplodiny. Při svařování se používá elektrický proud a proto je nutná častá kontrola přívodních kabelů, aby nedošlo k úrazu elektrickým proudem. Svářečský personál by měl mít vhodný nehořlavý svařovací oblek a rukavice, chránící před zářením a rozstříkem rozžhaveného kovu.

Kvalita svarového spoje enormně závisí na zkušenostech a znalostech svářeče. Je nutné, aby svářeč dodržoval neustále stejnou rychlost posuvu, vzdálenost hořáku od materiálu a úhel sklonu hořáku, aby byla kvalita svaru všude stejná. Velice důležitá je také příprava svarových ploch, při které se používá strojní nebo ruční obrábění. Mezi hlavní metody patří broušení a frézování, případně tepelné dělení.

1.2.1. Ochranné plyny pro metodu MAG

Hlavní úlohou ochranných plynů je zamezit přístupu vzduchu do oblasti svařování, tj. především chránit elektrodu, oblouk i tavnou lázeň, její okolí a případně u některých materiálů i kořen svaru před účinky okolní vzdušné atmosféry, zejména vzdušného kyslíku, který způsobuje oxidaci, naplynění, pórovitost a propal prvků. Dále slouží ochranná atmosféra jako ochrana před dusíkem a vodíkem. Ochranné

plyny mají také významný vliv na typ přenosu kovu v oblouku, přenos tepelné energie do svaru, chování tavné lázně, hloubku závaru, rychlost svařování, rozstřík apod.. [2]

Ochranný plyn svým složením a množstvím ovlivňuje:[2]

- Vytvoření ionizovaného prostředí pro dobrý start a hoření oblouku
- Metalurgické děje, které mají vliv na vytvoření kapky a přenosu z elektrody do svarové lázně
- Tvar a rozměry oblouku
- Tvar o rozměry kapek, rychlost jejich přenášení obloukem
- Tvar a rozměry průřezu svaru
- Hladkost povrchu svarové housenky
- Mechanické vlastnosti, celistvost a kvalitu svarového spoje

Pro metodu MAG se v technické praxi používají dvě skupiny ochranných plynů podle ČSN EN ISO 14175.. První skupinou je skupina C s oxidačními plyny na bázi oxidu uhličitého. Druhá skupina M je tvořena směsnými plyny na bázi argonu. Používané oxidační směsi jsou Ar + CO₂, Ar + O₂, Ar + He + CO₂ + O₂. [13]

Následuje popis vlastností jednotlivých plynů:

Argon (Ar) – jedná se o plyn inertní neboli netečný a to znamená, že za běžných podmínek nepodléhá chemickým reakcím a nevytváří s žádným jiným prvkem sloučeniny. Je to bezbarvý plyn bez zápachu. Kvůli svému nízkému ionizačnímu potenciálu je argon hojně využíván při svařování, protože nám při svařování přináší stabilní hoření oblouku a dobré zapálení oblouku. Nevýhoda argonu spočívá ve špatné tepelné vodivosti, díky které tvoří v kořeni svaru úzký závar. Měrná hmotnost argonu je větší než u vzduchu a to vede k precizní ochraně svarové lázně v základních

polohách svařování. Pro MAG svařování se argon uplatňuje jako základní nosná složka směsných plynů, právě díky své ionizační vlastnosti.[2]

Helium (He) -tento plyn patří stejně jako argon mezi plyny inertní. Je to bezbarvý plyn. Špatně zapaluje oblouk a to kvůli vysokému ionizačnímu potenciálu. Horší ionizační vlastnosti způsobují nestabilní oblouk, kvůli kterému je nutno zvýšit napětí na oblouku. Na rozdíl od argonu má helium výbornou teplotní vodivost, která způsobuje zvýšení rychlosti svařování, odplynění svařovací lázně a větší průvar. Měrná hmotnost helia je asi sedminásobně menší než u vzduchu a to přináší špatnou plynovou ochranu. Pro lepší plynovou ochranu je potřeba zvýšit průtok plynu. Helium je hůře cenově dostupné než Argon. Z pohledu MAG svařování lze opět použít pouze do směsí, jako náhrada za argon.

Argon a helium se plní do tlakových lahví běžně pod tlakem 20MPa v plynném skupenství. Běžná čistota je 99,996%. [2]

Oxid uhličitý (CO₂) je zařazen do skupiny aktivních plynů, protože má silné oxidační schopnosti. Tento plyn je nehořlavý, bezbarvý a má zvláštní kyselou chuť. Nejedná se o jedovatý plyn, ale je nebezpečný, protože při vyšší koncentraci zabraňuje dýchání. V technické praxi se při svařování používá oxid uhličitý s čistotou nejméně 99,5 %, zbylé 0,5% tvoří nečistoty. V lahvích o obsahu 20 a 40 l se plyn uchovává v kapalném stavu. Měrná hmotnost oxidu uhličitého je vyšší než u argonu.[2]

Výhoda oxidu uhličitého je výborný přenos tepla do svarové lázně, což vede k více než dostatečnému natavení základního materiálu, dostatečnému průvaru a odplynění lázně. Plyn má špatné ionizační schopnosti, a proto je nutné, aby se podobně jako u Helia používalo při svařování vyšší napětí. Ionizační energie je sice nižší než u argonu, ale jedná se o molekulový plyn, takže musí nejprve proběhnout disociace.

Nastavení vhodných parametrů svařování v praxi vyžaduje dostatečné zkušenosti a praxi. Kvůli oxidu uhličitému vzniká na konci elektrody poměrně vysoké povrchové napětí, které nám drží kapky roztaveného kovu na špičce elektrody a brání tak přenosu kovu do svarové lázně. Proto lze realizovat proces pouze pomocí zkratového přenosu, ale nelze dosáhnout čistě sprchového přenosu. Posléze se kapky oddělují s velkým objemem a obvykle nabývá jejich poloměr více než 0,8 mm. Tyto velké kapky se ihned po dopadu nataví na základní materiál a způsobují obtížně odstranitelný rozstřík, který pak musí být odstraněn pomocí brusky. Tato špatná vlastnost oxidu uhličitého nám zvyšuje pracnost výroby. [2]

Kyslík (O) – je plyn, který je stejně jako argon vyráběn destilací zkapalněného vzduchu. Kyslík má slabé ionizační vlastnosti, ale zato má silný oxidační účinek. Tento plyn je používán pouze ve směsích s argonem a oxidem uhličitým, případně heliem v koncentraci (1–8 %). Hlavní důvod přidávání kyslíku do ochranného směsného plynu je snížení povrchového napětí a zvyšování tekutosti svarové lázně. Působením kyslíku se zlepšuje profil svarové housenky, odplynění lázně a hlavně přenos přidávaného materiálu do svarové lázně. [2]

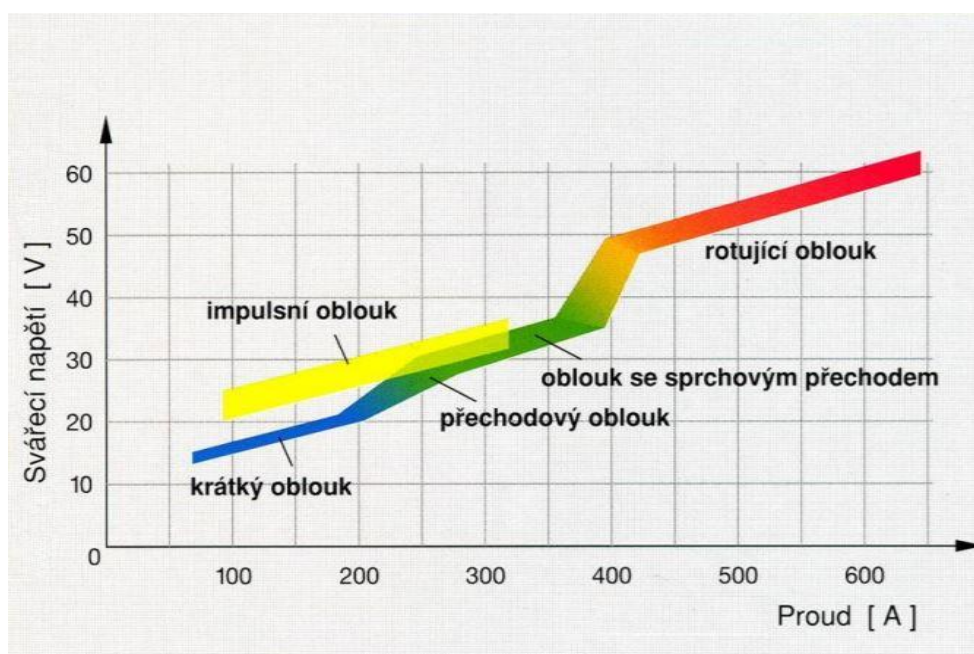
Tabulka č. 1 – Vlastnosti ochranných plynů [2]

Název plynu	Měrná hmotnost [kg /m ³]	Ionizační energie [eV]	Disociační energie [eV]	Barva tlakové láhve
Argon	1,784	15,8	-	Tmavě zelená
Helium	0,138	24,6	-	Hnědá
Oxid uhličitý	1,977	14,4	4,3	Šedá
Kyslík	1,429	13,6	5,1	Bílá

1.3. Přenos svarového kovu elektrickým obloukem

Přenos svarového kovu je proces, při kterém se odtavuje přídavný materiál a následně „teče“ do svarové lázně při hoření elektrického oblouku. Přenos kovu je silně ovlivňován svařovacími parametry zejména: svařovacím proudem, napětím a složením ochranné atmosféry a chemickým složením svařovacího drátu.[9]

Na odtavenou kapku rozžhaveného kovu působí síly, které hrají velkou roli v procesu přenosu kovu. Na špičce elektrody drží kapku kovu povrchové napětí, které se s rostoucí teplotou snižuje. Jako u každého vodiče, tak i u elektrody vzniká vlivem proudění elektrického proudu elektromagnetické pole, které má hlavní vliv na přenos kovu do svarové lázně. Elektromagnetické pole způsobuje tzv. pinch efekt, díky kterému je možno svařovat i v nucených, montážních polohách. Je to způsobeno radiálním tlakem magnetického pole oblouku, které zaškrcuje tzv. krček a odděluje kapku rozžhaveného kovu. [10][9]



Na obrázku 3 jsou graficky znázorněny základní typy přenosy svar. kovů v závislosti na parametrech svařování (U, I)

V praxi se využívají tyto typy přenosu kovů:

- **Zkratový přenos**

Pro zkratový přenos je potřeba mít nastavený proud na hodnotu 40 až 200 A a napětí 14 až 22 V. Během zkratového přenosu se kapka rozžhaveného kovu odtaví z elektrody, vyplní mezeru mezi elektrodou a svarovou lázní a nastane zkrat. Tento proces může vzniknout za účasti libovolné ochranné atmosféry. Oblast aplikace zkratového přenosu je: [2]

- Možnost svařovat ve všech polohách
- Svařování plechů malých tloušťek

Z důvodu vzniku zkratu mezi elektrodou a svarovou lázní oblouk téměř zhasne, což vede ke zvýšení hodnoty elektrického proudu a poklesu napětí. To má za následek růst příčné elektromagnetické síly, která kapku zaškrtní a poté odtrhne. Odtržením kapky vznikne nová mezera mezi elektrodou a lázní, kvůli které se oblouk opět zapálí a celý proces nastává znovu.

