

Robotizované svařování mostního zábradlí metodou MAG

Bc. Pavel Pres

Vedoucí práce: Ing. Ladislav Kolařík, Ph.D., IWE

Abstrakt

Príspevek pojednáva o nasazení metody MAG svařování pro výrobu mostního zábradlí. Nejprve bylo nutné zjistit proveditelnost, dále provést konstrukční návrh svařovacího přípravku, programování robota systému on-line i off-line a zejména technologie svařování pro dosažení požadované kvality svarů. Praktická část byla prováděna v Laboratoři výuky svářečských technologií na Fakultě strojní, ČVUT v Praze a bylo docíleno úspěšného návrhu robotizace vybrané součásti, kterou lze dále použít v průmyslové výrobě.

Klíčová slova

MAG svařování, konstrukce svařovacích přípravků, robotizované svařování, on-line programování, off-line programování, RoboGuide

1. Úvod – motivace a cíl práce

Robotizace svařovacího procesu je problematika, která dnes v průmyslové praxi nabývá stále většího významu z hlediska opakovatelné kvality svaru, zkrácení výrobních časů apod. Nejčastěji se používá při sériové výrobě strojních součástí (např. v automobilovém průmyslu). Tento příspěvek se věnuje výzkumným pracím, které se zabývají robotizací svařování ve stavebnictví. Výzkum byl motivován požadavky průmyslových firem a byl odzkoušen na výrobě mostního zábradlí, jehož výroba se řídí požadavky výrobních norem EN ISO 1090 [1] a TP 186 [2]. Důvodem výzkumu bylo ověření kvality výroby zvolenou metodou svařování a zjištění výrobního času.

K dosažení zadaného cíle bylo zapotřebí nejprve vytvořit 3D model mostního zábradlí dle reálné výkresové dokumentace, zjistit proveditelnost robotizace pomocí SW Roboguide a vhodně upravit konstrukční řešení pro robotizaci. Dále musel být navržen svařovací přípravek pro pevné uchycení mezi jednotlivými díly mostního zábradlí, vyrobeny jednotlivé komponenty svařovacího přípravku, a uzpůsobeno jejich upevnění na rám polohovadla. V neposlední řadě byl vytvořen program průmyslového robota a odladěny jednotlivé parametry svařování na požadovanou přesnost a toleranci pro docílení kvality svaru.

Důvody robotizace jsou zřejmé: nahrazení lidské práce stroji v sériových a hromadných výrobních. Děje se tak za účelem zvýšení produktivity, kvality, přesnosti a bezpečnosti výroby (s omezením chyb způsobených lidským faktorem). Robotizované pracoviště se zejména uplatňují v automobilovém průmyslu a jako manipulační jednotky ve výrobních linkách. Musí se ovšem posoudit ekonomická výhodnost, prostorové řešení, časové vytížení stroje a energetická náročnost.

2. Popis pracoviště Laboratoře výuky svářečských technologií na Fakultě strojní

Experimentální odladění přípravku a procesu výroby bylo provedeno na robotizovaném pracovišti mezifakultní Laboratoře výuky svářečských technologií na ČVUT v Praze, které je umístěno na Ústavu strojírenské technologie, Fakulty strojní.

Skládá se z řídicí jednotky série Fanuc R-J3i C. Hlavní částí celého pracoviště je šestiosý univerzální průmyslový robot Arc Mate 100iC firmy Fanuc Ltd., osazený příslušenstvím pro invertorový svařovací zdroj Sigma 400 Pulse firmy Migatronik CZ a.s. a jednoosé polohovadlo Fanuc P250 s připevněným rámem o pracovní ploše 1600 x 1000 mm s děrovanou deskou o rozměrech 1200 x 800 mm pro vytváření jednoduchých přípravků viz. obr. 1.

Pracoviště je vybaveno bezpečnostními prvky, které zamezují vstupu nepovolaným osobám do pracovního i operačního prostoru v průběhu automatického pracovního režimu. V případě jejich aktivace dojde k bezprostřednímu zastavení pohybu robota nebo periferních zařízení a odpojení servopohonů od napájení. Mezi bezpečnostní prvky patří optoelektronické a elektromechanické senzory, kolizní spínač tzv. Shock senzor, světelná závora zamezující vstup do pracovního prostoru a koncový spínač na vstupních dveřích do operačního prostoru.



Obr. 1 – Laboratoř výuky svářečských technologií

V textu dále následuje popis jednotlivých částí robotického pracoviště:

2.1 Robot ArcMate 100iC

Robot Arc Mate 100iC od společnosti Fanuc Ltd je univerzální šestiosý průmyslový robot s menší nosností, ale s vysokou rychlostí a přesností pohybu při svařování. Nosnost koncové šesté osy je 10 kg, maximální dosah činí 1420 mm a opakovatelnost $\pm 0,08$ mm [3].

2.2 Řídicí jednotka R-J3i C

Řídicí jednotka robota slouží k ovládání celého systému a skládá se z napájecího zdroje, obvodu uživatelského rozhraní, obvodu řízení pohybu, paměti a karty vstupů a výstupů. Paměťová karta uchovává programy a uživatelská data, v paměti typu CMOS RAM na CPU kartě. Karta vstupů a výstupů tvoří rozhraní mezi řídicí jednotkou a periferními zařízeními. Osazení řídicí jednotky příslušnými kartami je závislé na robotu a systému, který ho řídí.

Řídicí systém společnosti Fanuc automation umožňuje tzv. on-line programování pomocí ručního ovladače – tzv. teach pendentu, kdy program zadáváme ručně. Program lze však i nahrát přes USB rozhraní, pak se jedná o tzv. off-line programování ve speciálně k tomu určenému softwaru, kde je možné vytvořit si virtuální pracoviště shodné a kalibrované s reálným pracovištěm. Fanuc používá software nazvaný RoboGuide.

2.3 Teach pendant

Teach pendant tvoří rozhraní mezi uživatelem a programovým prostředím řídicí jednotky. Je určen pro tvorbu programu při on-line programování, ovládání pohybu robota, testování a kontrolu programu a aktuálního stavu.

