

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE
FAKULTA STROJNÍ

ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE



PŘÍPRAVA ROBOTIZACE SVAŘOVÁNÍ DÍLU VE FIRMĚ
SCHÄFER-MENK S.R.O.

PREPARING OF THE ROBOTIC WELDING OF A PART AT
SCHÄFER-MENK S.R.O.

DIPLOMOVÁ PRÁCE
2023

Autor:	Bc. Jiří Štolba
Studijní program:	N0715A270001 Výrobní inženýrství
Studijní obor:	N071TVIN Bez specializace
Vedoucí práce:	Ing. Tomáš Gurčík, IWE.

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Štolba** Jméno: **Jiří** Osobní číslo: **483133**
Fakulta/ústav: **Fakulta strojní**
Zadávající katedra/ústav: **Ústav strojírenské technologie**
Studijní program: **Výrobní inženýrství**
Specializace: **Bez specializace**

II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Název diplomové práce:

Příprava robotizace svařování dílu ve firmě Schäfer – Menk s.r.o.

Název diplomové práce anglicky:

Preparing of the robotic welding of a part at Schäfer - Menk s.r.o.

Pokyny pro vypracování:

- Seznámení s firmou Schäfer-Menk
- Teoretický rozbor a popis dílu svařence
- Popis dosavadního stavu svařování
- Příprava pro robotické svařování - simulace v offline programu, návrh přípravku, zhodnocení vhodnosti dílu pro robotické svařování
- Předvýrobní zkouška a její vyhodnocení - návrh WPS, WPQR

Seznam doporučené literatury:

- [1] ČSN EN ISO 15614-1: Stanovení a kvalifikace postupů svařování kovových materiálů - Zkouška postupu svařování - Část 1: Obloukové a plamenové svařování oceli a obloukové svařování niklu a slitin niklu. 2018.
- [2] ČSN EN ISO 15613: Stanovení a kvalifikace postupů svařování kovových materiálů - Kvalifikace na základě předvýrobní zkoušky svařování. 2005.
- [3] ČSN EN ISO 15609-1: Stanovení a kvalifikace postupů svařování kovových materiálů - Stanovení postupu svařování - Část 1: Obloukové svařování. 2021.
- [4] TNI CEN ISO/TR 15608: Svařování - Směrnice pro zařazování kovových materiálů do skupin.
- [5] Kolařík, L. a kol., Konstrukce a navrhování svarových spojů, Učební texty pro EWE a EWT, 2017, ČVUT v Praze, FS

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) diplomové práce:

Ing. Tomáš Gurčík ústav strojírenské technologie FS

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

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

Datum zadání diplomové práce: **26.04.2023**

Termín odevzdání diplomové práce: **11.08.2023**

Platnost zadání diplomové práce: **31.12.2023**

Ing. Tomáš Gurčík
podpis vedoucí(ho) práce

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

doc. Ing. Miroslav Španiel, CSc.
podpis děkana(ky)

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

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

Datum převzetí zadání

Podpis studenta

ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma: „Příprava robotizace svařování dílu ve firmě Schäfer – Menk s.r.o.“ vypracoval samostatně pod odborným vedením Ing. Tomáše Gurčíka, IWE. Dále prohlašuji, že veškeré podklady a prameny, ze kterých jsem ve své práci čerpal, jsou uvedeny v seznamu použité literatury.

V Praze dne

.....

Bc. Jiří Štolba

PODĚKOVÁNÍ

Rád bych touto formou poděkoval vedoucímu mé diplomové práce panu Ing. Tomášovi Gurčíkovi, za odborné vedení diplomové práce. Dále bych chtěl poděkovat firmě Schäfer – Menk, za možnost realizace této diplomové práce. Velké díky, patří především pracovníkům z oddělení technologie v Radotíně, kteří mi poskytli náhled do problematiky robotického svařování, postupů firmy a vždy byli připraveni poskytnout cenné rady a odborné konzultace. Mé poděkování také míří ke kolegům z výrobního závodu v Plzni, kteří mi pomáhali s metalografickými vzorky.

Největší poděkování si zaslouží především má rodina a nejbližší, kteří mě v každé situaci za doby studia podporovali.

ANOTACE

Jméno autora:	Bc. Jiří Štolba
Název práce:	Příprava robotizace svařování dílu ve firmě Schäfer – Menk s.r.o.
Rozsah práce:	77 stran 58 obrázků 8 tabulek 2 přílohy
Akademický rok:	2022/2023
Ústav:	Ústav strojírenské technologie
Studijní program:	Výrobní inženýrství
Vedoucí práce:	Ing. Tomáš Gurčík, IWE

Práce se zabývá přípravou robotického svařování pro výrobní díl ve firmě Schäfer – Menk. Je vytvořen teoretický rozbor a popis dílu. Dále byla provedena analýza svarů z pohledu robotického svařování. V další části byl navrhnout upínací přípravek pro upnutí dílu do polohovadla a vytvořen svařovací program v softwaru RobOffice. V poslední části byla provedena předvýrobní pracovní zkouška pro ověření svařovacích paramentů. Zkouška byla provedena dle normy ČSN EN ISO 15614-1.

Klíčová slova: Robotické svařování, příprava robotizace svařování, Schäfer – Menk s.r.o., off-line programování, předvýrobní zkouška, návrh WPS

ANNOTATION

Author:	Bc. Jiří Štolba
Title of the Thesis:	Preparing of robotic welding of a part at Schäfer – Menk s.r.o.
Extent:	77 pages 58 pictures 8 tables 2 attachments
Academic year:	2022/2023
Department:	Department of manufacturing technology
Study programme:	Manufacturing engineering
Supervisor:	Ing. Tomáš Gurčík, IWE

The thesis deals with preparation of robotic welding for the produced part in the company Schäfer - Menk. At first is created theoretical analysis and description of the produced part. Next, the part is analyzed of welds from the point of view of robotic welding. In another section, a clamping fixture was designed to clamp the part into a positioner and create a welding program in RobOffice software. In the last part, a pre-production working test was carried out to verify welding parameters. The test was carried out according to the standard ČSN EN ISO 15614-1.

Key words: Robotic welding, preparation robotisation of welding, Schäfer – Menk s.r.o, off-line programming, pre-production test, design of WPS

OBSAH

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK	10
1 ÚVOD	11
2 SCHÄFER-MENK	12
3 TECHNOLOGIE SVAŘOVÁNÍ	14
3.1 OBLOUKOVÉ SVAŘOVÁNÍ V OCHRANNÝCH ATMOSFÉRÁCH	14
3.1.1 METODA SVAŘOVÁNÍ MAG	14
3.1.2 METODA OBLOUKOVÉ SVAŘOVÁNÍ ELEKTRODOU PLNĚNOU KOVOVÝM PRÁŠKEM V AKTIVNÍM PLYNU	16
4 SVAŘITELNOST	18
4.1 SVAŘITELNOST UHLÍKOVÝCH OCELÍ	18
4.2 UHLÍKOVÝ EKVIVALENT	19
4.3 DOBA OCHLAZOVÁNÍ A PŘEDEHŘEV	20
4.4 SVAŘITELNOST JEMNOZRNNÝCH OCELÍ	22
5 ROZBOR VYRÁBĚNÉHO DÍLU	23
5.1 POPIS KONSTRUKCE SOUČÁSTI	23
5.2 ZÁKLADNÍ MATERIÁL – S355J2+N	26
5.3 PŘÍDAVNÝ MATERIÁL – COREWELD 46 LS	27
6 DOSAVADNÍ STAV SVAŘOVÁNÍ SOUČÁSTI	28
6.1 PŘÍPRAVKY PRO SVAŘOVÁNÍ	28
6.2 NÁVODKA POSTUPU SVAŘOVÁNÍ	29
6.2.1 KONTROLA DÍLŮ	29
6.2.2 VŠEOBECNÁ PRAVIDLA POSTUPU SVAŘOVÁNÍ	29
6.2.3 POSTUP SVAŘOVÁNÍ	30
7 ANALÝZA SVAŘENCE PRO ROBOTICKÉ SVAŘOVÁNÍ	31
7.1 ANALÝZA JEDNOTLIVÝCH SVARŮ	31
7.2 ZHODNOCENÍ VHODNOSTI SVAŘENCE PRO ROBOTICKÉ SVAŘOVÁNÍ	35
7.3 TECHNOLOGICKÝ POSTUP	35
8 SVAŘOVACÍ ROBOTICKÉ PRACOVÍŠTĚ V SCHÄFER – MENK	36

8.1	SVAŘOVACÍ ROBOT	37
8.2	POLOHOVADLO	38
9	NÁVRH PŘÍPRAVKU PRO UPNUTÍ DO POLOHOVADLA	39
10	OFF-LINE PROGRAMOVÁNÍ PŘEDBĚŽNÉHO SVAŘOVACÍHO PROGRAMU	44
10.1	SVAŘOVACÍ PROGRAM	46
10.2	HLAVNÍ PROGRAM	46
10.3	PODPROGRAM	47
10.3.1	VYTVÁŘENÍ TRAJEKTORIÍ	47
10.3.2	POPIS VÝSLEDNÉHO PODPROGRAMU N01	49
10.4	VÝSLEDNÝ SVAŘOVACÍ PROGRAM	49
11	PŘEDVÝROBNÍ PRACOVNÍ ZKOUŠKA	51
11.1	NÁVRH A PŘÍPRAVA ZKUŠEBNÍHO KUSU	52
11.2	SVAŘENÍ VZORKU	53
11.3	VIZUÁLNÍ KONTROLA	54
11.3.1	POPIS VIZUÁLNÍ KONTROLY	55
11.3.2	VIZUÁLNÍ KONTROLA ZKUŠEBNÍHO KUSU	55
11.4	ZKOUŠKA NA POVRCHOVÉ TRHLINY	56
11.4.1	POPIS ZKOUŠENÍ MAGNETICKOU PRÁŠKOVOU METODOU	56
11.4.2	ZKOUŠKA MAGNETICKOU PRÁŠKOVOU METODOU ZKUŠEBNÍHO KUSU	57
11.5	KONTROLA MAKROSTRUKTURY	59
11.5.1	POPIS MAKROSKOPICKÉ KONTROLY SVARŮ	59
11.5.2	MAKROSKOPICKÁ KONTROLA ZKUŠEBNÍHO KUSU	60
11.6	ZKOUŠKA TVRDOSTI	63
11.6.1	POPIS ZKOUŠKY TVRDOSTI	63
11.6.2	ZKOUŠKA TVRDOSTI ZKUŠEBNÍHO KUSU	65
11.7	NAVRŽENÁ WPS	68
12	ZÁVĚR	69
13	ZDROJE	71
	SEZNAM OBRÁZKŮ	74