- **Sprchový přenos**

Se sprchovým přenosem se může svářeč setkat při hodnotách svařovacího proudu od 200 do 500 A a při napětí od 20 do 35 V. Sprchový přenos patří mezi bezzkratové přenosy, u kterých přechází roztavený kov do svarové lázně kapkami v ose elektrického oblouku. Mezi hlavní výhody sprchového přenosu kovu patří velké vnesené teplo, díky kterému dosáhneme průvar, vedoucí k možnosti svařování

materiálů velkých tlouštěk. Sprchovým přenosem se dosahuje vysoká kvalita svarového kovu.[2]

- **Impulzní přenos**

Princip impulzního přenosu kovu je napájení elektrického oblouku impulzně modulovaným proudem. Přenos odtavujících kapek kovu je řízen předem stanoveným programem. Mezi hlavní výhody impulzního přenosu je vysoký impulzní proud, který dokáže tavit i dráty větších průměrů. Dráty větších průměrů jsou lépe finančně dostupné.

- **Rotující oblouk**

Hodnoty svařovacího proudu při přenosu rotujícím obloukem nabývají 450 až 650 A, napětí se pohybuje v hodnotách 50 až 65 V. Průchodem elektrického proudu se začne kolem elektrody tvořit magnetické pole, které svojí silou roztočí odtavující se konec elektrody. Tato technologie je vhodná pouze pro strojní svařování.[2]

- **Kapkový přenos**

Tento typ přenosu vzniká při hodnotách napětí v rozmezí 22 až 28 V a proudu od 190 do 300 A. Při přenosu se konec elektrody vlivem vysokého proudu nataví do velké kapky. Reakčním tlakem par se kapka vydouvá mimo osu drátu a oblouk putuje po roztaveném konci elektrody až magnetické síly přeruší můstek. Kapka je vymrštěna do svarové lázně vysokou rychlostí, ale s malou frekvencí 5-40 kapek za sekundu.[5]

2. Robotizace svařovacího procesu

2.1. Definice robota

Průmyslový robot je automatické manipulační zařízení volně programovatelné, vybavené technologickou nebo úchytnou výstupní hlavici, určené pro použití v průmyslu. [1]

2.2. Důvody robotizace

V dnešní době se klade v průmyslu velký důraz na kvalitu výrobků a snížení strojních časů. Díky své přesnosti nám robot zaručuje opakovatelnou a vysokou jakost výrobků. Zavedením robotů do firem vzniká neustálý přehled nad výrobním procesem.[6]

Zavádění robotů do firem snižuje počet zaměstnanců, odstraňuje chyby a odchylky, které vznikly lidským faktorem jako jsou únava, zranění, rozptýlení či nemoc, která může mít i za následek zastavení výrobní linky. Robot nemá zákonem danou pracovní dobu, a proto může pracovat 24 hodin denně a to i o svátcích. Lidé se díky robotizaci vyvarují náročné a zdraví škodlivé práce. Robotizací se zlepšuje ergonomie pracovišť, která vede ke snížení počtu onemocněných či zraněných zaměstnanců. Svojí obrovskou flexibilitou umožňuje robot firmám instalaci na místa, kde by samotný člověk nedokázal pracovat a může tak využít nevyužitá místa na pracovišti. Robot přináší lepší flexibilitu výroby, dokáže rychle reagovat na požadavky zákazníka. Při svařování robot dosahuje vysoké kvality, opakovatelnosti a rychlosti vytváření svarů.

Z ekonomického hlediska vede robotizace ke snížení počtů zaměstnanců. Dále eliminuje plýtvání materiálem, nedodržování bezpečnostních předpisů či dokonce krádeže náradí a jejich příslušenství. Nacházíme se v době, kdy je obrovský nedostatek kvalifikovaných pracovních sil, což vede ke zvýšení stupně automatizace pomocí robotů. Automatizací se firmy vyhnou několika hodinovými školeními, výcviky a náborů nových zaměstnanců. Roboti nám snižují provozní náklady a nepřesnost

jednotlivých výrobků. Automatizací se nám mnohonásobně zvyšuje kvalita i produktivita.

II. PRAKTICKÁ ČÁST

3. Rozbor výroby svařovaných ocelových mostních zábradlí:

3.1. Popis výrobku mostní zábradlí

Mostní zábradlí se nejčastěji vyskytuje v sériové výrobě. Součástí mostního zábradlí je i kotvení k podpůrné konstrukci (k římsě, soklu, nosné konstrukci mostu apod.).

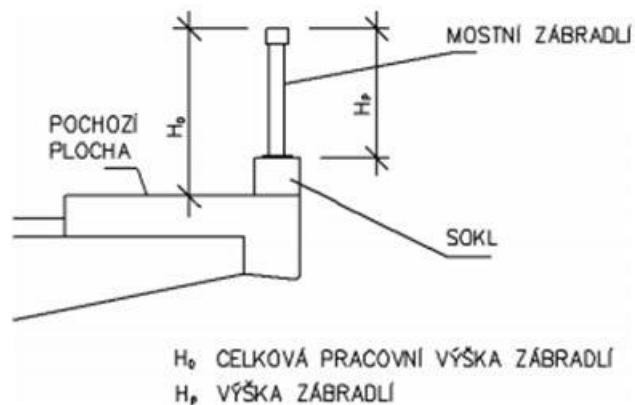
Mostní (ochranné) zábradlí: jedná se o konstrukci, jejíž funkcí je zpravidla ochrana chodců příp. cyklistů proti neúmyslnému pádu z volného okraje pochůzných příp. pojízdných ploch mostních objektů a opěrných zdí bez přesypávky. Pokud má toto zábradlí vodící funkci pro nevidomé a slabozraké, pak musí mít zarážku pro slepeckou hůl. Ve výši 0,1 až 0,25 m nad pochozí plochou. [7]

Silniční (dopravně bezpečnostní) zábradlí: Konstrukce, jejíž funkcí je ochrana chodců příp. cyklistů proti pádu z tělesa pozemní komunikace nebo z římsy mostního objektu a opěrné zdi s přesypávkou nebo zabránění vstupu chodců do jízdniho pásu a usměrnění jejich pohybu do žádoucích míst, případně zabezpečení pracovníků při prohlídce a údržbě mostních objektů pozemních komunikací. [7]

Schválené zábradlí: Mostní (ochranné) zábradlí, které má jako vybraný stavební výrobek posouzeno shodu podle § 5a nařízení vlády č. 163/2002 Sb. ve znění nařízení vlády č. 312/2005 Sb. (položka 9/5c přílohy č. 2) nebo podle nařízení vlády 190/2002 Sb. 3. Jedná se o výrobky označené CE, která jsou schválené MD (ministerstvem dopravy) a povolené k používání na pozemních komunikacích podle zákona č. 361/2000 Sb. jako dopravní zařízení. Zároveň i jednotlivé prvky mají posouzenou shodu podle stejných legislativních předpisů a zábradlí má posouzenou vhodnost podle metodického pokynu SJ-PK (Systém jakosti pozemních komunikací), část II/5 - Ostatní výrobky a je MD schválené a povolené k používání na pozemních komunikacích podle zákona č. 361/2000 Sb. jako dopravní zařízení.[8]

3.2. Technické požadavky na zábradlí:

Výška mostního zábradlí je patrná z obrázku č.4. V tabulce č.2 jsou uvedeny požadavky na minimální výšku zábradlí.



Obrázek č. 4. -Výška zábradlí

Tabulka č. 2. – Minimální výška zábradlí [7]

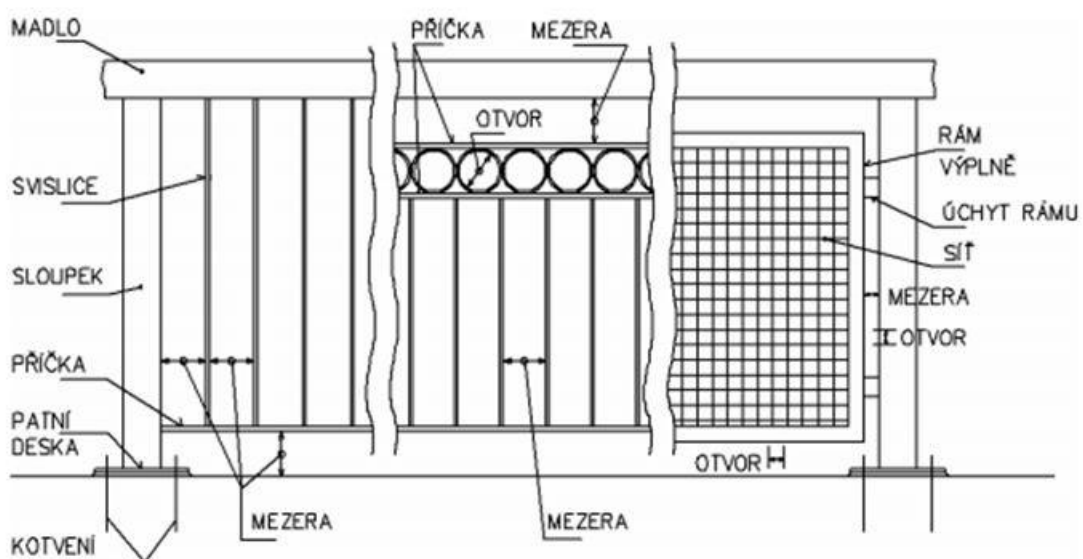
Č.	Minimální výška H_0 [m]	Poznámka
1	1,10	zábradlí určené chodcům
2	1,30	zábradlí určené chodcům a cyklistům