Skládá se z grafického LCD displeje, tlačítek, přepínače aktivace, Deadman spínače (slouží jako pojistka proti nechtěnému spuštění robota), Emergency stop (nouzové zastavení).

Programování robota se provádí systémem s učením. Programování polohy hořáku se provádí bod po bodu a lineární interpolátor udržuje pohyb mezi body po přímce. Tyto instrukce se ukládají do vytvořeného programu v paměti řídicího systému. Postupová rychlost se zadává instrukcí polohy s časovým argumentem, který určuje dobu proběhnutí zvoleného dráhového úseku hořákem. Programování je vlastně sdělování řídicímu systému, jak mají být díly svařovány. Je na programátorovy jaké podmínky a parametry svařování je třeba zvolit (svařovací proud, napětí na oblouku, svařovací rychlosti, polohu hořáku ve svarové spáře atd.), jak sestavit instrukce pro jednotlivé operace a určit jejich posloupnost do výrobního cyklu (algoritmus cyklu). K zápisu algoritmu do paměti řídicího systému se užívá programovací jazyk, tímto způsobem vytvoříme program. Všechny typy instrukcí jsou dány operačním kódem.

2.4 Svařovací zdroj

Svařovací zdroj Sigma 400 Pulse je určený pro technologii MIG/MAG svařování. Jedná se o invertorový digitální synergický svařovací zdroj, který umožňuje plynulou regulaci tvrdosti zdroje a napětí.

Je vybaven vnitřní pamětí, která umožňuje uchování předdefinovaných programů. Pro zvolenou technologii, tloušťku svařovaného materiálu, průměru elektrody a ochranného plynu z nabídky nám doporučí odpovídající parametry pro svařování jako proud, napětí. Tyto parametry lze dále upravovat na ovládacím panelu Synergického zdroje.

2.5 Polohovadlo Fanuc P250

Polohovadlo s jedním stupněm volnosti slouží pro otáčení svařovaného dílu. Na polohovadle je upnut rám o ploše 1600 x 1000 mm tvořící na pracovišti pracovní stůl, který je ještě osazen přípravkovací deskou – jak již bylo zmíněno výše. Polohovadlo lze otočit ze základní polohy o 360° na obě strany. Ovládá se pomocí Teach pendentu a pohybové instrukce lze zapsat do stejného programu jako u pohybu robota.

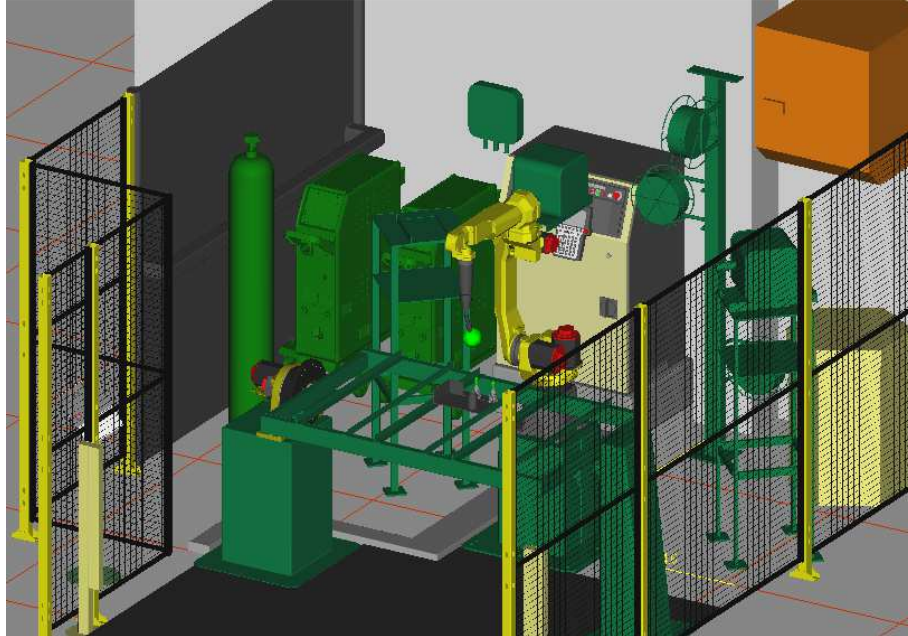
3. Simulace proveditelnosti v SW Roboguide

K vyšetření proveditelnosti byl použit SW Roboguide. Nejprve bylo nutné vytvořit 3D model pracoviště, který byl poté kalibrován s reálným pracovištěm, aby bylo možné programy vytvořené při off-line programování převést do řídicí jednotky robota [4].

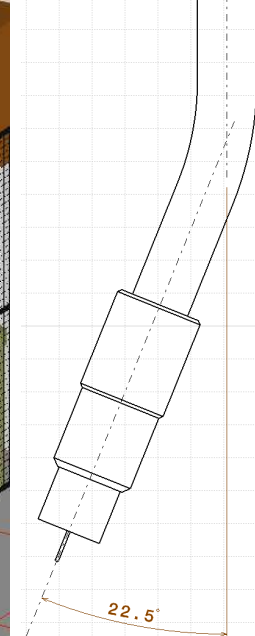
Na obr. 2 je možné vidět náhled na vytvořené pracoviště v SW Roboguide včetně dalšího příslušenství jako jsou optické závory, podavače drátů včetně výměnných stanic pro MIG/MAG a TIG svařování, odsávací zařízení, tlakovou lahev s ochranným plynem, sloup

pro zásobníky přídavných drátů, svařovací hořák umístěný na šesté ose robota, operační panel a v neposlední řadě bezpečnostní oplocení.

V uvedeném SW lze na vytvořeném modelu pracoviště kinematicky pohybovat jednotlivými osami robota a lze tedy zjistit vzdálenostní možnosti robota pro aplikaci svařování včetně použitého svařovacího hořáku viz. obr. 3. Využil jsem tedy bakalářské práce (Robotizované svařování metodou MAG, 2011), kde byl zmíněný 3D model kompletně vytvořen.