SEZNAM TABULEK	76
PŘÍLOHY.....	77

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK

Zkratka	Význam
MAG	Metal activ gas, Svařování tavící se elektrodou v aktivním plynu
FCAW	Flux-cored arc welding, Svařování plněnou elektrodou
MCAW	Metal-cored arc welding, Svařování plněnou elektrodou kovovým práškem
TOO	Tepelně ovlivněná oblast
Ce	Uhlíkový ekvivalent [%]
CET	Uhlíkový ekvivalent [hm %]
IIW	International Institute of Welding
$t_{8/5}$	Doba ochlazování [s]
WPQR	Welding procedure qualification rekord, Kvalifikace postupu svařování
WPS	Welding procedure specification, Specifikace svařovacího procesu

1 ÚVOD

V dnešní době se ve výrobě neustále zvyšují požadavky na rozvoj automatizace a robotizace. Hlavními cíli a důvody aplikace robotů ve svařování je zvyšování kvality a jakosti svařenců, zvyšování produktivity práce, odstranění vlivu lidského faktoru, optimalizace svařovacích procesů a s tím spojená ekonomická efektivnost výroby a snižování nákladů. V neposlední řadě je dnes také velkým problémem a zároveň motivací zavádění robotických systémů, nedostatek kvalifikovaných svářečů.

Ve firmě Schäfer – Menk, se kterou na této diplomové práci spolupracuji, je ve výrobě ocelových konstrukcí využíváno několik svařovacích robotů. Robotické svařovací systémy přináší ve výrobě svařovaných konstrukcí především produktivitu a schopnost provádět svary ve vysoké kvalitě a to opakovaně. I proto je ve firmě kladen čím dál větší důraz na svařování vhodných dílů pomocí robotů.

Cílem této práce je vytvořit přípravu, z technologického hlediska, pro robotické svařování dílu, který se ve firmě Schäfer – Menk dosud vyráběl poloautomatickým svařováním, aby mohl být v případě dalších poptávek začleněn co nejrychleji do procesu výroby a mohlo se pracovat jen na případném odlaďování a korekcích.

Práce je vcelku velmi prakticky zaměřena. Na jejím začátku krátce představím firmu Schäfer – Menk. Poté provedu rozbor dílu, který zahrnuje popis jeho konstrukce, funkce a také dosavadního stavu svařování dílu. Následně bude realizována analýza svarů a zhodnocení svařence v rámci jeho technologičnosti.

V další části je cílem navrhnout upínací přípravek pro svařovaný díl na desku polohovadla. Vytvořit předběžný svařovací program off-line programováním a provést předvýrobní pracovní zkoušku dle ČSN EN ISO 16014-1 pro ověření používaných parametrů z příslušné WPQR pro svařování vybraného svaru na svařenci.

Práce je zaměřena především na technologické hledisko přípravy svařence pro robotické svařování. Není zde posuzováno hledisko ekonomických nákladů.

2 SCHÄFER-MENK

Firma Schäfer-menk byla založena v roce 1994 a na trhu tak působí téměř 30 let. V České republice má firma dva výrobní závody. Jeden v Praze v Radotíně a druhý v Dýšině u Plzně. Oba tyto závody jsou součástí prestižní německé rodiny Menk Schmeemann Group. Firma Schäfer-menk se specializuje na výrobu složitých svařovaných konstrukcí, které potřebují přesné obrábění. Svařují a vyrábí konstrukce a komponenty pro přední světové zákazníky, kteří jsou výrobci autojeřábů, manipulační techniky, stavebních strojů, důlní techniky. Roční obrat firmy Schäfer-menk se pohybuje kolem několika miliard korun a firma zaměstnává až 500 pracovníků s různými profesemi.

Ve výrobě se pracuje s ocelí různých jakostí. Firma je však především zkušeným a renomovaným výrobcem konstrukcí z jemnozrnných, vysokopevnostních ocelí. Svařují například vysokopevnostní materiály S9600QL a S1100QL. Firma disponuje i technologiemi pro úseky zpracování a přípravy materiálu, jako je pálení, řezání, obrábění či technologiemi povrchových úprav. [1]

Ukázka výrobků firmy Schäfer-Menk:



Obrázek 1 - Výrobky Schäfer-Menk

Ve firmě se svařuje výhradně technologií obloukového svařování. Používají se především metody obloukové svařování tavící se elektrodou v ochranném plynu:

- 131 - obloukové svařování tavící se elektrodou v ochranné atmosféře inertního plynu
- 135 - obloukové svařování tavící se elektrodou v ochranné atmosféře aktivního plynu
- 138 - obloukové svařování plněnou elektrodou s kovovým práškem v ochranné atmosféře aktivního plynu

Využíváno je svařování ručního, poloautomatického, ale také automatického a robotizované. Firma disponuje několika svařovacími automaty, na kterých se svařuje metodou 121, což je svařování elektrickým obloukem pod tavidlem drátovou elektrodou. Na automatech se svařují především dlouhé lineární svary tubusů pro autojeřáby. Ve výrobě pracují také svařovací roboty od firmy Reis a na jednom z těchto robotů je tato diplomová práce vytvářena. Zajímavostí je metoda 783, což je přivařování svorníků s keramickým kroužkem v ochranném plynu. [1]

3 TECHNOLOGIE SVAŘOVÁNÍ

Technologie svařování slouží k vytváření nerozebíratelných spojení strojních součástí. Jejím cílem je získat vyhovující spojení dvou či více dílů, kdy spoj současně musí vykazovat vlastnosti, které jsou po něm požadovány a vyhovují podmínkám provozování. Spoj při svařování vzniká buďto působením tepla, kdy se jedná o tavné svařování, působením tlaku, kdy mluvíme o svařování tlakem, anebo kombinací obou těchto způsobů. Při tavném svařování dochází k vytvoření spoje natavením svarových ploch základního materiálu a natavení přídavného materiálu přívodem tepelné energie. Roztavený kov, vytváří svarovou lázeň a tím dochází ke spojení obou materiálů. Po vychladnutí je vytvořen nerozebíratelný spoj. Rozdělujeme několik metod tavného svařování jako je: svařování plamenem, svařování elektrickým obloukem, svařování laserem, svařování elektronovým paprskem a plazmou.

U metody svařování elektrickým obloukem je elektrická energie v podobě elektrického oblouku přeměňována na energii tepelnou. Přeměna vzniká mezi elektrodou a základním materiálem. [3;4]

3.1 Obloukové svařování v ochranných atmosférách

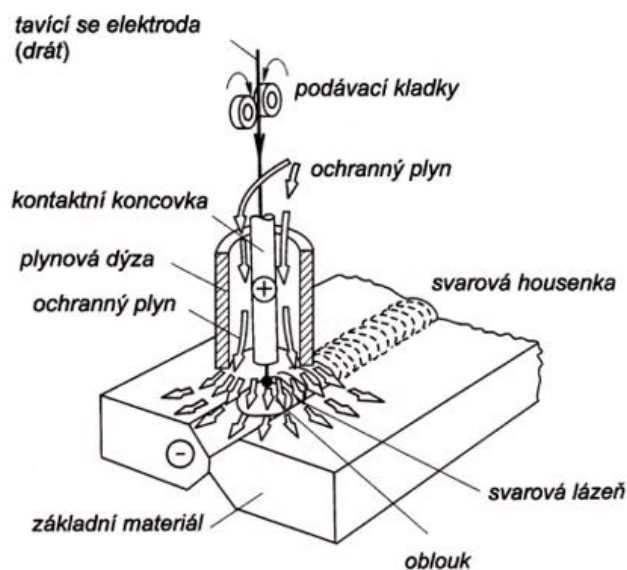
Obloukové svařování v ochranných atmosférách je světově nepostradatelnou a nosnou technologií výroby ocelových konstrukcí. Nejvýznamnější metodou je svařování MAG/MIG. Tato metoda je také nejvíce používaná v systémech mechanizace a robotizace svařování. Dnes se také pro automatizované a robotizované systémy používá rozšiřující se metoda obloukového svařování plněnou elektrodou (FCAW, MCAW). Při obloukovém svařování v ochranném plynu je hořící oblouk obklopený atmosférou z ochranného plynu. Ochranná atmosféra při svařování chrání elektrodu, oblouk, natavený přídavný materiál a svarovou lázeň proti okolní atmosféře, tedy proti účinku vzdušného kyslíku a dusíku. Obloukové svařování v ochranných atmosférách dělíme na metody rozlišující se dle druhu elektrody a ochranného plynu. Následující kapitoly budou věnovány určitým metodám obloukového svařování tavící se elektrodou v ochranném plynu. [3;4]

3.1.1 Metoda svařování MAG

MAG neboli Metal active gas je metoda obloukového svařování tavící se elektrodou v ochranné atmosféře aktivního plynu. Zdroj tepelné energie je elektrický oblouk hořící mezi koncem tavící se elektrody a základním materiálem v prostředí aktivního plynu. Aktivní plyn vstupuje a aktivně se podílí na chemických reakcích a procesech ve svarové

lázni. Jako plyny se používají argon, oxid uhličitý a jejich směsi. Princip svařování MAG popisuje obrázek 2.