Mezery a otvory v zábradlí jsou další závazný parametr. Velikost mezer a otvorů – viz obr. 5 v mostním zábradlí ovlivňuje požadavek na zabránění prolezení/propadnutí dítěte, možnost vylezení na zábradlí a propadnutí kamenů, eventuálně sněhu. Maximální hodnoty mezer a otvorů jsou uvedeny v tabulce 2. Na obrázku 6 a 7 je zobrazen příklad konstrukce mostního zábradlí. [15]

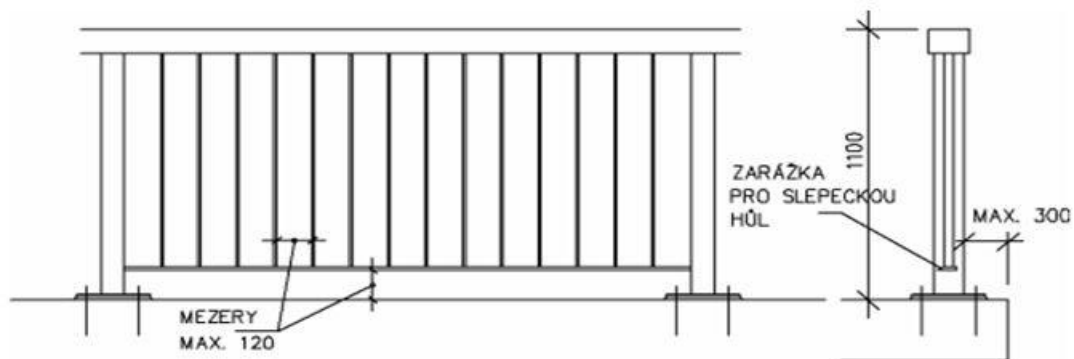
Tabulka č. 3. – Maximální hodnota mezer a otvorů mostního zábradlí

Č.	prolezení dítěte		možnost vylezení		propadání kamenů		propadání sněhu	
	Mezera [mm]	Otvor [mm]	Mezera [mm]	Otvor [mm]	Mezera [mm]	Otvor [mm]	Mezera [mm]	Otvor [mm]
1	120	120	120	ø 40 oka 40/40*	20	ø 20 oka 20/20	15	ø 20 oka 20/20

* Pokud jsou otvory alespoň 700 mm nad pochozí plochou (viz obr. 10) mohou mít velikost až 120 mm



Obrázek č. 5. -Mezery a otvory mostního zábradlí



Obrázek č. 6. – Příklad mostního zábradlí[7]



Obrázek č. 7. – Aplikace mostního zábradlí [7]

3.2.1. Rozdělení zábradlí:

Ve stavebnictví se mostní zábradlí rozlišuje podle několik kritérií. Podle účelu máme zábradlí mostní (ochranné) a silniční (dopravně bezpečnostní). Další možnost

rozdělení je podle konstrukce, svařované nebo šroubované. Poslední možností rozdělení zábradlí je podle použité výplně, které je popsáno v dalším odstavci.[15][17]

- **Podle použité výplně**

- vodorovná (plochá tyč, kruhová tyč, duté profily)
- plná (plech, plast, beton, dřevo)
- tahokov (válcovaný, děrovaný)
- svařovaná (pletivo)
- lana (ocelová, poplastovaná, předpínaná). [7]

3.3. *Navrhování zábradlí*

Firmy vyrábějící mostní zábradlí musí dodržovat velké množství předpisů a opatření.

Základní podmínky pro navrhování jednotlivých typů zábradlí jsou obsaženy v projektových normách ČSN 73 6101(projektování silnic a dálnic), ČSN 73 6110(projektování místních komunikací) a ČSN 73 6201(Projektování mostních objektů). [8]

Ověření funkčnosti zábradlí:

Všeobecně každé mostní zábradlí musí být posouzeno na mezní stav únosnosti ULS (ultimate limit state) a na mezní stav použitelnosti SLS (serviceability limit state).[8]

Posouzení na mezní stav únosnosti ULS lze provést čtyřmi způsoby:

- a) výpočtem
- b) kombinací výpočtu a statické zkoušky
- c) kombinací výpočtu, statické a dynamické zkoušky (dynamickou zkouškou se zkouší pouze výplň);

d) kombinací statické a dynamické zkoušky (dynamickou zkouškou se zkouší pouze výplň).

Mostní zábradlí jako výrobek může být posouzeno všemi čtyřmi způsoby:

Plná výplň (sklo, akrylát, umělé hmoty, atd.) s výjimkou plechové výplně, musí být posouzena dynamickými zkouškami dle TNI CEN/TR 16 949 (Silniční záchytné systémy). [8]

Mostní zábradlí se posuzuje většinou pouze výpočtem, a pokud je u tohoto zábradlí navržena plná výplň (sklo, akrylát, umělé hmoty, atd.), musí být rovněž posouzena dynamickými zkouškami dle TNI CEN/TR 16 949. To samozřejmě neznamená zákaz provedení statických nebo dynamických zkoušek, které u neobvyklé konstrukce zábradlí mohou být na vzorcích provedeny. Dynamické zkoušky jsou součástí dodávky, nikoliv projektu zábradlí. [8][15]

Posouzení na mezní stav únosnosti ULS výpočtem (pro navrhování a posuzování podle následujících podmínek):

- Zatížení dopravou
- Spojité zatížení madla a vodorovných příček
- Soustředěné zatížení madla a vodorovných příček
- Zatížení výplně
- Zatížení větrem
- Zatížení sněhem
- Zatížení mimořádné

Požadavky na výrobu a svařování řeší vlastní technologický postup, který stanovuje výrobní procesy a kontroly.

4. Zjednodušený technologický postup pro výrobu zábradlí

- Technologický postup je zpracován v souladu s TKP (technické kvalitativní podmínky) staveb pozemních komunikací, platnými ČSN, RDS (realizační dokumentace stavby) a ZTKP (zvláštní technické kvalitativní podmínky) stavby. [7]
- Technologický postup stanovuje v souladu s ustanovením § 5, odst. 1, písmeno d), zákona č. 309/2006 Sb., další podmínky k zajištění bezpečnosti a ochrany zdraví všech osob při práci na výše uvedeném pracovišti. [7]
- Technologický postup řeší výrobu v třídě provedení EXC2 a EXC3 podle ČSN EN 1090-2. Určuje, jakým způsobem budou jednotlivé dílce vyrobeny. [7]

Technologický postup musí obsahovat a řešit následující kapitoly:

Evidence jednotlivých kroků při výrobě se musí evidovat ve výrobním deníku, který musí obsahovat následující

Výrobní deník (VD) se vede jako samostatný svazek. Za vedení deníku je zodpovědný vedoucí výroby. Ve VD musí být uvedeny denní záznamy o provedené práci a musí obsahovat údaje dle ČSN 732603 zejména: [7]

- Evidenční údaje o konstrukci a datum zahájení výroby.
- Jméno a funkci osoby zodpovědné za vedení VD.
- Seznam osob oprávněných provádět záznamy.

- Seznam svářečů a jejich kvalifikace.
- Zjištěné nedostatky práce a příkazy k jejich odstranění nebo nápravě.
- Údaje o provedení a vyhodnocení defektoskopických zkoušek.
- Zprávu technické kontroly výrobní organizace o provedení kontroly a způsobilosti konstrukce k dílenské přejímce.
- Zjištěné závady a porušení bezpečnostních předpisů a vydaná opatření k jejich odstranění.
- Záznam o ukončení výrobního deníku.
- Záznamy do výrobního deníku smějí provádět:
 - Výrobní organizace (vedoucí výroby, technická kontrola, svářečský inženýr).
 - Projektant.
 - Zpracovatel VVD (výkresová výrobní dokumentace).
 - Montážní organizace.
 - Objednatel.
 - Zástupce investora.

4.1. Požadavky na materiál

Požadavky na materiál zábradlí podle druhu dílů a jednotlivých předpisů jsou tyto:

- ocelové součásti včetně lan (sloupky, madlo, výplňové pruty) – oceli pevnostních tříd S 235, S 275, S 355 podle ČSN EN 10025. Pro materiál trubkových konstrukcí platí ČSN 73 1403.[7]

- Základní jakostní označení materiálů jednotlivých položek se stanovuje projektovou dokumentací: sloupky, rám výplně, madla
- Druh přejímky základního a přídatného materiálu - 3.1. (podle ČSN/EN 10204).
- Druh přejímky pro spojovací materiál - 3.1

Jednotlivé kroky TP výroby

- Vstupní kontrola materiálu
- Provede se kontrola I.C a povrchu materiálu
- Tolerance tloušťky

Tloušťka dodaného materiálu se vyhodnocuje podle ČSN EN 10029 (Plech ocelové válcované za tepla tloušťky od 3 mm- Mezní úchytky rozměrů a tolerance tvaru), (uvedeno v tab. 1 této normy), a to v závislosti na třídě, ve které je materiál dodán.[8]

Stav povrchu. U základního materiálu se hodnotí stav povrchu dle ČSN EN 10163-1. Požadavky na jakost povrchu a podmínky pro odstranění vad jsou provedeny v souladu s ČSN EN 10163-2, čl.6.2, čl. 6.3.

Délkové rozměry

Vyhodnocení podle ČSN EN 10029, tab.2, tab.3. této normy

Vyhodnocuje se rovinnost pro normální úchytky rovinnosti (N) pro ocel skupiny L dle ČSN EN 10029, tab.4. této normy.[7]

Rozdělení dílů konstrukcí do montážních celků se provádí ve VVD.

4.2. *Jednotlivé kroky výroby*

Technologický postup pro dělení materiálů

- Po očištění vstupního materiálu se dělí jednotlivé pozice dle kusovníku. Profily se řezou na pásové pile. Pálení (tepelné dělení se provádí na CNC pálicím stroji v souladu s ČSN EN ISO 9013. Rozměry pro dělení materiálu na pálicím stroji jsou zadávány s přídavkem podle ČSN EN ISO 9013 (Tepelné dělení - Klasifikace tepelných řezů- Geometrické požadavky na výrobky a úchytky jakosti řezu), pro následné nutné obrobení, které vede k odstranění nadměrně tvrdých hran. Zjištěné povrchové vady např.: vrypy, otlaky, vruby, zápaly apod. se obrousí s plynulým přechodem do základního materiálu, případně se předem vyvaří.

Kontrola rozměrů jednotlivých dílů

- Kvalitu řezaných ploch, povrchu ploch a značení dílů - provádí OŘJ (odbor řízení jakosti).

Rovnění materiálů

Při rovnání materiálu se musí dodržovat několik pravidel. Je přísně zakázáno používání kladiv nebo mechanických rovnacích prostředků, kde by hrozilo poškození povrchu materiálů. Při rovnání materiálu plamenem je nutné dodržovat hodnoty teplot ohřevu. Firma OK- BE s.r.o. používá na výrobu zábradlí materiál ocel řada S 235, u které se doporučuje ohřev do 580 °C.