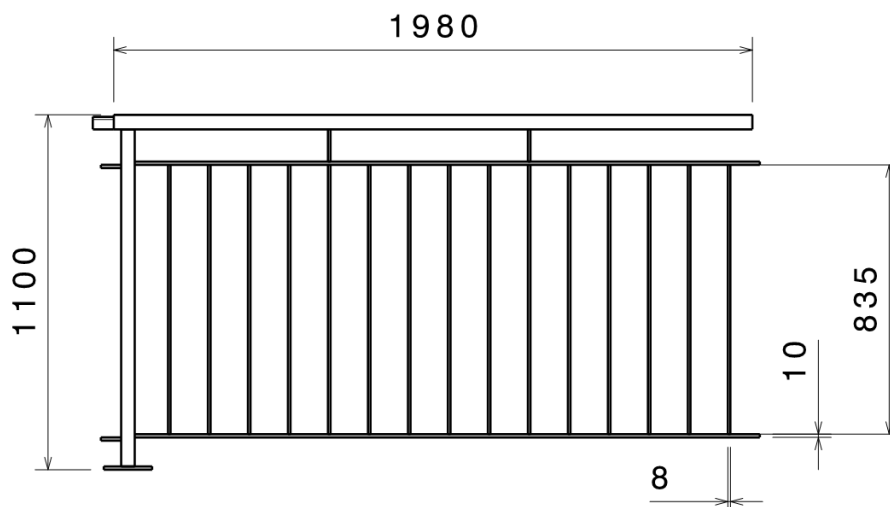


Obr. 2 – Virtuální pracoviště Laboratoře výuky svářčeských technologií [2]



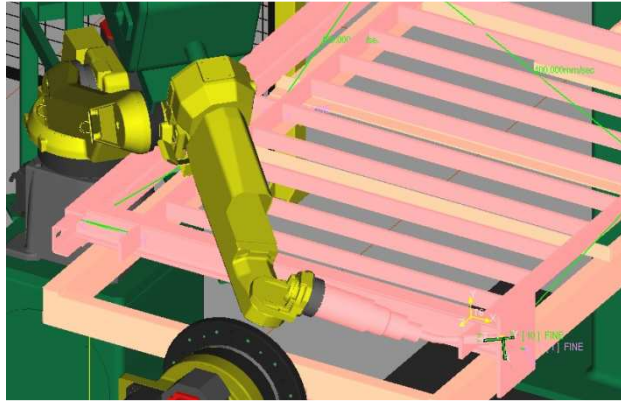
Obr. 3 – Detail hořáku

Požadavek zadání byl na kompletní provedení pomocí robotického svařování metodou MAG (metoda 135 dle ČSN EN ISO 4063 [5]) mostního zábradlí s hlavními rozměry dle obr. 4. Kvalita svarů předepsaná na výkrese byla „B“ dle ČSN EN ISO 5817 [6] s požadavkem na uzavřené svary. Konstrukce je svařovaná především koutovými svary o minimální velikost $a = 4$ mm dle ČSN EN 22 553 [7] pro spojení polotovarů o tloušťkách 8 a 10 mm. Dalšími polotovary jsou profilové tyče U (madlo) a I (sloup).



Obr. 4 – Hlavní rozměry a tloušťky polotovarů mostního zábradlí

Celková délka zábradlí je příliš velká na použití v LVST. Aby mohlo proběhnout reálné odladění a vyzkoušení přípravku a optimalizace svařovacích parametrů, byly provedeny rozměrové úpravy délky zábradlí přizpůsobené pro rozměry rámu polohovadla. Tudíž celkovou délku zábradlí bylo nutné zredukovat na dvě třetiny původní délky. Pro tuto konstrukční variantu bylo provedeno vyšetření proveditelnosti, zda je robot se svařovacím hořákem vytvořit svarové spoje i v nejbližších místech zábradlí. Na obr. 5 je možné vidět příklad nevhodného uložení zábradlí na rámu polohovadla (růžové zbarvení znázorňuje kolizi mezi svařovacím hořákem a zábradlím).



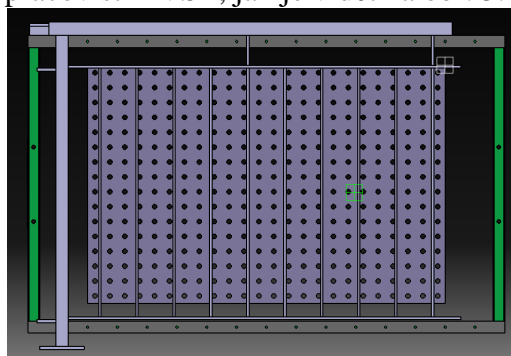
Obr. 5 – Nevhodné uložení mostního zábradlí na rám polohovadla

Po vhodném ustavení dvoutřetinového zábradlí na polohovadlo, jsem vyšetřil, zda jsem schopen zajistit požadovanou kvalitu svarů předepsaných dle ČSN EN ISO 5817 na kritérium přípustnosti „B“. Tudíž bylo žádoucí koutové svary natočit pomocí polohovadla Fanuc P250 tak, aby bylo možné svařovat v základních polohách PA nebo PB dle ČSN EN ISO 6947 [8]. Ne pro všechny místa konstrukce však bylo možné docílit svařování v těchto polohách, proto jsem zvolil rozdělení na více operací, kde je nejprve nutné svařit patku k sloupku a dvě krátké ploché tyče k madlu viz. kapitola 4 této práce.

4. Konstrukce svařovacího přípravku v SW CATIA V5

Pro konstrukci 3D modelu přípravku jsem se rozhodl využít znalosti v programu CATIA V5, protože jednak umožňuje vytváření 3D těles a následně 2D výkresovou dokumentaci, ale také poskytuje i vytvořenou geometrii převést do formátů typu step, igs, které lze posléze otevřít v jiných softwarech jako je např. dále použity SW Roboguide, což umožňuje pracovat s touto geometrií např. způsobem přichytávání bodů pro najetí svařovacího hořáku a urychluje tak tvorbu svařovacího programu na počítači.

Požadavek na konstrukci bylo navrhnout co nejlevnější, ale vyhovující variantu pro výrobu, s možností připevnění na pracovní rám (resp. přípravkovací desku) polohovadla Fanuc P250 umístěného na robotickém pracovišti LVST, jak je vidět na obr. 5.