Obrázek principu svařování



Obrázek 2 - Princip svařování MAG [4]

K základním charakteristikám obloukového svařování tavící se elektrodou patří přenos kovu, který závisí zejména na parametrech svařování, ale dále také na složení ochranného plynu, technice svařování a přídavném materiálu.

Zkratový přenos – elektrický oblouk je přerušován zkratem, při kterém dochází k oddělování části kovu elektrody. Je to vhodný přenos pro svařování tenkých plechů a svařování kořenových vrstev. Provádí se při nízkém napětí 14 až 20 V a má poměrně velký rozstřík kovu.

Kapkový bezzkratový přenos – tento způsob přenosu kovu je vhodný pro svařování větších tlouštěk ocelí s většími průměry elektrod. Tavící se elektroda se odděluje v kapkách a nezpůsobuje zkrat mezi elektrodou a svarovou lázní. Svářecí napětí na oblouku je kolem 25 až 35 V. Svařuje se argon + oxid uhličitý.

Sprchový přenos – tohoto přenosu docílíme velkým tepelným příkonem a vysokou proudovou hustotou svařovacího proudu. Přenos probíhá ve formě malých kapek, je stabilní a téměř bez rozstříku. Je vhodný pro svařování větších tlouštěk kovů. Nutné je používat směsné plyny na bázi argonu.

Impulzní přenos – je používán v širokém rozsahu tepelných příkonů. Přenos kovu je řízen pulsujícím proudem a v oblouku je stabilní a bez rozstříku. Nejlepší uplatnění nachází u svařování tenkých plechů. Svařuje se za účasti plynů na bázi argonu, v oxidu uhličitém je tento přenos nerealizovatelný.

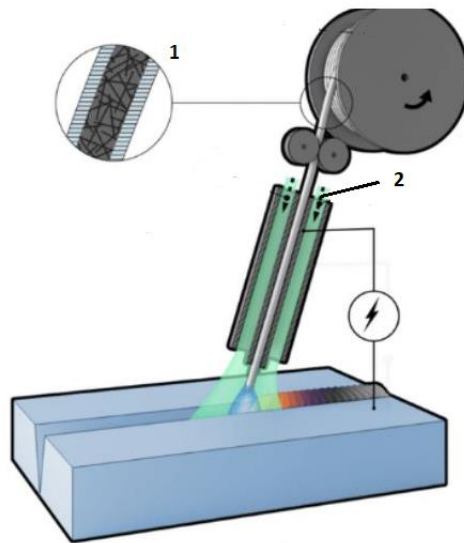
Činitele ovlivňující rozměry, tvar a kvalitu svaru jsou základní parametry svařování. Mezi ně patří: proud, napětí a rychlost svařování, proudová hustota, druh a polarita proudu. Napětí ovlivňuje elektrický oblouk, jeho velikost i tvar, a to vede k ovlivnění šířky housenky a přenosu kovu. Vyšší napětí také prodlužuje délku oblouku. Svařovací proud má na tvar samotné svarové housenky největší vliv a ovlivňuje také přenos kovu. [3;4]

3.1.2 Metoda obloukové svařování elektrodou plněnou kovovým práškem v aktivním plynu

Rozsáhlejší využití metod svařování plněnou elektrodou přišlo s požadavky o zvyšování produktivity a snižování nákladů. V dnešní době jsou metody svařování plněnou elektrodou aplikovány zejména v automatizovaných a robotizovaných systémech svařování, kde můžeme plně využít jejich výhody. Rozlišujeme dvě metody svařování plněnou elektrodou dle typu náplně elektrody. Plněné elektrody příměsí s obsahem tavidla, to se jedná o metodu svařování – 136 dle označení ČSN EN ISO 4063. Druhým typem je metoda svařování elektrodou, která je plněná kovovým práškem a nese označení 138. Právě metoda 138 se využívá u robotizovaného svařování ve firmě a tato kapitola jí bude dále věnována.

Metoda svařování plněnou elektrodou je v principu totožná jako metoda MAG, rozdíl je v typu přídavného materiálu, kterým není plný drát, ale drát plněný, někdy nazývaný jako trubičkový. V procesu svařování se plněný drát liší od plného drátu vedením proudu v průřezu. Přenos proudu probíhá pouze v prstencovém průřezu vnějšího pláště, a nikoliv ve výplni drátu. Ta naopak pro proud tvoří značný odpor, a z toho důvodu je proud veden jen v kovovém plášti. Tento efekt zvyšuje proudovou hustotu plněného drátu a tím na kapky kovu působí daleko větší intenzita elektromagnetické síly než u drátu plného. Vyšší proudová hustota ovlivňuje také elektrický oblouk, a proto je přenos kovu realizován sprchovým bezrozstříkovým přenosem, kdy se odtavují jemné kapičky kovu. Jelikož se kov odtavuje z vnějšího pláště elektrody, je elektrický oblouk širší oproti elektrodě s plným drátem a tím můžeme dosáhnout hlubšího závaru. Oblouk tak i zmenšuje nebezpečí studených spojů a také taví plochy úkosů.

Plněná elektroda neboli trubičkový drát je vždy plněný příslušným kovovým práškem, či slitinami. Dále mohou být do náplně přidávány různé chemickými přísady, či různé stabilizátory.



Obrázek 3 - MCAW svařování, 1 - Detail plněného drátu, 2 - Ochranný plyn protékající hubicí [5]

Použití metody svařování plněnou elektrodou kovovým práškem přináší nepochybné výhody pro svařovací proces. Jednou z výhod je vyšší produktivita oproti jiným svařovacím materiálům. Například u drátové elektrody plněné kovovým práškem o průměru 1,2 mm jsme schopni dosahovat produktivity kolem 5,4-6,4 kg/h. S plným svařovacím drátem také o průměru 1,2 mm metodou MIG dosáhneme produktivity jen 3,6-4,5 kg/h. Tato vyšší produktivita se pojí zejména s účinností odtavení. Účinností odtavení rozumíme poměr hmotnosti naneseného svarového kovu ku hmotnosti spotřebované elektrody při vyhotovení svaru. Vyšší účinnost odtavení spotřebního materiálu znamená nižší množství vyplývaného svařovacího materiálu. Elektrody plněné kovovým práškem disponují nízkým rozstříkem a nízkým objemem strusky díky vlastnostem oblouku. Mají tak účinnost odtavení kolem 92–98 % v případě sprchového přenosu a použití směsi ochranného plynu s vysokým obsahem argonu. Změna režimu přenosu či změna ochranného plynu má na účinnost odtavení podstatný vliv. Vyšší účinnost odtavení umožňuje použití vyšších rychlostí posuvu drátu, a to vede při správném použití ke zvýšení produktivity a tím i k úsporám nákladů. Další výhodou MCAW je možnost svařování při vysokých proudech bez propalu. [8;9;10]

4 SVAŘITELNOST

Svařitelnost kovu lze definovat jako schopnost kovu vytvořit kvalitní svarový spoj. Je to komplexní charakteristika materiálu. Svařitelnost můžeme chápat jako metalurgickou, technologickou, nebo konstrukční.

Metalurgická svařitelnost závisí především na chemickém složení, které udává chování svarové lázně a sklon k tvorbě trhlin či ke stárnutí. Dále závisí na způsobu výroby materiálu jako je lití či tváření a také na tepelném zpracování materiálu. Metalurgická svařitelnost tedy popisuje, jak se vlastnosti kovu mění v TOO vlivem působení teplotního cyklu svařování.

Technologická svařitelnost je dána metodou svařování, použitých parametrech svařování, přídatným materiálem a postupem svařování. Vyjadřuje tak účinek použité technologie svařování na vlastnosti svarového spoje.

Konstrukční svařitelnost posuzuje působení a vliv konstrukčního řešení svarového spoje pro určité podmínky. Je dána tloušťkou materiálu, tvarem, velikostí a počtem svarů. Dalšími faktory jsou tuhost spoje a jejich rozložení v závislosti na namáhání.

Dnes hodnocení svařitelnosti vychází dle normy ČSN 05 1309 ze dvou ukazatelů. Jedním je ukazatel celistvosti svarového spoje. Ten charakterizuje především odolnost proti vzniku trhlin za studena a dalších nepřipustných vad. Druhý je ukazatel mechanických vlastností svarových spojů, který charakterizuje jednotlivé mechanické vlastnosti a jejich změny v důsledku svařování. [2;6;12]

4.1 Svařitelnost uhlíkových ocelí

U uhlíkových ocelí jsou jejich základní vlastnosti dány především obsahem uhlíku. Jeho obsah se pohybuje v rozmezí od velmi nízkých obsahů až po obsah 1,7 hm.%. Obsah nad 1,3 hm.% je však vzácný. Nejmenší míru obsahu u těchto ocelí požadujeme u prvků fosforu a síry, které mají negativní vliv na vlastnosti oceli.