Technologický postup pro přípravu dílců:

Jednotlivé prvky zábradlí se upraví, tj. obrobí frézováním, vrtáním a broušením. Na dílech určených pro svařování se připraví svarové plochy dle ČSN EN ISO 9692-1 (svařování a příbuzné procesy, doporučení pro přípravu svarových spojů). Dále se díly sestaví a vloží do šablony a následně se nastehují. Následně se provedou dílenské

svary. Povrch svarů se na pohledových plochách model zabrousí a nakonec se celé zábradlí očistí. [7]

Kontrola:

Kontroly se provádí během celé výroby. Kontrolují se rozměry včetně geometrického tvaru, provádí ji vedoucí výroby nebo OŘJ se záznamem do VD nebo KZP (kontrolně zkušební plán).

Kontrola rozměrů jednotlivých dílů po svařování:

Kontrola rozměrů a geometrického tvaru podle ČSN EN ISO 13920 (Svařování – Všeobecné tolerance svařovaných konstrukcí, délkové a úhlové rozměry). Vizuální kontrola tavných svarů podle ČSN EN ISO 17637 (Nedeskruktivní zkoušení svarů) se popisuje v technologickém postupu svařování. [8]

Dílenská přejímka:

- dílenská přejímka probíhá v černém stavu (před povrchovou ochranou).
- k dílenské přejímce předkládány doklady dle ČSN 732603 (Ocelové mostní konstrukce) :
- schválenou platnou výrobní dokumentaci včetně změn vzniklých a schválených v průběhu výroby.
- výrobní deník s řádně vedenými zápisy pověřených osob.
- doklady o použitém základním a spojovacím materiálu.
- dílenská přejímka se provádí podle ČSN 73 2603, kap. 6 a ČSN 732611, případně zpřísnění z RDS (Realizační dokumentace stavby).
- Rozdělení ocelové konstrukce na dílce, u kterých se jednotlivě provádí dílenská přejímka, musí být stanoveno ve výrobní dokumentaci.

Dílenskou přejímku provádí objednatel na vyzvání zhotovitele ocelové konstrukce po jejím dokončení, nebo po dokončení jejího dílce. Účastníky dílenské přejímky definuje a další základní ustanovení o dílenské přejímce předepisuje ČSN 73 2603.

Dílenská přejímka musí být provedena vždy u ocelových konstrukcí ve třídě provedení EXC2 dle ČSN EN 1090-2. Výjimku může povolit objednatel. Od provedení dílenské přejímky lze upustit v případě ocelových konstrukcí zatříděných do ostatních výrobních skupin, pokud dojde k dohodě mezi objednatelem, zhotovitelem ocelové konstrukce a zhotovitelem montáže. Přejímkou nařízené opravy či případně zjištěné nedodělky se musí provést neprodleně ve stanovených termínech. Průběh a kontrola dokončovacích prací se zaznamenávají do výrobního deníku.

Technologický postup svařování:

Základní údaje:

- konstrukce je vyráběna podle ČSN EN 1090-2 + A1.
- výrobní skupina : EXC2, EXC3
- metoda svařování: MAG
- jakost použitého materiálu : S235 – Certifikát 3.1
- jakost přídavného svařovacího materiálu : G3Si1, Certifikát 3.1
- ochranná atmosféra: CORGON 18 (18% CO₂+ 82 % Ar) [7]

Kvalifikace svářečů:

Pro svařování elektrickým obloukem v ochranné atmosféře se požaduje kvalifikace podle ČSN EN ISO 9606 (Zkoušky svářečů - Tavné svařování), pro metodu MAG podle ČSN EN ISO 4063 (Svařování a příbuzné procesy-přehled metod a jejich číslování).

Požadovaná kvalifikace musí odpovídat příslušné poloze svařování podle ČSN EN ISO 6947 (Svařování a příbuzné procesy-Polohy svařování). [8]

Značení svarů:

Lihovým popisovačem pro potřeby dílenské přejímky

Všeobecné zásady:

Svarové plochy musí být upraveny dle ČSN EN 9692. Ruční obloukové svařování, svařování v ochranných plynech a plamenové svařování. Musí být dodržovány bezpečnostní ustanovení dle ČSN 050630 (Zváranie. Bezpečnostné ustanovenia pre oblúkové zváranie kovov). Je třeba dodržovat pořadí jednotlivých operací předepsaných v TP. Při stehování a svařování se smí elektrický oblouk zapalovat jen v místech budoucího svaru.

Provádí-li se vícevrstvý svarový spoj, je nutno při provedení kořenové části zajistit zaručené natavení ploch a provaření kořene. Po dokončení každé housenky je nutno povrch očistit od strusky a nečistot, zkontrolovat zda je hladký, bez trhlin, pórů a zápalů. Chybná místa je nutno mechanicky opracovat, popř. vydrážkovat a brousit před nanesením další vrstvy.

Provedené svary musí pomalu chladnout na klidném vzduchu. Urychlené ochlazení svařovaných míst není dovoleno. Během svařování a chladnutí nesmějí být svařované dílce namáhány otřesy, chvěním, tahem, apod.

Provedené svary musí mít tvar a rozměry předepsané na výkrese a splňovat požadavky ČSN EN 732601 čl.91, 92.[8]

Povrch hotového svaru musí být při vizuální kontrole pravidelný a čistý bez trhlin, zápalů, krápníků a strusky. Hodnocení svarů se provádí podle ČSN EN ISO 5817(Svařování- Svarové spoje oceli zhotovené tavným svařováním) stupeň jakosti B.[8]

U svařované konstrukce nesmí být na povrchu a na svaru zápaly. Vzniknou-li, je nutno je vybrousit tak, aby přechod mezi svarem a základním materiálem byl plynulý a zeslabení nebylo hlubší než 5% jmenovité tloušťky základního materiálu, nejvíce však 0,5 mm. V místech předepsaných na výkresech se upraví přechod mezi základním materiálem a svarem broušením.[7]

Koutové svary musí být provedeny tak, aby bylo zaručeno provaření kořene. Doporučuje se tyto svary provádět ve vodorovné poloze shora (PA podle ČSN EN ISO 6947). Nesmí se překračovat předepsané parametry svařování. Předepsaný předeřev základního materiálu provádět pomocí ručních hořáků na propan. Základní materiál je nutno předeřvat do vzdáleností trojnásobku šířky svaru (min. 50 mm) na každou stranu od osy svaru. Teplota předeřevu musí být udržována po celou dobu svařování - viz WPS (Kvalifikovaný postup svařování).

Dílenské svary:

- Všechny svary spojovaných položek by měly být provedeny uzavřené po obvodě.
- Kontrola vizuální se provádí v plném rozsahu.

Montážní svary:

- Nejsou přípustné z důvodu poškození protikorozní ochrany.

Technologický postup opravy případných vad ve svarech:

Nejprve je potřeba zjistit přesný rozsah vad svarů. Zjištěné vady se zřetelně označí. Odstranění vadných míst se provádí vybroušením, vysekáním, popřípadě

vydrážkováním uhlíkovou elektrodou. Úhly úkosů vytvořených odstraněním vadných míst musí umožnit spolehlivý průvar ve všech místech odebraného kovu. Povrch materiálu v místě odebraného kovu nesmí mít ostré úhly a otřep. Při svařování vadných míst se musí dodržet předepsané parametry svařování. Teplota předehřevu musí být udržována po celou dobu svařování (kontrolována např. termokřídami nebo dotykovým teploměrem). Opravy se provádí ručně metodou MAG. Kvalifikace svářečů – podle ČSN EN ISO 9606.[8]

Postup svařování a skládání:

- Příprava nářezového plánu.
- Řezání jednotlivých prvků dle výkresů na pile a na CNC pálicím stroji.
- Výroba roštu pro skládání.
- Příprava svarových ploch (úkosy) – úprava kořenových vůlí.
- Sestavování a stehování dílů zábradlí.
- Rozměrová a situační kontrola.
- Svařování dílenských svarů (podle příslušných WPS)
- Očistit konstrukci.
- Kontrola svarů dle VD.
- Provést rozměrovou kontrolu.
- Kontroly provádět průběžně po celou dobu výroby OK(ocelové konstrukce).

Další nedílnou součástí tohoto postupu je Inspekční postup.

Základní ustanovení :

Základními řídicími dokumenty pro provádění inspekcí jakosti u výrobce je tento „technologický postup“.

Všeobecně jsou ve výrobních podkladech promítnuty požadavky zákazníka, které jsou základem pro zajištění kvality výrobku. Během výroby je prováděna kontrola dodržování technologických předpisů za účelem ověření požadované a předepsané kvality. Používané měřicí prostředky jsou kalibrované a povolené k použití se souhlasem OŘJ.

Výroba je prováděna dle zpracované výrobní výkresové dokumentace, v určených výrobních skupinách podle ČSN EN 1090-2 + A1. Dle zpracovaného plánu kvality jsou určení pracovníci povinni dodržovat stanovené zásady, ČSN a platné ČSN EN k zajištění kvality výrobku.

Provádění inspekcí:

Výrobce vyzve jmenovaného zástupce pro výše jmenovanou akci písemně a to nejméně 3 pracovní dny před plánovaným termínem zamýšlené inspekce. U zjištěných neshod a nedostatků na výrobcích nebo materiálu se provádí „Zápis o neshodě“. OŘJ při první přejímce předloží veškeré dohodnuté dokumenty potřebné k přejímce s provedenými písemnými záznamy a protokoly. Po ukončení zakázky vystaví protokol o jakosti výrobku na celou akci v souladu ČSN 732601 a ČSN 732603. Doklady jakosti jsou vždy zpracovány v jazyce dle smlouvy.

Při výrobě je nutno dodržovat bezpečnost práce a ochranu zdraví. Zde uvádím pouze základní ustanovení.

Při přípravě a provádění prací musí být respektováno:

Ustanovení zákona č. 262/2006 Sb. - Zákoník práce, Nařízení vlády č. 591/2006 Sb., o bližších minimálních požadavcích na BOZP (bezpečnost a ochrana zdraví při práci) při práci na staveništích, vyhlášky č.48/1982 Sb., která stanoví základní požadavky k zajištění bezpečnosti práce a tech. zařízení, Nařízení vlády č. 362/2005 Sb. o bližších požadavcích na bezpečnost a ochranu zdraví při práci na pracovištích s nebezpečím pádu z výšky nebo do hloubky, zákona č. 309/2006 Sb. o zajištění dalších podmínek BOZP, Nařízení vlády č. 378/2001 Sb., kterým se stanoví požadavky na bezpečný provoz a používání strojů, technických zařízení, přístrojů a nářadí, Nařízení vlády č. 101/2005 Sb. o podrobnějších požadavcích na pracoviště a pracovní prostředí, a další - všechny předpisy v platném znění.