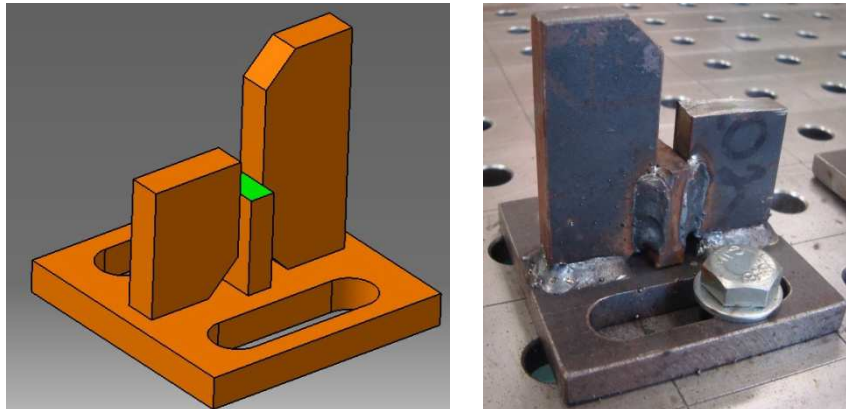
Obr. 6 – Návrh uložení dvou třetinového zábradlí na rám polohovadla Fanuc P250

4.1 Svařovací přípravek

Svařovací přípravek slouží k pevnému ustavení zakládáných dílů (polotovaru) vůči sobě, aby byla dosažena požadovaná přesnost. Konstruktor si při návrhu přípravku musí uvědomit, že přípravek bude během svařovacího procesu vystaven působení tepla od el. oblouku i od sálání tepla ze ZM, rozstříku svarového kovu a dále působení proudu o značné intenzitě. Dále se vychází z požadavků na počet svařovaných součástí za jednotku času. Z toho se odvíjí i způsob upínání dílů do svařovacího přípravku, zda se bude jednat o pneumatické prvky, které dostanou signál k zavření z PLC systému nebo zda se bude jednat jen o ruční upínky, které bude uzavírat obsluha po založení dílů.

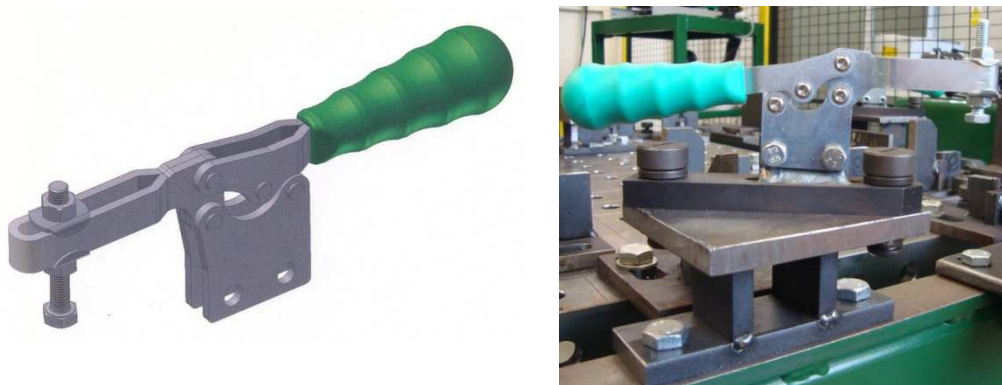
V tomto případě se jednalo o ověření základní možnosti výroby na robotickém pracovišti, takže počty kusů zábradlí jsou v jednotkách a nebylo tedy zapotřebí používat pneumatickým prvků na upínání polotovarů do přípravku.

Svařovací přípravek byl navržen tak, aby bylo možné ho jednoduše vyrobit v podmínkách dílny Ústavu strojírenské technologie. Přípravek se skládá z jednotlivých konzol, které byly vytvářeny s ohledem na ustavení zábradlí a dostupnost k místům budoucích svarových spojů, tak aby nepřekáželi svařovacímu hořáku. K tomu posloužila simulace proveditelnosti popsána v další kapitole, kde jsem vyšetřil, do jakých míst je možno konzoly navrhnout a ověřit, zda při přejezdech nedochází ke kolizi.



Obr. 7 – 3D model a skutečná konzole pro ustavení výplně zábradlí

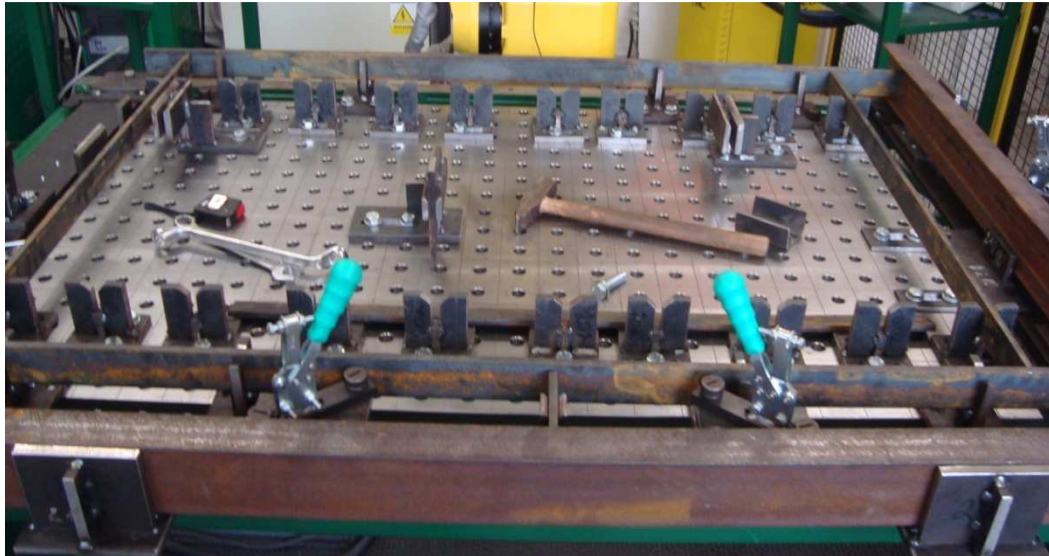
Konzole byly připevněny šrouby M12x40 a k přidržení polotovarů na místě uložení sloužili ruční upínky. Jejich funkcí je zabránění posunu a vychýlení polotovaru z přípravku během otáčení polohovadla.