Obsahy prvků C, Mn, Si, P, Cr, Cu, Ni a jejich změny v oceli mění skoro lineárně mechanické vlastnosti jako je mez pevnosti a mez kluzu. Největší vliv má samozřejmě uhlík. Z jeho navyšujícím se obsahem roste mez kluzu, pevnosti i tvrdost. Ocel však ztrácí své plastické vlastnosti. Mangan nemá tak výrazný vliv, ale také zvyšuje mez pevnosti a kluzu. Obsah Fosforu se omezuje na maximální obsah 0,03 hm.%, způsobuje totiž zkřehnutí zastudena, které vede ke křehkým lomům a snížení vrubové houževnatosti.

U nelegovaných ocelí a jejich svařování musíme myslet na to, že v TOO uhlík může způsobit zvýšení tvrdosti a tím tedy současně snížit plasticitu. To způsobuje vznik vnitřního pnutí, které může vést k prasklinám. Dovolená maximální tvrdost v TOO je 350 HV. Tato tvrdost je dosažena při 50 hm.% obsahu martenzitu ve struktuře při obsahu uhlíku 0,25hm.%.

U Oceli s obsahem uhlíku $C < 0,25$ hm.% není potřeba zajištění podmínek a opatření jako je předeheřev. U ocelí s obsahem $C > 0,25$ hm.%, už se předeheřev vyžaduje, aby svaření proběhlo bez prasklin.

Obdobný účinek jako aplikace předeheřevu má svařování s vysokým tepelným příkonem. Ten více ohřívá okolí svaru, a to vede k pomalejšímu ochlazování. Pro vysoký tepelný výkon se používají elektrody větších průměrů nebo technologie, které větší tepelný příkon umožňují. [2;6]

4.2 Uhlíkový ekvivalent

Jedno z hledisek posouzení svažitelnosti jako komplexní charakteristiky pro nelegované, nízkolegované, střednělegované tvářené oceli a oceli na odlitky je stanovení uhlíkového ekvivalentu. Výpočet uhlíkového ekvivalentu zahrnuje vliv chemických prvků jako je Mn, Cr, V, Mo, Ni, Cu a vyjadřuje tak v poměru jejich účinek v porovnání vzhledem k uhlíku. Pro výpočet uhlíkového ekvivalentu se používá několik vzorců.

Mezinárodní svářečský institut (IIW) uvádí vzorec pro výpočet uhlíkového ekvivalentu C_e :

$$C_e = C + \frac{Mn}{6} + \frac{Cr + Mo + V}{5} + \frac{Ni + Cu}{15} [\%]$$

Vzorec je určen pro oceli s obsahem $C > 0,18$ hm.%. Tabulka uvádí odpovídající hodnoty pro různé tloušťky, které lze svařovat bez předeheřevu:

Tabulka 1 - Hodnoty C_e pro tloušťky materiálu [2]

Tloušťka [mm]	do 4	6,5	25	50
C_e [hm.%]	0,45	0,4	0,35	0,3

Uhlíkový ekvivalent lze určit také dle normy ČSN EN 1011 dvěma způsoby. Buďto dle metod AC.2 nebo metody BC.3. Při využití těchto metod je kladen důraz zejména na potlačení vodíkového praskání, jehož následkem je vznik trhlin za studena. Vzorec AC.2 je

shodný se vzorcem IIW. Často se také používá vzorec dle metody BC.3, který označuje uhlíkový ekvivalent jako CET a vypadá následovně:

$$CET = C + \frac{Mn + Mo}{10} + \frac{Cr + Cu}{20} + \frac{Ni}{40} [hm \ %]$$

Tato metoda zdůrazňuje obsah uhlíku, difuzního uhlíku a reálnou tloušťku a je stanovena pro výpočet svařovacích parametrů pro jemnozrnné oceli. Z CET vychází také výpočty teploty předehřevu s ohledem na účinek mikrolegujících prvků V, Nb, Ti, Ta, Zr a Al. Teplotou předehřevu je řízena ochlazovací doba $t_{8/5}$, dle které vzniká struktura v teplotně ovlivněné oblasti svarového spoje. [2;6;7;12]

4.3 Doba ochlazování a předehřev

Důležitým faktorem při svařování uhlíkových ocelí je rychlost ochlazování v tepelně ovlivněné oblasti, která závisí především na množství dodaného tepla. Důležitým ukazatelem v tomto směru je pro nás parametr $t_{8/5}$ vyjadřující teplotně časový cyklus. Tento parametr představuje dobu ochlazení spoje z teploty 800 °C na teplotu 500°C. Dle toho parametru lze posoudit přítomnost zakalené křehké struktury. Dochází k tzv. transformační zkřehnutí struktury v TOO, které je náchylné a vede k vzniku trhlin za studena. Toto zkřehnutí je dáno zejména chemickým složením oceli a pak také svařovacím cyklem. Náchylnost ke vzniku trhlin za studena z pohledu chemického složení lze vyjádřit uhlíkovým ekvivalentem, jak je uvedeno v předešlé kapitole. Průběh $t_{8/5}$ lze ovlivnit změnou svařovacích parametrů nebo použitím předehřevu.

Pokud je doba ochlazování příliš krátká, dochází poté k vytvrzení a zkřehnutí struktury. Předehřev by měl zajistit snížení rychlosti ochlazování v TOO a také napomocť k difúzi vodíku ze svarového spoje, která je závislá na teplotě. Teplota předehřevu vychází z uhlíkového ekvivalentu a tloušťky materiálu. Pro uhlíkové nízkolegované oceli s $C > 0,1 \ %$ lze předehřev stanovit z výpočtu dle Séferiána:

$$Tp = 350 \sqrt{C_p - 0,25} [^{\circ}C]$$

$$C_p = C_c + C_s$$

$$C_c = \frac{360C + 40(Mn + Cr) + 20 Ni + 28Mo}{360}$$

$$C_s = 0,005 \cdot s \cdot C_s$$

C_c ve výpočtu značí uhlíkový ekvivalent pro výpočet teploty předehřevu, C_s je uhlíkový ekvivalent s vlivem tloušťky, s je tloušťka materiálu. Existují však i další způsoby výpočtu předehřevu. [2;6]

Aplikace předehřevu lze do určité míry nahradit svařováním s vyšším tepelným příkonem, který ohřívá TOO a to má za následek pomalejší ochlazování. Vyššího tepelného příkonu, kde není zapotřebí předehřevu, se ve firmě Schäfer-Menk využívá především u robotického svařování. Ve většině případů je určení svařování s předehřevem nebo bez s dostatečným tepelným příkonem řízeno směrnicemi pro svařování, které udává zákazník, pro kterého jsou díly vyráběny. Příkladem je tabulka z interní směrnice pro svařování, která uvádí pro určité materiály předehřevy pro daný tepelný příkon u koutových svarů dle určité tloušťky:

Tabulka 2 - Předehřevy pro tepelný příkon u koutových svarů [25]

Blech- dícce	Vorwärmung: vor und während der Schweißung				
	200°C	150°C	120°C	100°C	20°C
6					0,55-0,75
8				0,65-0,85	0,7-0,95
10			0,7-1,0	0,7-1,0	0,9-1,3
12		0,8-1,1	0,8-1,2	0,9-1,3	1,0-1,5
14	0,8-1,1	0,9-1,3	0,95-1,35	1,0-1,4	1,3-1,75
15	0,9-1,2	0,9-1,4	1,0-1,5	1,1-1,6	1,3-1,9
16	0,9-1,3	1,0-1,4	1,1-1,6	1,2-1,7	1,4-2,0
18	0,9-1,4	1,1-1,7	1,2-1,8	1,3-1,9	1,6-2,2
20	0,9-1,6	1,1-1,8	1,3-2,0	1,3-2,1	1,6-2,5
25	0,9-1,9	1,1-2,3	1,3-2,5	1,3-2,6	1,6-3,1
30	0,9-1,9	1,1-2,3	1,3-2,5	1,3-2,7	1,6-3,4
35	0,9-1,9	1,1-2,3	1,3-2,5	1,3-2,7	1,6-3,4
40	0,9-1,9	1,1-2,3	1,3-2,5	1,3-2,7	1,6-3,4
50	0,9-1,9	1,1-2,3	1,3-2,5	1,3-2,7	1,6-3,4
>50	0,9-1,9	1,1-2,30	1,3-2,5	1,3-2,7	1,6-3,4

V případě robotického svařování se pohybujeme s tepelným příkonem ve většině v posledním sloupečku, kde je vyžadována teplota předehřevu 20 °C, což je v normálních podmínkách na výrobní hale.

4.4 Svařitelnost jemnozrnných ocelí

U nelegovaných konstrukčních ocelí vyplívají mechanické vlastnosti zejména z obsahu uhlíku a manganu. U těchto ocelí dochází ke zpevnění především intercticiálním a substitučním mechanismem. Je zde ale i jiná možnost, jak zvýšit mez kluzu či pevnosti u nelegovaných konstrukčních ocelí, a to i s uchováním dobré houževnatosti a potlačením nepříznivého vlivu uhlíku na svařitelnost. Jde o takzvané dolegování materiálu opravdu malými obsahy vybraných prvků jako jsou hliník, titan, niob a vanad. Tyto prvky v malém množství nazýváme mikrolegury. Jejich příznivé působení umožňuje vznik jemnozrnné struktury. Další příznivou věcí je jejich vazba formou precipitačního zpevnění na uhlík a dusík. To zvyšuje pevnostní vlastnosti materiálu. Všechny uvedené prvky vytváří s uhlíkem a dusíkem nitridy, karbidy nebo karbonitridy.

Jemnozrnné oceli se nejvíce vyrábí řízeným válcováním, které je dále kombinované s tepelným zpracováním, které ještě více vyzdvihuje vliv mikrolegur na vlastnosti materiálu. Mikrolegury jsou v materiálu obsažené opravdu v malém množství a mají dané své limity. Vytváření vazeb uhlíku na karbidy a karbonitridy má za následek snižování hodnot uhlíkového ekvivalentu. Zlepšuje tedy svařitelnost.