Související normy a předpisy :

Při výrobě mostního zábradlí je nutné dodržovat tyto normy a předpisy, které jsou dále popsány v souhrnném seznamu na konci bakalářské práce.

4.3. Povrchová ochrana

Systém protikorozní ochrany (dále PKO) a požadavky na PKO zábradlí podle příslušných druhů materiálu jsou následující: PKO ocelových součástí zábradlí se navrhne pro korozní zatížení C 3 nebo C 4 (Stupně korozní agresivity) podle typu a umístění zábradlí. V případě žárového zinkování ponorem se tento druh PKO používá obvykle u otevřených profilů a lan, přičemž ČSN EN ISO 1461 (zinkové povlaky nanášené žárově nebo ponorem na ocelové výrobky) stanovuje minimální tloušťku povlaku v závislosti na tloušťce oceli.

4.4. Výběr nejvhodnějšího typu zábradlí z hlediska cenové kalkulace i pracnosti:

Zásadní pro výběr a tvorbu cenové kalkulace je hmotnost panelu na jeden běžný metr vyjádřený potřebným časem pro výrobu.

Níže uvádím jednotlivé výrobní kroky:

Výrobní operace:

- Kontrola materiálu a I.C. (inspekční certifikát)
- Dělení materiálu na CNC pálicím stroji + pile
- Vrtání
- Děrování na lisu
- Svařování
- Čištění
- Kontrola rozměrů
- Rovnání
- Výstupní kontrola

Volba konstrukčního materiálu

Bylo provedeno posouzení vhodnosti základního materiálu pro výrobu zábradlí, posuzovány dva materiály oba konstrukční ocel S235 a S355.

Nejdůležitější aspekty:

1) Cena:

S235 – 15 – 17 Kč/kg

S355 – 19 – 26 Kč/kg

2) Dostupnost:

Ocel S235 je dostupná v plné škále sortimentu, jelikož se celé portfolio vyrábí v ČR

Ocel S355 – Některé položky jsou importovány z jiných členských států, jedná se hlavně profily válcované a trubky.

3) Obrobitelnost:

Oba konstrukční materiály jsou díky svým dobrým mechanickým vlastnostem dobře obrobitelné. Oba materiály můžeme tedy použít na naše operace (vrtání, řezání a lisování).

4) Vhodnost pro tepelné dělení:

Tepelné dělení u materiálu S355 oproti S235 je větší tvrdost hran po tepelném dělení. Z tohoto důvodu vznikají větší náklady na opracování hran a ploch včetně operací uvedených výše.

5) Svařitelnost materiálu:

U konstrukční oceli S 355 dochází oproti S235 k tvarovým deformacím, a proto je potřeba více dbát na technologickou kázeň při svařování, popřípadě je potřeba předepsat předeřev.

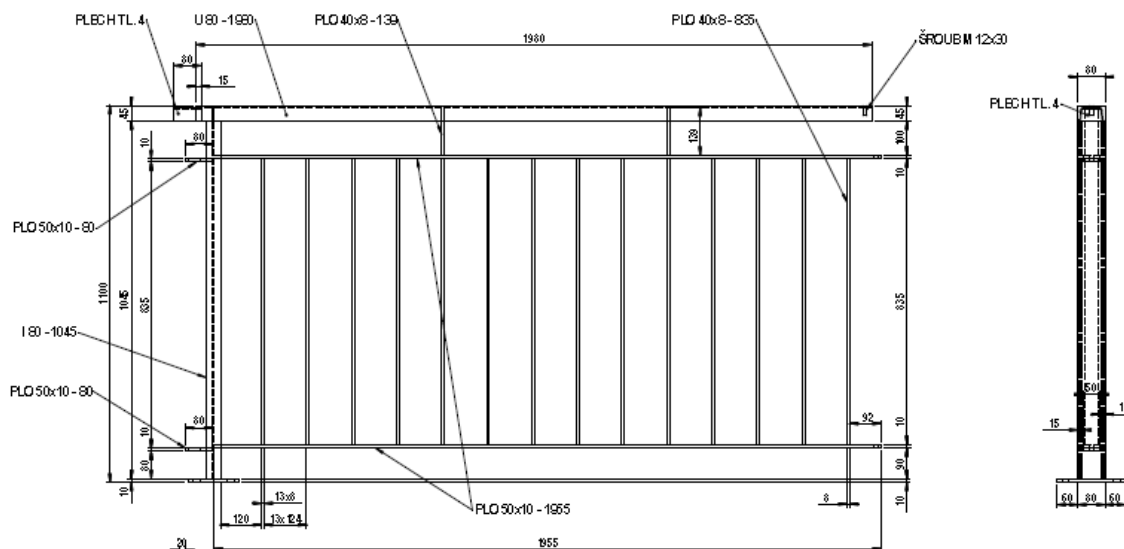
Firma OK – BE s.r.o. převzala a upravila během své existence již několik typů zábradlí, které se liší svou konstrukcí.

- Typ A1 – A4
- Typ B1 – B2

- Typ C1 – C5
- Typ D1 – D4

Po zhodnocení všech výše uvedených hledisek vychází nejlépe pro výrobu typ zábradlí A1. Jedná se o nejčastěji používané zábradlí vyráběné ve společnosti OK-BE s.r.o..

Typ A1 (viz obr. č. 8) – horní madlo je u tohoto typu zábradlí tvořeno ocelovým profilem U 80 s délkou 1980 mm, jednotlivé sloupky tvoří profily I 80-1045 mm s osovou vzdáleností 2000 mm. Horní i dolní podélná výplň zábradlí je tvořena pásovinou PLO 50x10-1955 mm, a výplňové pruty jsou z PLO 40x8-835 mm. Výplň na jedné straně je přivařena ke sloupku, na druhé straně je stykování řešeno šroubovými spoji. Mezery mezi jednotlivými tyčemi výplně, výplní/madlem a konstrukcí mostu nepřesahuje 120 mm. Patní desky sloupků jsou vyrobeny z plechu o rozměru 200x150x10 mm a kotví se pomocí 4 ks kotev M12x150.



Obrázek č. 8. –výrobní výkres mostního zábradlí typu A1[7]



Obrázek č. 9. –Hotové mostního zábradlí typ A1

4.4.1. Postup výroby zábradlí typu A1.

Materiál S 235 se podle výkresů přesně nařeže na CNC pálicím stroji. U nařezaných dílců se připraví svarové hrany a úkosy. Následně se dílce založí do svařovacího přípravku a nastehují se, aby zábradlí tzv. drželo tvar. Provede se rozměrová a situační kontrola. Poté přichází na řadu svařování dílenských svarů a následné očištění konstrukce. Následuje kontrola svarů dle VD a rozměrů. Kontrola rozměrů by se měla provádět během celého procesu výroby, aby se zabránilo rozměrovým vadám výrobku. Veškeré svařování se provádí ručními hořáky pomocí poloautomatické svařovací metody MAG.

Ve své bakalářské práci jsem analyzoval výrobu zábradlí ve firmě OK-BE s.r.o. a navrhl robotizaci výroby v oblasti svařování.

5. *Návrh robotického pracoviště pro svařování panelu A1*

Pro návrh robotického pracoviště byl použit robot od firmy KUKA včetně příslušenství. Pracoviště je navrženo pro svařování mostního zábradlí typu A1, včetně polohovacího přípravku.

Robotizované pracoviště se skládá z průmyslového robota KR 16 L6, řídicího systému KR C2 s ovládací konsolou a stojanem, příruby s bezpečnostní nárazovou spojkou pro montáž pálicího hořáku, svařovací výbavy FRONIUS, otočného taktovacího stolu KPF3-**H2H750** a bezpečnostních prvků (oplocení pracoviště, dělicí přepážky mezi stanicemi, včetně světelné závory pro zabezpečení vstupu).

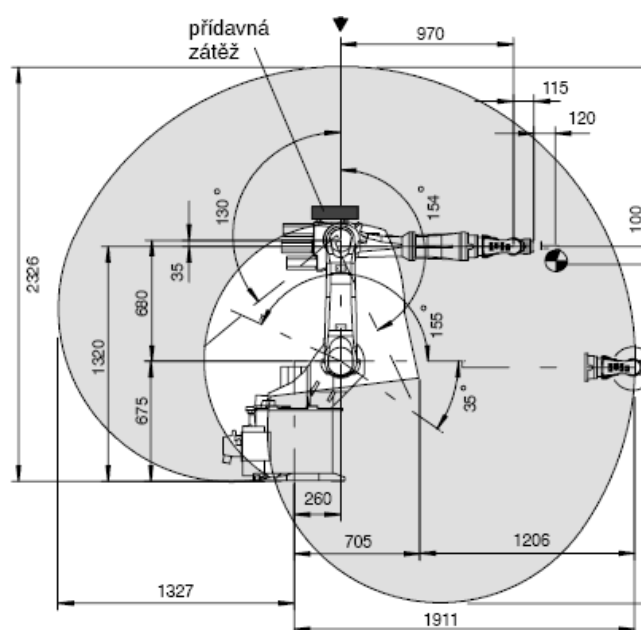
5.1. *Technická specifikace Robota KR 16L6*

- KUKA- 6-osý průmyslový robot KR 16L6: [18]
- Kompaktní provedení
- Servopohony pro 6 stupňů volnosti
- Brzdy ve všech osách
- Propojovací kabel robot-řídicí skříň KRC2 délky 7 m



Obrázek č. 11. Robot od firmy Kuka KR 16L6 [18]

Rozměry a dosah robota:



Obrázek č. 12. Rozměry průmyslového robota KR 16L6

5.1.1. Technická data průmyslového robota:

Nosnost koncového členu	6 kg
Opakovaná přesnost najetí polohy	+/- 0,1 mm
Dosah robotu	1911 mm

5.1.2. Řídící skříň KR C2

- Rozměry (šxvxh):. 780x1165x500 mm
- Modulární instalace
- Napájecí napětí 400V-10% až 415V +10%, 3-fáz., 49-61Hz, (odpovídá 400V, 50Hz)

5.1.3. Výkonová část a měřicí systém:

- Servozesilovač pro 6 os s integrovaným zdrojem napětí
- měření dráhy pomocí resolverů s příslušnou vyhodnocovací elektronikou