Obr. 8 – 3D model a skutečná ruční upínka připevněná na konzoly

4.2 Výroba konzol a montáž svařovacího přípravku

Vzhledem k tomu, že vlastním kvalifikaci dle ČSN 050705 [9] na svařování metodou 135, tak jsem si konzole vyrobil sám. Bylo však nezbytné dodržet rozměry funkčních ploch, zejména výškových rozměrů pro podepření výztuže zábradlí a profilovaných tyčí sloupků a madla, tak aby byla dodržena vzájemná kolmost. Jako montážní tolerance sloužila vůle mezi drážkou konzole a upínací deskou. Následně došlo k seřízení přípravku a tím i vzájemného uložení mezi jednotlivými díly pro dodržení tolerance svařované konstrukce dle ČSN EN ISO 13 920 v jakosti B a F. Pro jakost B se jedná o mezní úchytky délkových rozměrů, kde pro nejdelší rozměry na zábradlí je mezní úchytky ± 3 mm a úchytky mezních úhlových rozměrů je $\pm 30'$. Jakost F je tolerance přímosti, rovinnosti a rovnoběžnosti, v našem případě maximálně 3 mm [10].

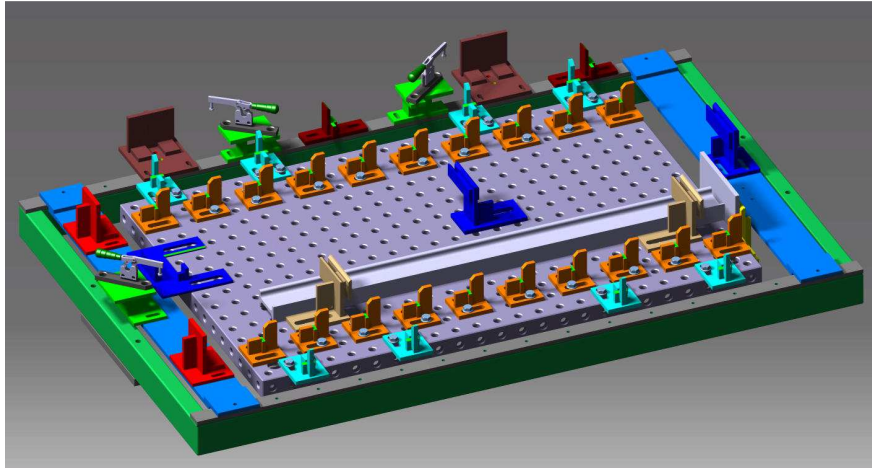


Obr. 9 – Montáž a seřízení svařovacího přípravku

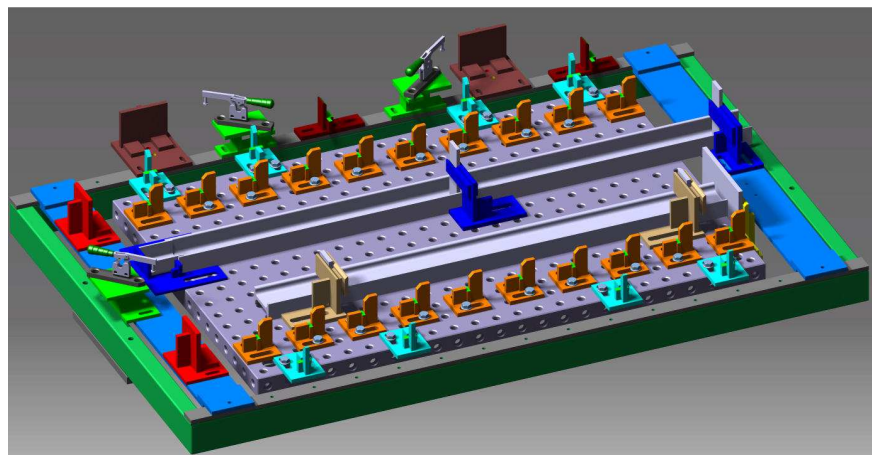
5. Programování robota

Vlastní program pohybu svařovacího hořáku byl tvořen pomocí ručního programování (on-line) na teach pendantu. Programování spočívalo v řízení jednotlivých os robota a postupném zapisování jednotlivých bodů do programu. Zápis bodů tvoří souřadnice os v kartézském systému (x, y, z) od základny robota a úhlovými posunutími (w, p, r) vůči základnímu systému. Tím je pevně definovaná poloha robota v prostoru. Dále je uvedena rychlost pohybu vyjádřená v procentech. Jednotka použitá při zadání rychlosti závisí na formátu pohybu zadaného v pohybové instrukci (sdružený, lineární, cirkulární). Všechny druhy rychlostí jsou však omezeny možnostmi stroje, jak rychle se dokáže přesunout. Pro aplikaci svařování lze doplnit instrukce svařování. Tedy začátek svařování, parametry napětí na oblouku a svařovacího proudu, rozkmit hořáku (pokud je nutný) a ukončení svařování [3].