Jemnozrnné oceli mají velmi podobné chemické ložení jako nelegované uhlíkové konstrukční oceli, tudíž pro ně platí stejné obecné zásady svařitelnosti s malými odlišnostmi. U jemnozrnných ocelí při svařování lze očekávat nárůst velikosti zrn v tepelně ovlivněné oblasti. To způsobuje pokles plastických vlastností v této oblasti. Proto, pokud je to možné, svařujeme tyto oceli často svařují bez předehřevu nebo pokud je to nutné, tak se volí předehřev v rozmezí 100 až 150°C. [2]

5 ROZBOR VYRÁBĚNÉHO DÍLU

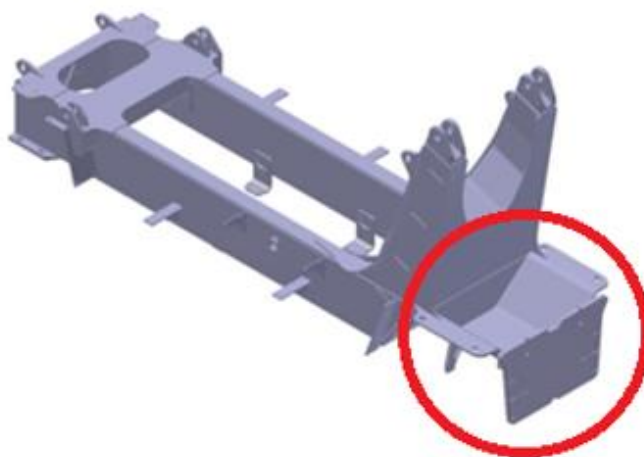
Tato kapitola je věnována celkovému rozboru dílu, jehož přípravou pro robotické svařování se tato práce zabývá. Postupně bude popsáno, jaká je funkce dílu, jeho konstrukce a jednotlivé části, základní materiál a přídavný materiál.

Nutné je zmínit, že firma Schäfer – Menk stará o výrobu dílu. Návrh a konstrukci dílu si provádí samotný zákazník, kterým je v tomto případě firma Cargotec. Zákazník zasílá kompletní výrobní dokumentaci a požadavky k výrobě. V Schäfer – Menk je poté díl dle požadavků vyroben. Originální výkresy zákazníka se nesmí zveřejňovat, z toho důvodu jsou v rozboru užití mnou upravené výrobní výkresy, které zachovávají klíčové informace.

Svařovaný díl, který budu popisovat, má pracovní název vana. V následujících kapitolách se tak můžete setkat s tímto označením. V kontextu je pro díl také používané označení svařenec.

5.1 Popis konstrukce součásti

Vana je součástí konstrukce rámu kontejnerového překladače. Nachází v zadní části rámu (obrázek 4) a slouží jako protizávaží k vyvážení sil při zatížení zdvihacího ramene překladače.



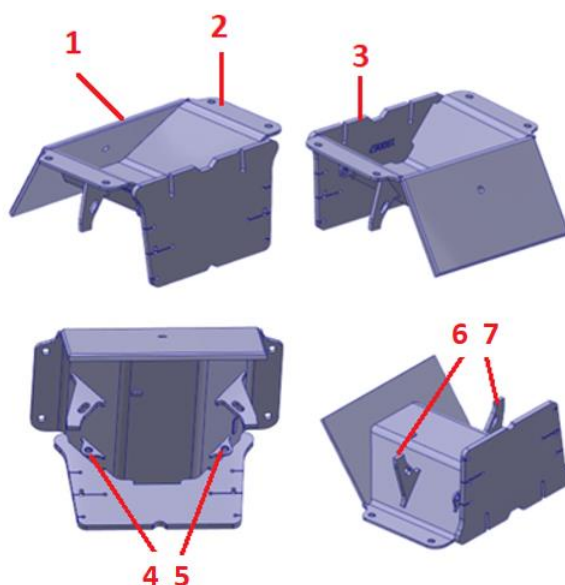
Obrázek 4 – Vana na rámu překladače

Do vany je vkládán betonový blok, který se právě o částečné vyvážení stará. Kontejnerové překladače (obrázek 5) se používají k nakládání, manipulaci a transportu především velkých přepravních kontejnerů, které se v dnešní době velmi hojně využívají v lodní, železniční i silniční dopravě.



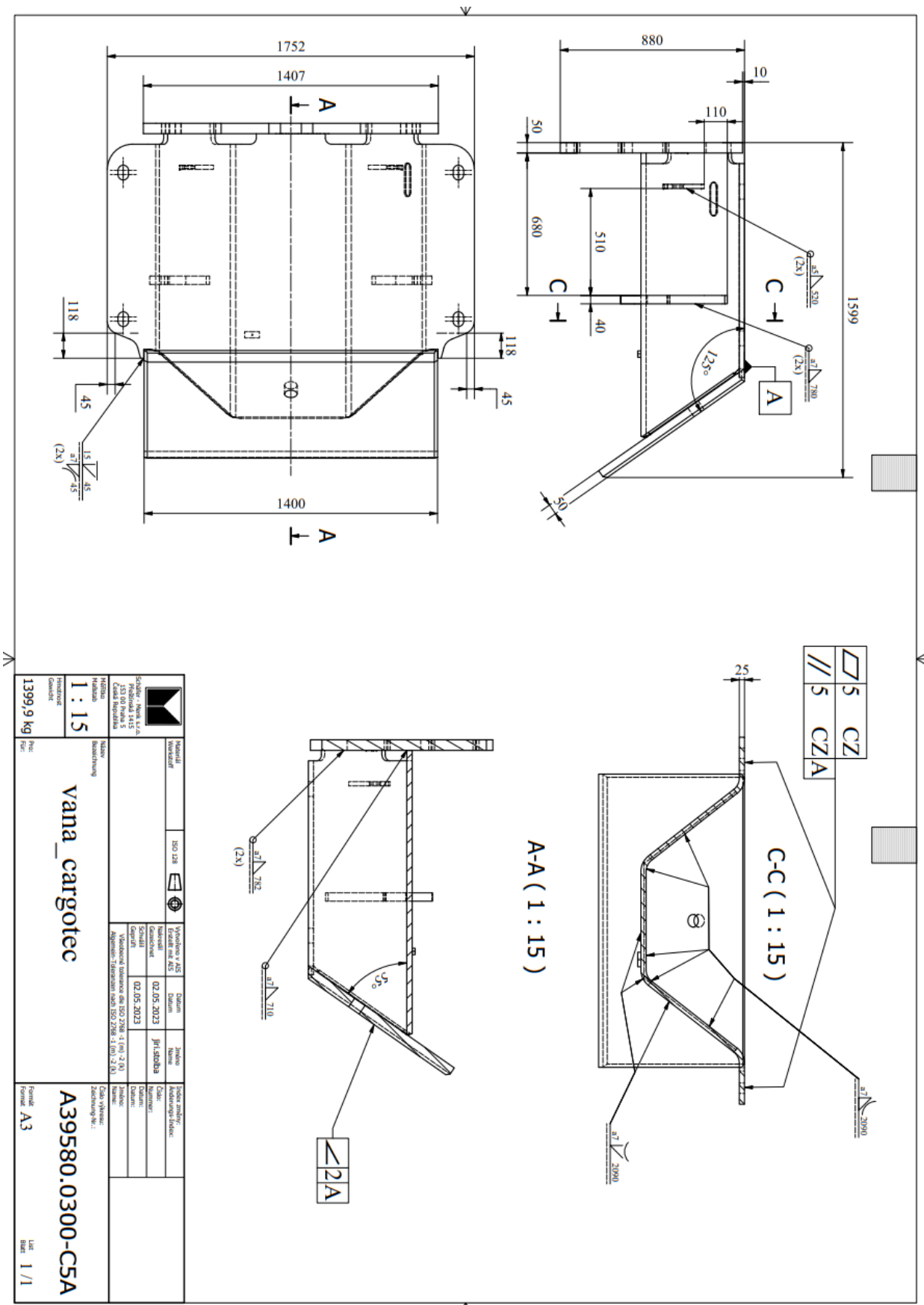
Obrázek 5 - Kontejnerový překladač Cargotec [27]

Pro jasnou vizualizaci je model vany z různých pohledů zobrazen na obrázku 6. Na modelu jsou také číselně označeny jednotlivé díly vany. Celkem se vana skládá ze sedmi dílů, tří velkých očíslovaných 1-3 a čtyř menších očíslovaných 4-7. Všechny díly vany se vypalují ve firmě na palicích zařízení z plechů o příslušné tloušťce a materiálu. Velké díly čísla 1 a 3 mají tloušťku 50 mm. Plech číslo 2, který vytváří hloubku vany a je následně po vypálení ještě ohýbán na ohraňovacích lisech, má tloušťku 25 mm. Malé díly tvoří chyty z vnější strany vany. Díly 4 a 5 jsou tloušťky 25 mm a díly 6,7 tloušťky 50 mm.



Obrázek 6 - Očíslovaný model vany

Vana je poměrně velký svařenec a váží téměř 1400 Kg. Pokud svařenec vezmeme v pozici uložení na rámu jeho rozměry jsou 1752 x 880 x 1599 mm (šířka x výška x délka). Všechny výše zmíněné rozměry jsou uvedeny v upraveném výrobním výkrese (obrázek 7). Na výrobním výkrese jsou dále také kótovány jednotlivé svary a celkem jich je třináct. Jedná se koutové svar a půl-V svary. Jejich analýza je bude vytvořena v samostatné kapitole. Celková přesnost svařence je souhrn přesnosti výpalků, přesnosti ohraňování, přesnosti montážních přípravků a odladění svářečských postupů.