5.1.4. Bezpečnostní funkce

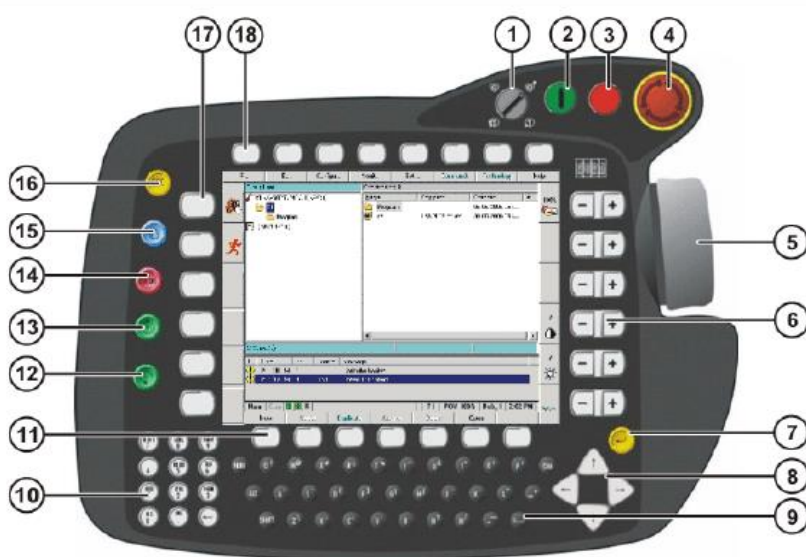
Robot je vybaven spínačem nouzového zastavení a světelnou závorou, která funguje na následujícím principu. Z jedné strany je vysílán paprsek a na druhé straně je zachycován. Pokud přijde na robotické pracoviště nežádoucí osoba, tak přeruší paprsek a robot se ihned zastaví.

5.1.5. Ovládací panel

Ovládací panel je ergonomicky proveden, umožňuje mnoho způsobů uchopení. Obsahuje 6D myš pro přesné polohování os robota, barevný displej a propojovací kabel KRC2-ovládací panel délky 10 m.

5.1.6. Operační systém

Programovací jazyk K-IRL umožňuje mimo jiné volitelnou strukturu programu, volitelná jména programů-/proměnných, atd. RRS-Modul pro možnost off-line programování



Obrázek č.13. Programovací konzola

- | | |
|-------------------------------|-------------------------------|
| 1- přepínač režimů provozu | 10- numerická klávesnice |
| 2- pohony ZAP | 11- tlačítka zrychlené volby |
| 3- pohony VYP | 12- tlač. Start zpět |
| 4- nouzový stop | 13- tlač. Start |
| 5- prostorová myš | 14- STOP |
| 6- pohybová tlačítka / pravák | 15- tlač. výběr okna |
| 7- Enter tlačítko | 16- tlač. Escape |
| 8- tlačítka šipek | 17- pohybová tlačítka / levák |
| 9- klávesnice | 18- tlačítka Menu |

Obrázek č. 14. legenda k obrázku 13

5.2. Software KUKA.CR ArcTech Digital

Pomocí software KUKA.CR ArcTech Digital je možné snadno a rychle nastavit a programovat všechny svařovací aplikace. Svařovací zdroj resp. svařovací parametry se řídí z programu robota volbou čísla JOBu - řídicí systém robota zadáním čísla JOBu vyvolává sadu předem nastavených svařovacích parametrů, které jsou uloženy v paměti svařovacího zdroje.

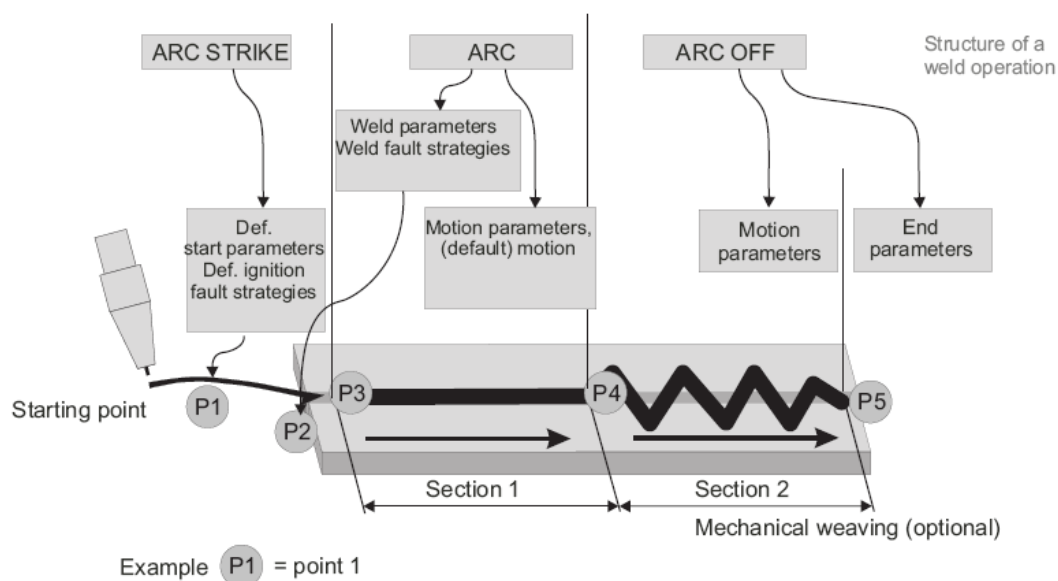
KUKA.CR ArcTech Digital nabízí možnost plně kompatibilního propojení mezi řízením robota a širokou škálou svařovacích zdrojů různých výrobců.

Softwarový balík umožňuje svařování:

- jedním samostatným robotem (Single mode)
- až čtyřmi roboty, navzájem propojenými aplikací RoboTeam (Multi mode).
- 1-4 svařovacími roboty, doplněnými dalším manipulačním robotem nebo polohovadly (s celkem max. 12 řízenými osami).

Funkční princip:

Svařovací proces prochází vždy následujícími „fázemi“



Obrázek č. 15. Přehled fází svařovacího procesu

5.2.1. *ARC STRIKE*

Příkaz se zadává před zahájením svaru a definuje parametry zapalování oblouku i postup při chybném zapálení. Příkaz neobsahuje žádné pohybové kroky. Funkce „Welding in“ a „RoboTeam“ dovoluje synchronizovat s dalšími roboty.

5.2.2. *ARC*

Příkaz obsahuje vlastní svařovací parametry, pravidla chování v případě chyby a blok pohybových příkazů. Robot se nachází na začátku dráhy svaru. Standardní svařovací příkaz řídí proces zapalování (nikoliv letmé zapálení) a následně nastavení parametrů svaru.

5.2.3. *ARC OFF*

Příkaz pro deaktivaci na konci svaru a pro nastavení parametrů plnění koncového kráteru.

5.2.4. *Pendl*

Pendl – tzv. rozkyv svařovacího hořáku, je prováděn na základě softwarové funkce KUKA WeaveTech.

K dispozici jsou různé přednastavené trajektorie rozkyvu jako trojúhelníkový, trapézový, spirálovitý, asymetrický pohyb apod. Tvar dráhy lze rovněž nadefinovat uživatelsky (expertní úroveň programování).

Přednosti:

Následující funkce podporují rychlé a snadné řízení, konfiguraci a programování svařovacích aplikací:

Automatický setup stejná funkčnost jak pro Single mode (jeden robot) a Multi mode (svařování v RoboTeamu). Svářecí zdroj ovládán pomocí čísla JOBů. Řídící klávesy pro podávání drátu, běh naprázdno bez nebo s rozkyvem. Předdefinované standardní dráhy rozkyvu (trojúhelník, dvojitý trojúhelník, trapezoid, dvojitý trapezoid, asymetrický trapezoid, spirála and dvojitá osmička) a jedna uživatelsky definovaná. Volně programovatelná délka, amplituda a rovina rozkyvu. Další výhodou je volitelně definovaná doba vyplnění kráteru, konfigurační nástroje, softkeys (klávesy s různými funkcemi dle otevřeného menu) pro ARC-příkazy, přepínače rychlostí (m/s-m/min).

5.2.5. *Touch Sensor H70*

Odchytky ve tvaru nebo poloze svařence vyvolávají nutnost korekce původně naprogramované dráhy pohybu robota. Pro tyto korekce je zabudována v software (jako volitelná výbava) funkce "Touchsense".

Při vyhledávací jízdě se robot pohybuje zvoleným směrem a na zvolenou vzdálenost. V okamžiku, kdy se svařovací drát (na který je přivedeno nízké vyhledávací napětí) dotkne svařovaného dílce, dojde ke zkratu a z polohy robota resp. všech jeho os je stanovena odchytka skutečné polohy svařence oproti poloze naprogramované.

5.3. *Svařovací výbava*

Jako svařovací zdroj jsem zvolil zařízení od firmy Fronius TPS 5000. Jedná se o digitální svařovací invertorový zdroj, vybavený kompenzací výkyvů napájecí sítě, obsahuje vlastní mikroprocesor pro řízení resp. optimalizaci frekvence podle programovaného svářecího výkonu a zvolené kombinace přídavného materiálu a ochranného plynu. Tato technologie umožňuje plynule regulovat svařovací výkon v celém pracovním rozsahu jediným řídicím napětím vždy v ideální charakteristice, zaručující optimální výsledky svařování s minimálním rozstříkem. Vysoká spolehlivost

předurčuje zdroje řady TPS pro použití při robotizovaném nebo automatizovaném svařování. Zdroj je osazen digitálními ukazateli proudu a napětí na oblouku, uzavřeným chladícím okruhem pro chlazení svařovacího hořáku. Součástí dodávky jsou všechny potřebné propojovací kabely.

5.3.1. Speciální vlastnosti zdroje:

- Pulsní nebo standardní provoz
- Synergický režim
- Energeticky úsporná invertorová technika
- Databanka programů jako standardní výbava
- MIG– pájení na galvanicky pokovených materiálech
- Impuls pro odhoření konce drátu (perfektní zakončení svaru)
- Interface pro dálkové ovládání
- Digitální interface RS 485 / RS 232
- Automatický chladič
- Digitální display s indikací svařovacího proudu, napětí, délky oblouku, rychlosti podávání drátu, tloušťky plechu, velikosti svaru, svařovací rychlosti, čísla Job, Hold funkce, signalizace přehřátí,



Obrázek č. 16. Svařovací zdroj firmy fronius TPS 5000[12]

5.3.2. *Technická data svářecího zdroje TPS 5000 [12]*

Napájení	3 x 400 V ±15%		
Frekvence:	50/60 Hz		
Jištění pomalé:	35 A		
Cos Φ (fi)	0,99 (500A)		
Rozsah svařovacího proudu:	3-500 A		
Svařovací proud při:	10 min/40°C	35 %	500 A
	10 min/25°C:	100 %	360 A

5.3.3. *Příslušenství*

- chladicí modul FK 4000-R
- propojovací kabelový svazek 5m
- podavač drátu VR-1500
- hadicové vedení Robacta W
- nástavec Robacta 5000
- interface

5.3.4. *Kolizní spojka CAT2*

Nejnovější konstrukční provedení kolizní spojky hořáku, vyvinuté na základě předchozího úspěšného modelu CAT. Pro opakovaně přesné a bezpečné upevnění svařovacího hořáku.