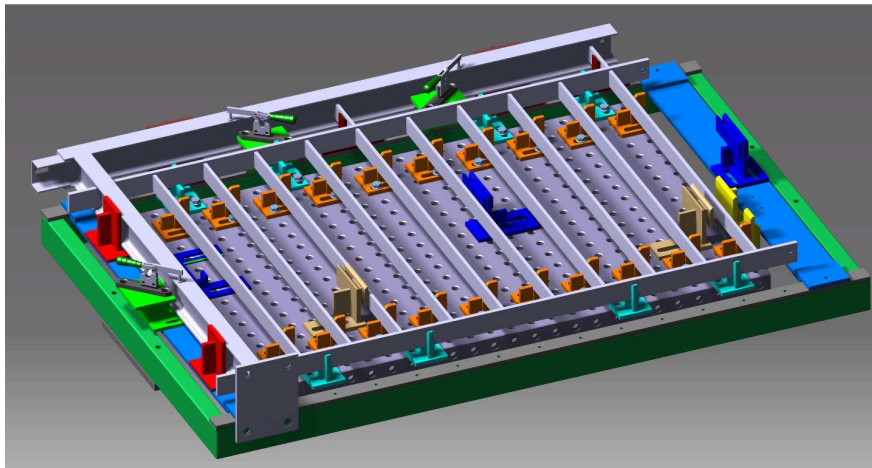
Program se skládal ze tří částí oddělených pauzami pro zakládání polotovarů do přípravku. Pro první operaci se zakládá sloupek a patka zábradlí jak je vidět na obr. 10. Pro druhou operaci se otáčí sloupek, zakládá se madlo a krátké tyče do svislé polohy do drážek konzol (obr. 11). Na obr. 12 je pak možné vidět založení předvařeného sloupku a madla do přípravku spolu s výplní mostního zábradlí, pojištěné ručními upínkami proti posunutí.



Obr. 10 – 1. Operace: Založení dvou kusů do přípravku



Obr. 11 – 2. Operace: Otočení sloupku a založení madla spolu s krátkými tyčemi

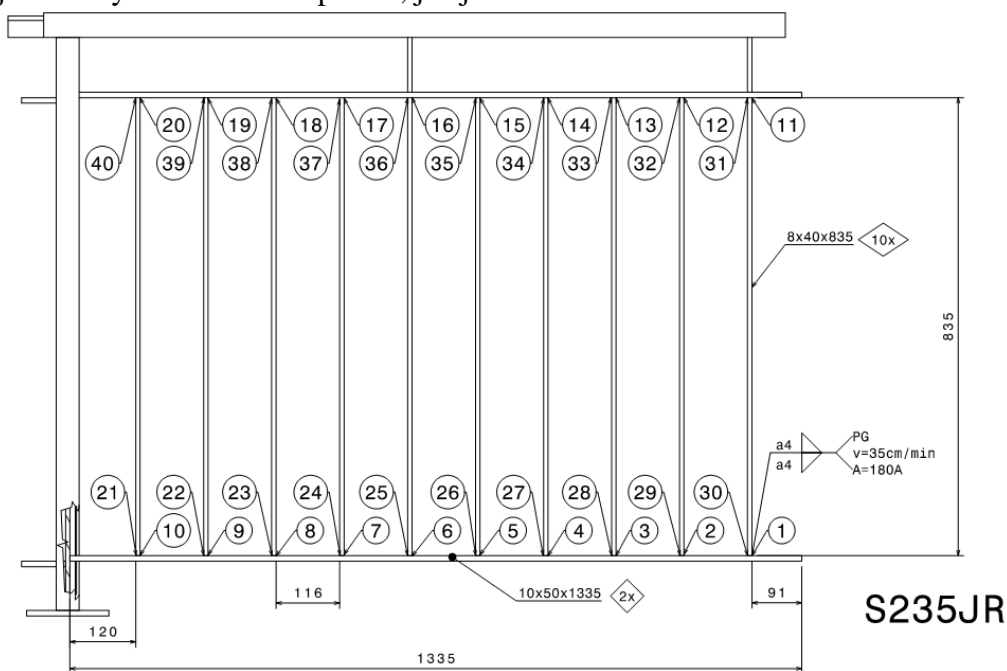


Obr. 12 - 3. Operace: Uložení svařeného sloupku a madla z předchozích operací + založení výplně zábradlí

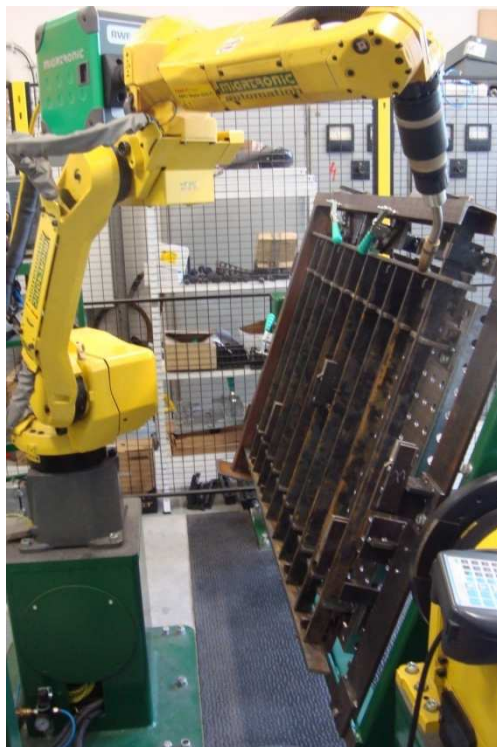
6. Technologie svařování

Před samotným svařováním bylo nutné upravit svarové plochy od ořepů vzniklé řezáním na strojní pile, očistit povrch od nečistot a vybrousit jej do povrchově čistého kovu, aby bylo docíleno, co nejlepších podmínek pro vznik kvalitního svarového spoje, protože byly prováděny pouze koutové spoje, nebylo třeba více upravovat svarové plochy.

Jako materiál mostního zábradlí je standardně používána ocel S235JR, které je hodnocena jako zaručeně svařitelná. Není tedy nutné speciálně posuzovat svařitelnost a upravovat teplotní cyklus resp. jiným způsobem ovlivňovat svařovací proces. Jde pouze o správné nastavení parametrů svařování, pro docílení kvalitního svarového spoje. Parametry svařování pro koutový svar byly odladěny následovně: svařovací rychlost 35 cm/min, proud 180 A, napětí 24 V. Jelikož se jednalo o svařování plochých tyčí o tloušťkách 8 a 10 mm, tak požadovaná velikost svaru je minimálně $a = 4$ mm, což bylo ověřeno změřením po svaření. S ohledem na možné deformace výplně mostního zábradlí byl zvolen postup svařování kladení jednotlivých housenek v pořadí, jež je uvedeno na obr. 13.