Obrázek 7 - Výrobní výkres svařence

5.2 Základní materiál – S355J2+N

Jako základní materiál celého rámu překladače se používají nelegované konstrukční oceli o hodnotách meze kluzu 355MPa v různých jakostech. Pro vanu se používá nelegované konstrukční ocel S355J2+N.

Ocel S355J2+N značená dle ČNS EN 10027-1 spadá do normy ČSN EN 10025-2. Jedná se tedy o nelegovanou konstrukční ocel za tepla válcovanou.

Je to konstrukční ocel se zaručenou mezi kluzu 355MPa při teplotě 20°C. Značka „J2“ udává jakostní stupeň oceli a značí, že se jedná o ocel s hodnotou nárazové práce 27 J při teplotě -20°C. Přídavný symbol „+N“ znamená, že je materiál normalizačně válcován nebo žíhán. Normalizační válcování představuje proces, během kterého dochází v průběhu válcování v daném teplotním rozmezí ke konečné deformaci materiálu. Tento proces vede ke vzniku materiálového stavu, jenž odpovídá stavu dosažené po normalizačním žíhání.

Chemické složení oceli je uvedeno v tabulce.

Tabulka 3 - Chemické složení dle ČSN EN 10025-2 [7]

Vybrané nelegované konstrukční oceli válcované za tepla o hodnotách meze kluzu 235, 355 a 450 MPa v jakosti pro svařované konstrukce, uvedené v ČSN EN 10025-2						
Označení podle	Označení podle	C (hmot.% pro t (mm)	Si (hmot.% max.	Mn (hmot.% max.	N (hmot.% max.	CEV - CE (hmot.% t ≤40 mm
EN 10027-1	EN 10027-2	> 16 ≤ 40				
S235J2+N	1.0117	0,19	0,35	1,50	0,014	0,40
S275J2+N	1.0145	0,21	0,35	1,60	-	0,44
S355J2+N	1.0577	0,23	0,60	1,70	-	0,49
S355K2+N	1.0596	0,23	0,60	1,70	-	0,49
S450J0+N	1.0590	0,23	0,60	1,80	0,027	0,51

Mezi technologické vlastnosti této oceli patří zejména vhodnost ke svařování všemi obvyklými metodami svařování. S rostoucí tloušťkou materiálu, roste také uhlíkový ekvivalent a tím tedy vzrůstá riziko praskání za studena. Musí se tak dbát na doporučení ustanovující podmínky svařování. Uhlíkový ekvivalent u ocelí dle ČSN EN 10025-2 se počítá dle metody AC.2. Hodnotu uhlíkového ekvivalentu CE (CEV) oceli S355J2+N lze vidět v také v tabulce 3. Ocel je vhodná pro běžné svařované konstrukce, které jsou zařazeny do skupin C a D dle ČSN EN 5817. Po svaření lze konstrukce žíhat do teplot 650 °C ke snížení zbytkového pnutí. Základní mechanické vlastnosti oceli S355J2+N jsou uvedeny v tabulce 4. [7;14;15]

Tabulka 4 - Mechanické vlastnosti oceli S355J2+N

Minimální mez kluzu	335 MPa
Pevnost v tahu	470–630 MPa
Minimální tažnost	21 %
Minimální nárazová práce	27 J při -20°C

5.3 Přídavný materiál – Coreweld 46 LS

Přídavný materiál pro svařování vany se využívá ve formě elektrody plněné kovovým práškem. Jedná se o přídavný materiál Coreweld 46 LS označení T 46 M M 2 H5 dle ČSN EN ISO 17632. Materiál je dodáván od firmy ESAB.

Je to plněná elektroda kovovým práškem pro svařování nelegovaných nebo jemnozrnných ocelí, která vytváří povrch bez silikonových ostrůvků. Je vhodná pro ruční i robotické svařování. Používá se drát o průměru 1,6 mm a ochranný plyn pro tento materiál dle EN ISO 14175 je M20, M21. Ve firmě se používá M 20, který má složení 15 % CO₂ a 85% Ar (ČSN EN ISO 14175 – Corgon). Obsah difuzního uhlíku je <4 ml/ 100 g. Typické chemické složení čistého svaru je 0,08 % C, 0,60 % Si a 1,30 Mn %. Pro ověření chemického složení dodávky přídavného materiálu vystavuje výrobce protokol a provedeném atestu, kde je uváděno přesné chemické složení a mechanické vlastnosti (obrázek 8). [11]

VÝROBEK/PRODUCT Značka/Brand: ESAB Popis/Desc: Coreweld 46 LS 1.6mm 225kg Číslo výrobku/Item no: 35LS169310 Množství/Quantity: 450 KGM		CHEMICKÁ ANALÝZA/CHEMICAL ANALYSIS All weld metal Shielding Gas: M20 (EN ISO 14175)	
KLASIFIKACE/CLASSIFICATIONS SFA/AWS A5.18: E70C-6M H4 EN ISO 17632-A: T 46 4 M M20 2 H5 EN ISO 17632-A: T 46 4 M M21 2 H5		C	0.04%
		Si	0.63%
		Mn	1.25%
		P	0.011%
		S	0.014%
		Cr	0.03%
		Ni	0.35%
		Mo	0.01%
		Nb	0.01%
		Cu	0.01%
		V	0.01%
MECHANICKÉ VLASTNOSTI/MECHANICAL PROPS			
Tensile			
Standard	Shielding Gas	Condition	Rp0.2 [MPa/ksi] Rm [MPa/ksi] A5 [%]
EN ISO	M20 (EN ISO 14175)	As Welded	485/70 545/79 29
Impact			
Standard	Shielding Gas	Condition	Temp [°C/°F] KV[J/ft-lb]
EN ISO	M20 (EN ISO 14175)	As Welded	-40/-40 72/53
		A4, A5 = Elongation ReH = Upper Yield Point ReL = Lower Yield Point Rm = Ultimate Tensile Strength (UTS) Rp0.2 = Yield Strength 0.2 offset Rp1.0 = Yield Strength 1.0 offset	

Obrázek 8 - Test report chemického složení a mechanických vlastností drátu [25]

6 DOSAVADNÍ STAV SVAŘOVÁNÍ SOUČÁSTI

Dosud se vana ve firmě svařovala ručním poloautomatickým svařováním metodou 138. Používá se přídatný materiál T 46 4 M M 2 H5 s průměrem drátu 1,6 mm. Svařuje se podle příslušných WPS. Ty uvádí, že svařuje s předehřevem a to minimálně 120 °C pro tloušťky materiálu $t > 30$.

Pro složení dílů svařence a následné svaření se užívá svařovacích přípravků. Jelikož se jedná o vcelku velký a těžký svařenec manipulace s díly na svařovacím pracovišti probíhá za pomoci jeřábové techniky. [25]

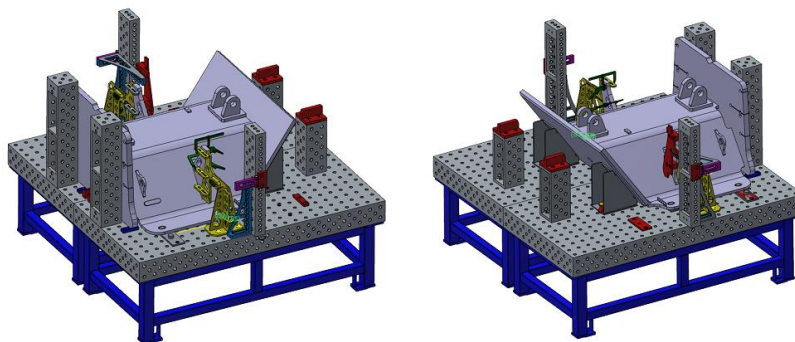
6.1 Přípravky pro svařování

Ve firmě se svařovacími přípravky zabývá oddělení konstrukce, které navrhuje přípravky a šablony pro různé svařence, tak aby bylo ve výrobě docíleno správného a přesného svaření jednotlivých částí a také aby zjednodušili práci svářečům.

Jako základ se však používají přípravky pro svařování od firmy Demmeler a Sigmund. Požívají se především jejich svařovací stoly, do kterých se dále díky jejich konstrukci dají skládat a navrhovat další přípravky a komponenty. Svařovací přípravky se dají rozdělit na více typů: přípravky stehovací, svařovací a upevňovací.

Vana je rozměrově velký a geometricky složitější svařenec. Z toho důvodu je nutné použití stehovacích přípravků, kde jsou nejdříve jednotlivé díly k sobě postehovány, až poté se dále svařují. U stehovacích přípravků se klade důraz především na přesnost sestavení. Měly by zamezit nesprávnému sestavení a zajistit přesnost svařence. Naopak úkolem svařovací přípravků je zejména eliminace deformace, a proto konstrukce musí být dostatečně tuhá.

Při poloautomatickém svařování vany se používají oba typy těchto přípravků. Ukázka modelu stehovacího přípravku je na obrázku 9. [13;25]



Obrázek 9 - Stehovací přípravky pro vanu [25]

6.2 Návodka postupu svařování

Ve firmě Schäfer-Menk pro postup svařování určité součásti vytváří tzv. návodky. Tato kapitola je věnována obsahu návodky pro svařování vany. Návodka je vytvářena pro svářeče a montéry, kteří se dle ní mají řídit. [25]

6.2.1 Kontrola dílů

Před založením do přípravku musí montér zkontrolovat povrchovou korozi všech plechů, kterou kontroluje dle příslušné návodky. Dále také kontroluje vzhled řezů po pálení plechů. Povrch řezů musí být bezvrubový a případně malé vruby je nutné rozbrousit. Déle při montáži je nutné srazit hrany na kterých jsou okraje. [25]

6.2.2 Všeobecná pravidla postupu svařování

Pro svařování jsou předepsaná všeobecná pravidla, kterými by se měl svářeč řídit, pokud není stanoveno jinak.