Hlavní přednosti:

- pružné vychýlení do všech směrů
- okamžitá reakce - stop – při kolizi s pevnou překážkou
- maximální přesnost polohy montážní konzole po vrácení do pracovní polohy
- přesné rozpojení STOP-obvodu díky inovaci použitých spínačů
- obzvláště vhodná pro přesné svařování tenkých plechů
- rychlá analýza stavu díky optické signalizaci přímo na tělese spojky

5.3.5. Jednotka pro mechanické čištění hubice

- Mechanické čištění hubice rotující frézou s pohonem pneumatickým motorem.

5.3.6. Technická data:

- Pohon: pneumatický, 6-8 bar
- Čistící cyklus: cca. 3-5 sekund
- Automatické nanesení separační kapaliny

5.3.7. Elektromagnetické čištění hubice

- Fronius – typ TC 1000 vč. stojanu k ukotvení na podlahu

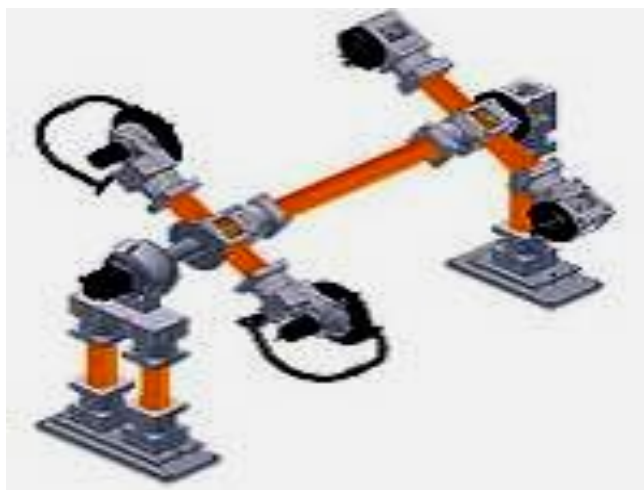
5.4. Polohovadlo KPF3-H2H750

Polohovadlo má dvě stanice, které se střídavě otáčejí do pracovního prostoru robota (viz obr. 15). Každá stanice je vybavena otočným polohovadlem s opěrným koníkem, mezi lícní desky je namontován základový rám upínacích přípravků.

Ve vodorovné ose otočného stolu je umístěna pevná zástěna, chránící obsluhu proti oslnění od svařovacího oblouku v pracovní stanici.

Pohyb lící desky polohovadla je synchronizován s pohyby robota jako externí osa. Vzdálenost lících desek polohovadla a koníku je 2400mm, poloměr protočení 600mm. Nosnost polohovadla, tj. maximální hmotnost svařovaných dílů včetně upínacího přípravku v jedné pracovní stanici, činí 750 kg.

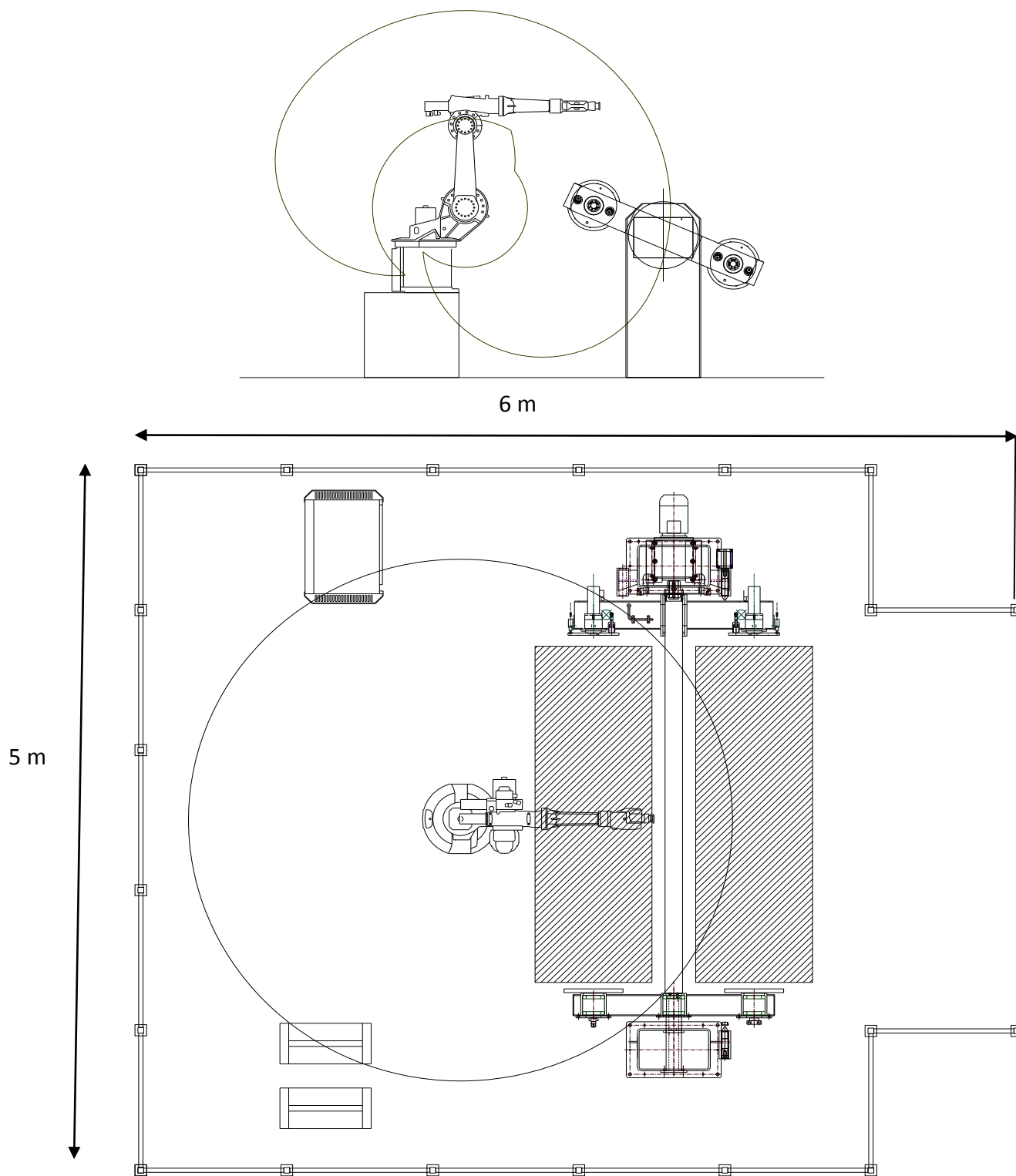
Vstup do základací stanice je hlídán světelnou závorou, která brání rotaci stolu při vstupu pracovníka do nebezpečné zóny.



Obrázek č. 17. Model polohovadla KPF3-H2H750

Schéma pracoviště

(orientační zastavěná plocha MAX. 5x6 m)



Obrázek č. 18. Schéma pracoviště robotického svařování

5.5. Univerzální upínací přípravek

Mezi lícními deskami obou polohovadel jsou umístěny shodné přípravky pro upnutí jednotlivých detailů při svařování.

Konstrukce přípravku umožňuje upnout a svařovat sekci zábradlí bez předchozího stehování hlavních částí, spojovací profily (vždy na jedné boční straně zábradlí) jsou nastehovány příp. přivařeny předem v podsestavě

Přípravek je určen pro různé typy výplňových profilů (trubky, kulatiny, ploché tyče), výplně se upínají samostavitelným centrovacím whatsapp mechanismem. Výška zábradlí je konstantní (1100 mm). Podélné profily a výplňové prvky jsou navzájem kolmé příp. pod úhlem max. cca 6 %.

Upínání je provedeno ručně příp. kombinovaně ručně / pneumaticky (dle konečné konstrukce).



Obrázek č. 19. Fotografie přípravku pro ruční svařování



Obrázek č. 20. Fotografie přípravku, kde jsou založené polotovary

6. Hodnocení ruční a robotické výroby mostního zábradlí

Pro porovnání výsledků jsem vybral vzorový příklad svařování dvoumetrového pole zábradlí typu A1.

Čas u ručního svařování (současně používaný postup ve firmě OK-BE s.r.o.) byl změřen pomocí digitálních stopek pro jednotlivé fáze výroby. Čas u návrhu robotického svařování byl získán pomocí počítačové simulace, převzaté od dodavatele a integrátora robotického pracoviště, které bylo sestaveno dle nadefinovaných požadavků, vycházejících z řešení této bakalářské práce.

Náklady výrobku při ručním svařování byly stanoveny režijní hodinou, která obsahuje opotřebení svářečky, spotřebu materiálu, náklady na energie a mzdové náklady na dělnické pracovníky. V případě nákladů u robotického svařování je zanedbaná amortizace stroje, celkové náklady byly stanoveny pomocí režijních nákladů, ve kterých jsou obsaženy mzdové režijní náklady na jednoho svařovacího operátora, náklady na energie a spotřeba materiálu.

Tabulka č. 4 – Porovnání výsledků (ruční x robotické svařování)

	Ruční svařování	Robotické
Délka pole [m]	2	2
Čas zakládání do příp. [min]	12,3	4,63
Čas svařování [min]	95,7	23,5
Čas celé výroby [min]	108	28,13
Náklady výrobku [kč]	1000	450

Výsledek porovnání robotického a ručního svařování:

V tabulce č.4 uvádím v případě ručního svařování hodnoty, které byly naměřeny při výrobě ve firmě OK-BE s.r.o..

Hodnoty pro robotické svařování byly stanoveny podle parametrů robotického pracoviště. Do hodnocení není promítnut čas na přípravu jednotlivých polotovarů, jelikož se v první fázi předpokládá, že až po operaci založení polotovaru do přípravku by se zatím pro obě varianty příprava prováděla stejným způsobem.