Obr. 13 – Postup kladení housenek pro výplň mostního zábradlí



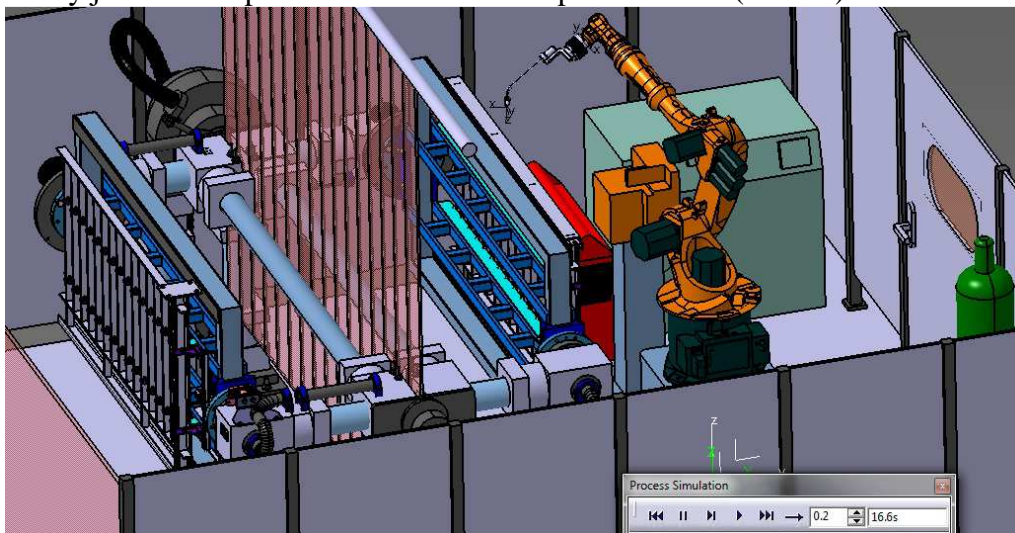
Obr. 14 – Pohled na svařování mostního zábradlí (natočení výrobku do polohy PB)

Po každém svařeném kusu zábradlí je nutné očistit hubici svařovacího hořáku, protože je zanesena nečistotami způsobenými svařováním. Čistota hubice má vliv na průchod ochranného plynu do místa svařování. V případě zanesení hubice vzniká turbulentní proudění ochranného plynu, které je nežádoucí.

7. Simulace v SW Delmia V5

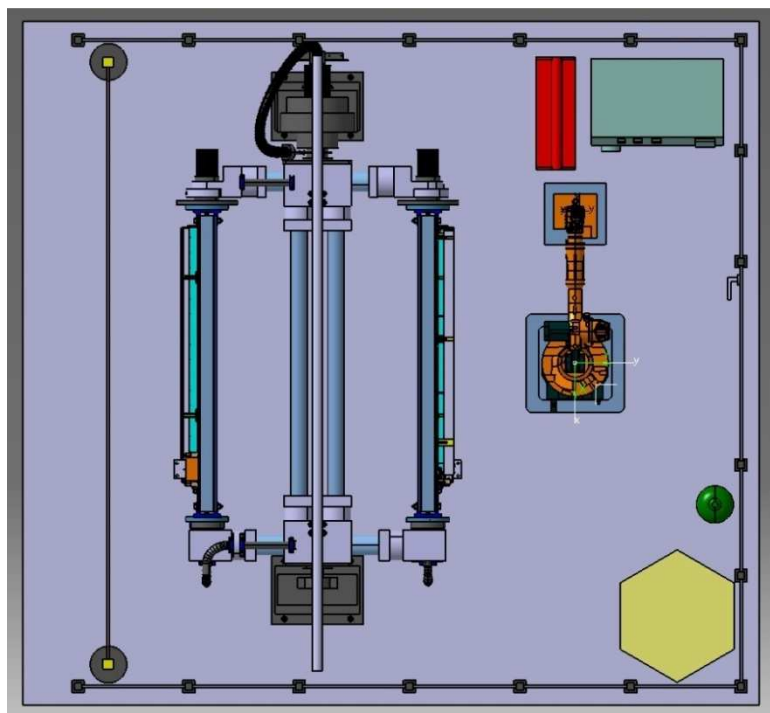
Kromě zhodnocení možnosti robotizované výroby, což bylo potvrzeno předchozím experimentem a odladěním konkrétních svařovacích parametrů, bylo dalším důležitým cílem posouzení výhod robotizace pro průmyslovou praxi a porovnání se stávající ruční výrobou. Pro simulaci časového vytížení svařování celé délky dvoumetrového zábradlí jsem zvolil off-line simulaci v SW Delmia V5, pomocí robota od firmy KUKA s.r.o. KR16-L6 s prodlouženou čtvrtou osou pro lepší dosah v celé délce zábradlí. Dále jsem vyhledal a vymodeloval prodloužený svařovací hořák o délce 511 mm od místa upnutí po pracovní bod výletu svařovacího drátu. Pro to, aby byla co nejvíce využita výhoda robotického pracoviště a robot byl vlastním svařováním vytížen co nejdéle i při zakládání polotovarů do svařovacího přípravku, jsem zvolil dvojnásobné polohovadlo KPF3-H2H750 se vzdáleností osy otočného ramene 600 mm, což umožňuje bezproblémové otáčení rámu přípravku pro lepší dostupnost svařovacího hořáku do místa svařování v poloze PB nebo PA. Což je asi nejpoužívanější varianta v průmyslové praxi.

Další komponenty, které jsou nezbytné pro svařovací pracoviště, jsem jen naznačil modely umístěné v cele svařovacího pracoviště. Mezi tyto komponenty patří řídicí jednotka, svařovací zdroj, zařízení pro čištění hubice svařovacího hořáku, optická závora, spotřební materiál v podobě tlakové lahve s ochranným plynem a přídavného drátu symbolizující obal od velkokapacitního zásobníku drátu tzv. Marathon Pac (obr. 16). Dále je naznačeno řešení stínění svařovacího procesu před oslněním personálu při zakládání polotovarů do svařovacího přípravku. Jedná se o lamely upevněné nad dvojnásobným rotačním polohovadlem tak aby nebránily jak obsluze při zakládání tak robotu při svařování (obr. 15).