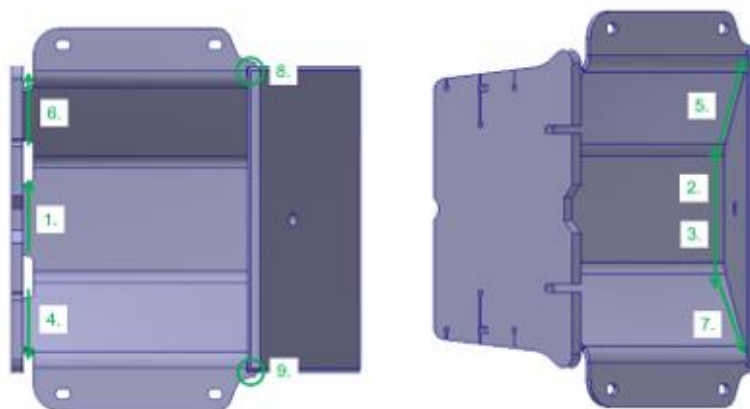
Všeobecná pravidla:

- Před začátkem svařování kontrola teploty přehřevu (termokřídou)
- Před začátkem svařování kontrola teploty interpass (mezihousenková)
- Nejprve svařit kořenové a poté krycí vrstvy
- Nejprve svařit tupé a poté koutové svary
- Nejprve příčné a poté podélné svary
- Svarové housenky tahat směrem od těžiště svařence
- V případě symetrických svarů, nejprve svařit svar na obou stranách produktu a pak pokračovat na další v pořadí
- Nekončit svary v rohu
- V případě problémů ihned volat mistra nebo IWE
- Svařovat v polohách PA a PB,[25]

6.2.3 Postup svařování

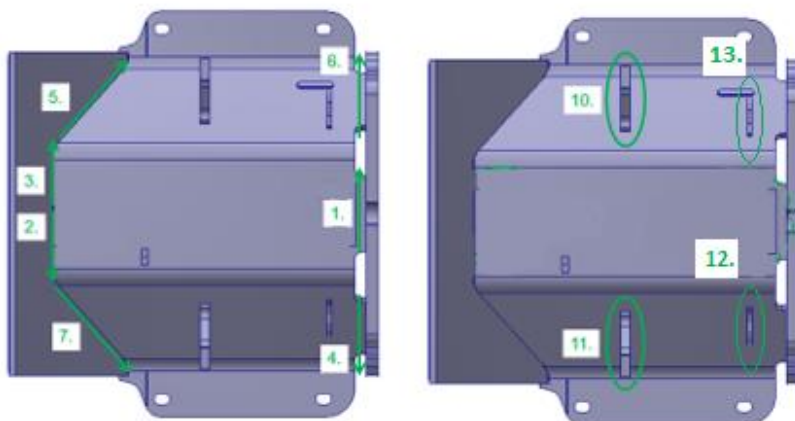
Postup svařování jednotlivých svarů zobrazuje schéma na obrázku 10.

1



Č. svaru	Typ svaru	Svař. drát	WPS	Poznámka
1.-7.		COREWELD 46 LS	355 M WPS 304-3	
8.-9.		COREWELD 46 LS	355 M WPS 309-1 355 M WPS 112	

2



Č. svaru	Typ svaru	Svař. drát	WPS	Poznámka
1., 4., 6., 10., 11.		COREWELD 46 LS	355 M WPS 304-3	
2., 3., 5., 7.		COREWELD 46 LS	355 M WPS 309-1	
12., 13.		COREWELD 46 LS	355 M WPS 303-8	

Obrázek 10 - Schéma postupu svařování [25]

7 ANALÝZA SVAŘENCE PRO ROBOTICKÉ SVAŘOVÁNÍ

V této kapitole provedu analýzu jednotlivých svarů, které jsou předepsané na výrobním výkrese z hlediska technologičnosti konstrukce svařence pro robotického svařování. Tato analýza byla provedena po odborné konzultaci se svářecím technologem a programátorem.

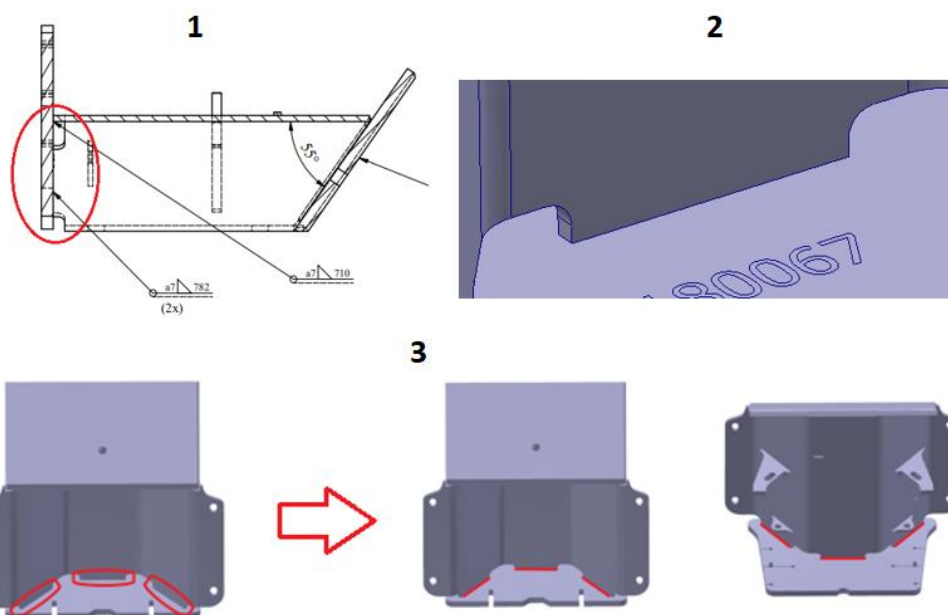
U robotického svařování, kde je již geometrie svařence pevně daná, je potřeba analyzovat a posuzovat svary z hlediska jejich přístupnosti, délky, geometrie a postupu svařování. U robotického svařování se obvykle vyhýbáme komplikovanému svařování přes rohy, svařování v těžko přístupných místech a také není výhodné svařovat jen krátké svary. Z těchto důvodů se některé svary či části svarů na robotu nesvařují nebo svařovat nedají, a proto je v těchto případech po ukončení svařování robotem potřeba operace takzvaného dovařování, kdy jsou poloautomatickým svařování tyto zbylé svary vyhotoveny. [26]

7.1 Analýza jednotlivých svarů

Celkem je na výrobním výkrese předepsáno třináct svarů, z toho je sedm obvodových koutových, tři koutové a tři půl V svary. Postupně z analyzuji všechny jednotlivé svary.

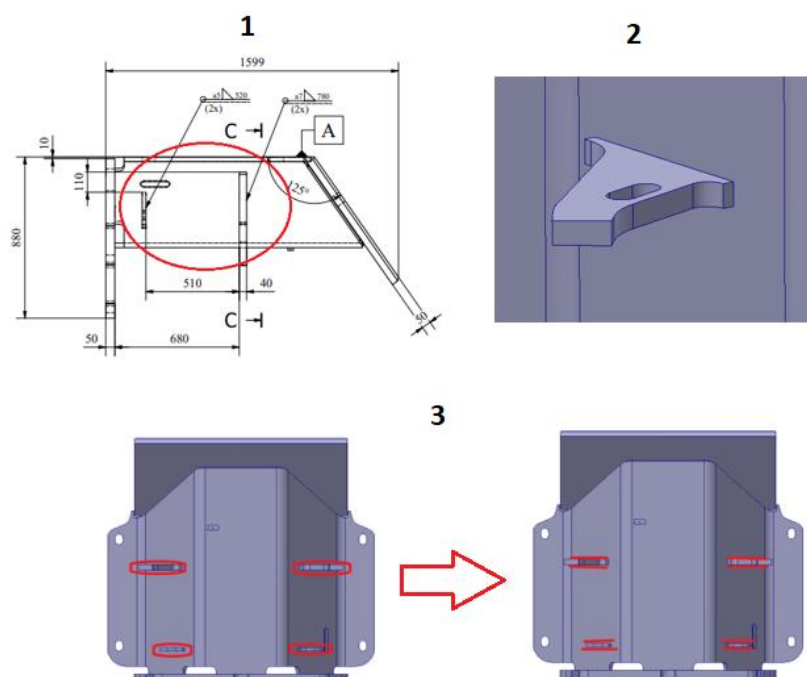
Na obrázku 11 jsou vidět tři totožné obvodové koutové svary, které spojují rovnou desku s deskou tvořící hloubku vany. Svařované místo je na obrázku 11 vidět i v detailu. U těchto svarů jsou problémovým úsekem rohy a kratší strany svařovaného obdélníkového obvodu. Problém je především v přístupnosti k místu svaru, které brání geometrie a konstrukce vany a pro svařovací hubici robotického ramena by byla velmi složitá. S tím je spojena i technologická náročnost vyhotovení svaru v tomto místě, což by mohlo mít negativní vliv na kvalitu svaru.

Z toho to důvodu je výhodné a nutné rozdělit každý obvodový svar na dva segmenty, a to na dva lineární svary po delších stranách obvodu a vyhnout se tak složitým částem svaru. Rozdělení svarů je také zobrazeno na obrázku 11. Tyto zbylé části budou po ukončení robota dovařeny svářeči.