Rozdíl v čase zakládání do přípravku vznikne z důvodu konstrukce přípravku pro robotické svařování. Ruční přípravek je vyroben na základní desce viz obrázek č.19 a č.20 kdežto přípravek pro robotické svařování má pouze jeden nebo dva fixní body se samostavitelnou roztečí jednotlivých prvků výplně.

Čas svařování je daný technologií svařování, kdy při ručním svařování je nutné, pro to, aby svařování bylo provedeno v co nejlepší kvalitě, a s co nejmenším počtem vad a oprav (z tohoto důvodu je nutné panel neustále otáčet a svařovat nejlépe v poloze PA). Naopak robotické svařování lze naprogramovat tak, aby bylo co nejefektivnější co se týče kvality, vzniku vad a časů.

V čase celé výroby jsou v případě ručního svařování ještě zahrnuty další operace, které by se u robotického svařování neměly vyskytovat. Jedná se o operace broušení (vady svarů, zápaly, póry, krátery, nedokončené svary, rozstřík svarového kovu) , rovnání buď mechanické nebo plamenem .

Dále je stanoveno finanční vyjádření nákladů na výrobu, kdy uváděné náklady za ruční svařování jsou výsledovány při normování postupů ve firmě OK-BE s.r.o.. Náklady pro robotické svařování jsou sice informativní (stanovena pomocí simulace), ale lze předpokládat oproti ručnímu svařování významnou úsporu.

Robotické svařování je sice investičně náročné, ale lze předpokládat, že při získání větších zakázek je finanční návratnost investice v řádu výroby cca 2 km délky zábradlí.

Robotické pracoviště lze ještě dále rozvíjet a vylepšovat už od prvopočátku co se týče VTD (výrobní technická dokumentace) pomocí 3D scanneru, který může sloužit pro tvorbu programu nebo pro tvorbu náměrového plánu. Dále lze uvažovat o dělicí lince v kombinaci s vrtacím automatem. Což by byla další značná úspora.

Při použití výše zmiňovaných postupů by se na výrobě podíleli maximálně čtyři lidé včetně THP pracovníka. Při ruční výrobě pro obsazení všech potřebných pozic je třeba 6 až 7 pracovníků + 2 pracovní THP.

Po zanalyzování výroby mostního zábradlí a prostudování ručního a robotického svařování jsem došel k názoru, že by se pořízení robotického pracoviště firmě OK- BE s.r.o. vyplatilo.

Závěr:

V teoretické části jsem se zabýval problematikou MAG svařování a možností její robotizace.

V praktické části jsem se věnoval výrobě mostního zábradlí. Výroba zábradlí není jednoduchá záležitost, protože „svázána“ řadou legislativních nařízení a předpisů, které souvisí jak se svařováním, tak s dopravou na pozemních komunikacích a především bezpečnosti.

Mostní zábradlí se obvykle vyrábí ve větších sériích a proto je výhodná jejich robotizace svařovacího procesu, což je prokázáno v kapitole 6. bakalářské práce.

Seznam použité literatury:

[1] KUNCIPÁL, Josef. Teorie svařování: celostátní vysokoškolská učebnice pro strojí fakulty vysokých škol technických. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1986.

[2] Technologie svařování a zařízení: učební texty pro kurzy svářečských inženýrů a technologů. Ostrava: ZEROSS, 2001. Svařování. ISBN 80-85771-81-0.

[3] KOLAŘÍK, Ladislav. Elektrický oblouk. *Ústav strojírenské technologie* [online]. Dostupné z <http://u12133.fsid.cvut.cz/assets/subject/files/111/5-oblouk-tsv-2016.pdf>

[4] KOUKAL, Jaroslav. Svařování ocelových konstrukcí. Ostrava: Česká asociace ocelových konstrukcí, 2010. ISBN 978-80-904535-4-8.

[5] Svařování tavící se elektrodou dostupné [online]

<https://coptkm.cz/portal/reposit.php?action=0&id=33457&revision=-1&instance=2>

[6] Roboty a manipulátor[online]

Dostupné z: http://www.edumat.cz/texty/Roboty_manipulatory.pdf

[7] Firemní materiály firmy OK-BE spol. s.r.o.

[8] Podklady od od konzultante Miroslava Fišera IWT, zaměstnanec firmy OK-BEs.r.o.

[9] ČSN EN ISO 6947. Svařování a příbuzné procesy: Polohy svařování. 1. vyd. Praha: Český normalizační institut, 2011.

[10] KOLAŘÍK, Ladislav. MIG/MAG. *Ústav strojírenské technologie* [online]. Dostupné: https://moodle.fs.cvut.cz/pluginfile.php/22639/mod_resource/content/1/7_gmaw_2016.pdf

[11] KOLAŘÍK, Ladislav. Technologie svařování. *Ústav strojírenské technologie*[online]. Dostupné:

[https://moodle.fs.cvut.cz/pluginfile.php/22633/mod_resource/content/1/1_uvod ts v 2017.pdf](https://moodle.fs.cvut.cz/pluginfile.php/22633/mod_resource/content/1/1_uvod_ts_v_2017.pdf)

[12] Svařovací zdroje firmy Fronius [online]. Dostupné na:

<https://www.svarecky.info/data/dokumenty/navody/fronius/navod-fronius-tps-2700-3200-4000-5000.pdf>

[13] SEJČ, Pavol. Ochranné plyny vo zvaraní. Bratislava: Slovenská technická univerzita, 2002. Edícia monografií. ISBN 80-227-1720-7.

[14] DOLEJSKÝ, Tomáš. Učebnice pro základní kurz svařování tavící se elektrodou: (MIG/MAG svařování). 4. aktualizované vydání. Ostrava: ZEROSS, [2016]. Svařování.

ISBN 978-80-85771-07-7.

[15] VODIČKA, Jaroslav, Adam HUBÁČEK, Jiří KOLÍSKO, Jan HORSKÝ a Jan HROMÁDKO. TKP staveb pozemních komunikací. Druhé, upravené vydání. Praha: Česká betonářská společnost ČSSI, 2017. ISBN 978-80-906097-8-5

[16] POSPÍŠIL, Karel. Silniční stavby I. pro 3. a 4. ročník SPŠ stavebních, studijní zaměření dopravní stavitelství. Praha: Sdružení pro výstavbu silnic, 2002

[17] VOLF, Jiří. Silniční stavby - projekt: Jindřich Volf. Praha: České vysoké učení technické, 1992. ISBN 80-01-00763-4.

[18] Průmyslové roboty firmy KUKA [online] dostupné na:

<https://www.kuka.com/cs-cz/produkty,-slu%C5%BEby/robotick%C3%A9-syst%C3%A9my/pr%C5%AFmyslov%C3%A9-roboty/kr%C2%A016>

Seznam zkratek a norem

SJ -PK	Systém jakosti pozemních komunikací
PK –	pozemní komunikace
ZTKP –	Zvláštní technické kvalitativní podmínky
RDS –	Realizační dokumentace stavby
TKP –	technické kvalitativní podmínky
VD –	výrobní dokumentace
KZP –	kontrolně zkušební plán
I.C. –	Inspekční certifikát
VVD –	výkresová výrobní dokumentace
WPS –	Kvalifikovaný postup svařování
OŘJ –	odbor řízení jakosti
PKO –	protikorozi ochrana
BOZP -	bezpečnost a ochrana zdraví při práci
SLS –	mezní stav použitelnosti
ULZ –	mezní stav únosnosti

Příloha č. 1 – seznam norem a předpisů

ČSN 736101 - Projektování silnic a dálnic

ČSN 736110 - Projektování místních komunikací

ČSN 736201 - Projektování mostních objektů

ČSN 1090-2 A1 Provádění ocelových konstrukcí a hliníkových konstrukcí - Část 2:

Technické požadavky na ocelové konstrukce

ČSN 732603 - Ocelové mostní konstrukce - Doplnující specifikace pro provádění,

kontrolu kvality a prohlídky

ČSN EN 10025 – 2 Výrobky válcované za tepla z konstrukčních ocelí - Část 2:

Technické dodací podmínky pro nelegované konstrukční oceli

ČSN 10027 – 1,2 - Systémy označování ocelí

ČSN EN 10029 - Plechy ocelové válcované za tepla tloušťky od 3 mm - Mezní úchytky

rozměrů a tolerance tvaru

ČSN 10163 – 1 Dodací podmínky pro jakost povrchu za tepla válcovaných ocelových

plechů, široké oceli a tyčí tvarových - Část 1: Všeobecné požadavky

ČSN 10163 – 2 Dodací podmínky pro jakost povrchu za tepla válcovaných ocelových

plechů, široké oceli a tyčí tvarových - Část 2: Plechy a široká ocel

ČSN 901 Tepelné dělení - Klasifikace tepelných řezů - Geometrické požadavky na

výrobky a úchytky jakosti řezu

ČSN EN ISO 1461 - Zinkové povlaky nanášené žárově ponorem na ocelové a litinové

výrobky - Specifikace a zkušební metody

ČSN EN 9692-1 - Svařování a příbuzné procesy - Doporučení pro přípravu svarových

spojů - Část 1: Svařování ocelí ručně obloukovým svařováním

obalenou elektrodou, tavící se elektrodou v ochranném plynu,

plamenovým svařováním, svařováním wolframovou elektrodou

v ochranné atmosféře inertního plynu a svařováním svazkem

paprsků

- ČSN EN ISO 13920 - Svařování - Všeobecné tolerance svařovaných konstrukcí -
Délkové a úhlové rozměry - Tvar a poloha
- ČSN EN ISO 17637 - Nedestruktivní zkoušení svarů - Vizuální kontrola tavných svarů
- ČSN EN ISO 4063 - Svařování a příbuzné procesy - Přehled metod a jejich číslování
- ČSN EN ISO 6947 - Svařování a příbuzné procesy - Polohy svařování
- ČSN 050630 - Zváranie. Bezpečnostné ustanovenia pre oblúčkové zváranie kovov
- ČSN 050610 - Zváranie. Bezpečnostné ustanovenia pre plameňové zváranie kovov a
rezanie kovov
- ČSN EN ISO 5817 – Svařování - Svarové spoje oceli, niklu, titanu a jejich slitin
zhotovené tavným svařováním (kromě elektronového a
laserového svařování) – Určování stupňů kvality
- ČSN EN ISO 6947 – Svařování a příbuzné procesy - Polohy svařování
- ČSN EN ISO 9606 – 1 - Zkoušky svářečů - Tavné svařování - Část 1: Oceli
- TNI CEN/TR 16949 - Silniční záchytné systémy - Záchytné systémy pro chodce –
Mostní zábradlí