Obr. 15 – Návrh plně automatizovaného robotického pracoviště v SW Delmia V5

Takto navrhované robotizované pracoviště se rozkládá na ploše téměř 30 m² o rozměrech 5,3 x 5,5 m. Spotřební materiál se nachází uvnitř pracovního prostoru, a tudíž je nezbytné vybavit dveře koncovým spínačem, který je napojen na řídicí PLC systém, který bezpečně zastaví pohyb robota, při otevření dveří a tím zabránění nechtěnému úrazu. Pro výměnu tlakových lahví s ochrannou atmosférou je tedy nutný prostor pro manipulaci, podobně to platí i pro přídavný materiál uložený v krabici. Podavač drátu zde může být upevněn na čtvrté ose robota.



Obr. 16 – Pohled shora na pracovní prostor svařovacího pracoviště

8. Zhodnocení výsledků – porovnání jednotlivých variant

Jako hlavní přednosti tohoto způsobu výroby jsou obecné výhody robotických pracovišť, zejména snížení provozních nákladů, zlepšení opakovatelné kvality svarových spojů a úrovně výrobků přes zvýšení produkce za jednotku času až po vylepšení pracovních podmínek pro zaměstnance jako je omezení vdechování škodlivých výparů z procesu svařování. Dále snížení odpadu materiálu, flexibilitu výrobních linek a s tím zvýšení výtěžnosti a zisku [11]. Kontrola svarových spojů proběhly nejen vizuálně, ale i makrovýbrusem, zda jsou ve svaru vady typu porů, trhlin apod.

Časové porovnání

Výstupem této práce je jednoznačně porovnání časové vytíženosti mezi ručním a robotizovaným svařováním. Pro ruční svařování platí, že doba přípravy a manipulace se zábradlím pro zpřístupnění míst svařování trvá déle než jej upnout do svařovacího přípravku a svařovat na jedno upnutí.

U ručního svařování jsem obdržel kvalifikovaný odhad od průmyslového výrobce mostních zábradlí, že svářeči trvá vyrobít dvoutřetinové zábradlí (délka 1,4 m) cca 5,6 hodin.

V Laboratoři výuky svařovacích technologií výroba stejně dlouhého zábradlí spolu se všemi vedlejšími časy pro zakládání, manipulaci apod. trvala průměrně 35,5 minuty. Což je 9,5krát rychlejší výrobní čas.

Z hlediska vyšetření časové náročnosti pro plně automatizované pracoviště celého zábradlí (délka 2 m), kde jsou použity dva přípravky, aby při svařování bylo zpřístupněno zakládání všech polotovarů zábradlí do druhého přípravku a tím nevznikali prostoje kvůli manipulaci, jsem zjistil v simulačním SW Delmia V5 čas celého procesu, který je 32,7 minut. V porovnání s ručním svařováním (čas 8 hod.) je výsledek simulace 14,7krát produktivnější.

Tabulka 1. – Přehled porovnání časů výroby pro jedno zábradlí

	ruční		robotizované	
délka zábradlí [m]	1,4	2	1,4	2
čas výroby [min]	336	480	35,5	32,7

Pozn.: Pro zjištění času výroby u ručního svařování dvoumetrového zábradlí byl použit poměr délek zábradlí. U robotizovaného svařování pro délku zábradlí 1,4 m je nutné připomenout, že se jedná o výrobu na 3 operace a tudíž je v celkovém času zaznamenán i manipulační čas zakládání polotovarů do svařovacího přípravku. Čas simulace je pouze orientační a tudíž mohou nastat určité rozdíly od skutečného času.

Závěr

Pro úspěšné vyřešení zadaného úkolu bylo zapotřebí skloubit různých znalostí z hlediska konstrukce přípravku, technologie svařování, programování robota a ovládání různých typů simulačních softwarů.

Výsledky prokázaly možnost a vhodnost robotizace procesu. A posouzení kvality provedených svarových spojů a porovnání časů výroby, které jsou jasně ve prospěch robotizovaného svařování.

Seznam použité literatury

- [1] ČSN EN 1090-1. *Provádění ocelových konstrukcí a hliníkových konstrukcí: Část 1: Požadavky na posouzení shody konstrukčních dílců*. 1. vyd. Praha: Český normalizační institut, 2010.
- [2] ZÁBRADLÍ NA POZEMNÍCH KOMUNIKACÍCH. *TP 186*. 1. vyd. Praha: Ministerstvo dopravy, 2007.
- [3] *Www.fanucrobotics.com* [online]. 2007 [cit. 2013-02-02]. Arc Mate 100iC & Arc Mate 100iC/6L. Dostupné z WWW: <<http://www.fanucrobotics.com/file-repository/DataSheets/Robots/ARC-Mate-100iC100iC6L.pdf>>.
- [4] *Firemní materiály firmy Migatronik CZ a.s.*
- [5] ČSN EN ISO 4063. *Svařování a příbuzné procesy: Přehled metod a jejich číslování*. 1. vyd. Praha: Český normalizační institut, 2009.
- [6] ČSN EN ISO 5817. *Svařování - Svarové spoje oceli, niklu, titanu a jejich slitin zhotovené tavným svařováním: Určování stupňů kvality*. 2. vyd. Praha: Český normalizační institut, 2003.
- [7] ČSN EN 22553. *Svarové a pájené spoje: Označování na výkresech*. 1. vyd. Praha: Český normalizační institut, 1994.
- [8] ČSN EN ISO 6947. *Svařování a příbuzné procesy: Polohy svařování*. 1. vyd. Praha: Český normalizační institut, 2011.
- [9] ČSN 050705. *Zaškolení pracovníků a základní kurzy svářečů*. 1. vyd. Praha: Český normalizační institut, 2002.
- [10] ČSN EN ISO 13920. *Svařování - Všeobecné tolerance svařovaných konstrukcí - Délkové a úhlové rozměry - Tvar a poloha*. Praha: Český normalizační institut, 2003.
- [11] *Www.abb.cz* [online]. 2011 [cit. 2013-02-02]. ABB 10 dobrých důvodů, proč investovat do robotů - Robotika . Dostupné z WWW: <<http://www.abb.cz/product/ap/seitp327/2b56b77fb0901f39c125759a004058f6.aspx>>.