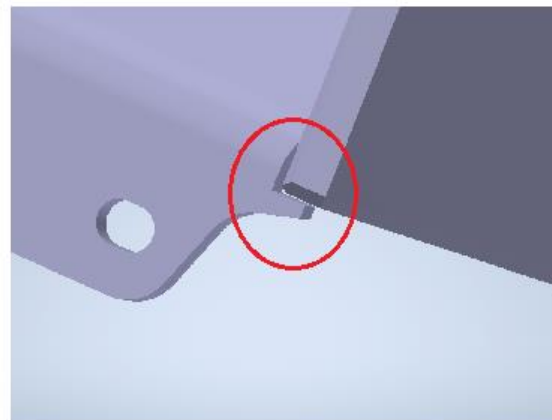
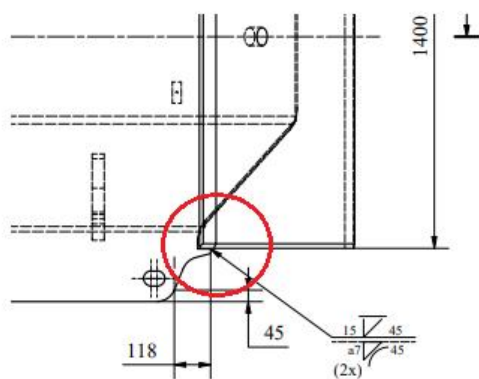
Obrázek 11 - Rozdělení obvodových svarů, 1- svary na výkrese, 2- detail svařovaného místa, 3 - rozdělení svaru na dva segmenty

Další čtyři obvodové koutové svary jsou předepsány pro svaření úchytů na vnější straně vany (obrázek 12). Tyto svary budou stejně jako v předchozím případě rozděleny na dva segmenty a svaření kratších stran přes rohy bude ponecháno k dovaření pro svářeče.



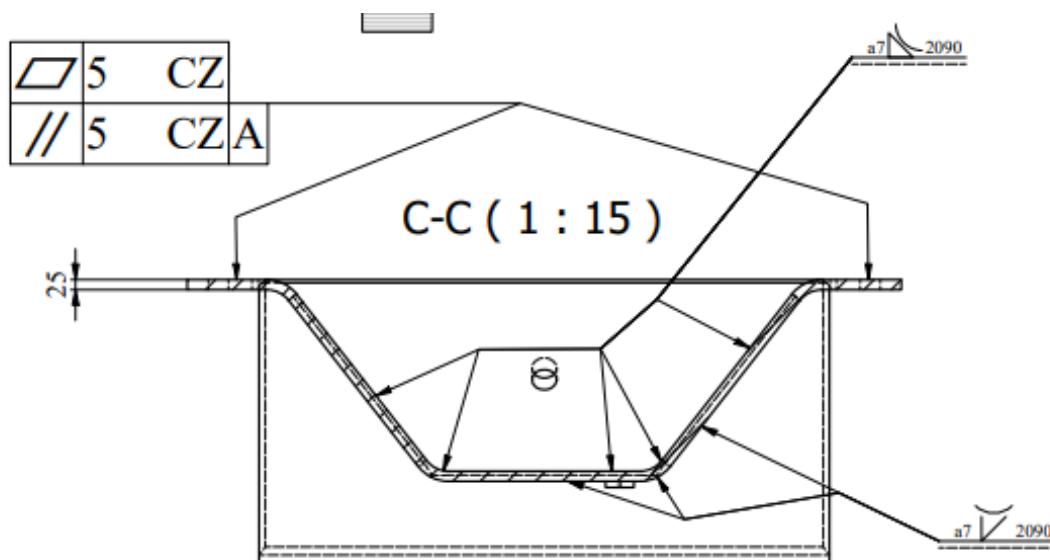
Obrázek 12 - Obvodové svary pro úchyty, 1 - svary na výkrese, 2 - detail místa svaru, 3 - rozdělení obvodového svaru na dva segmenty

Další svary jsou pro svaření rohů desek a jsou zobrazeny na obrázku 13. Svaření rohů bude celé realizováno ručním poloautomaticky až v operaci dovážení. Jedná se o krátký, geometricky a technologicky náročný svar, který je těžko přístupný. Z toho důvodů nabude na robotu svařován.



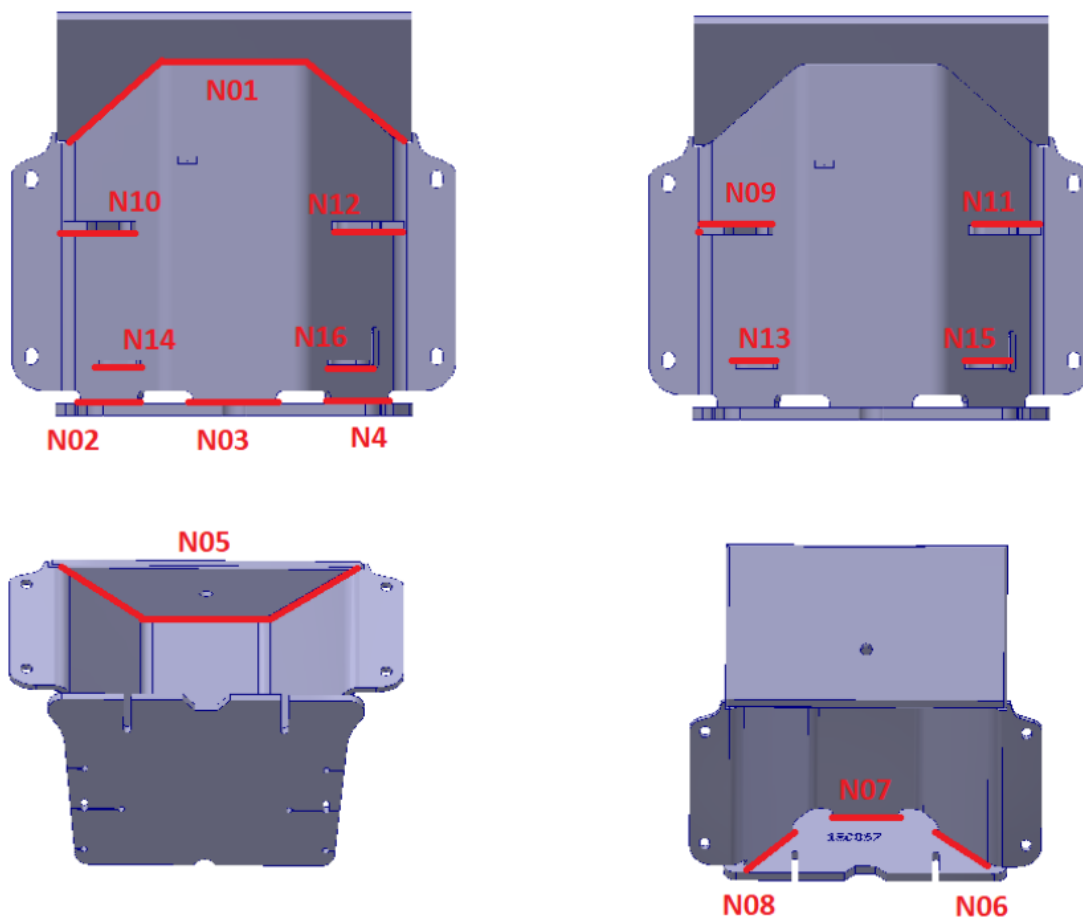
Obrázek 13 - Svary na rohu desek

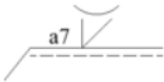
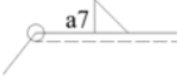

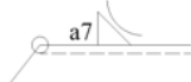
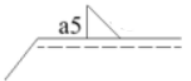
Poslední dva svary předepsané na výkresu jsou pro robotické svařování vhodné a budou na robotu vyhotoveny v plném rozsahu (obrázek 14).



Obrázek 14 - Svary na výkresu v hodné k robotickému svařování

Po analýze a úpravách jednotlivých svarů tak dostáváme svařenec o 16 svarech, které budou svařeny pomocí robota. Všechny svary jsou očíslovány na obrázku 15.



Číslo svaru	Typ svaru
N01	
N02,N03,N04,N06, N07,N08	
N09,N10,N11,N12	
N05	
N13,N14,N15,N16	

Obrázek 15 - Označení všech svarů pro robotické svařování

7.2 Zhodnocení vhodnosti svařence pro robotické svařování

Po analýze může přijít zhodnocení vhodnosti svařence pro robotické svařování. Po drobných úpravách a rozdělení obvodových svarů dostáváme na svařenci dobře přístupné delší lineární svary, které jsou pro robotické svařování vhodné a tyto svary tvoří 90% délky svarů z celku. Zbylé svary budou svařeny v operaci dovařování. V tomto typu výroby se většinou nevyhneme operacím dovařování po robotu. Je to dáno větší geometrickou složitostí svařenců a nemožností zasáhnout do konstrukce. Svařenec je tedy posouzen jako vhodný pro svařování na robotu a práce tak může pokračovat v dalším postupu.

7.3 Technologický postup

Po úpravě svarů na svařenci máme tedy celkem 16 svarů pro robotické svařování, které je potřeba svařit. Před vytvářením svařovacího programu off-line programováním, je potřeba vytvořit technologický postup po sobě jdoucích svarů. Postup byl vytvořen na základě zkušenosti z poloautomatické svařování vany a také s ohledem pro svařování robotem, tak aby nemuseli být realizovány zbytečné přejezdy a natáčení. Mezi jednotlivými svary jsou také zařazeny čistící úseky, kdy robot ve stanici čistí a chladí hubici. Toto čištění se zpravidla dává po delších svařovacích operacích. Postup je na obrázku 16, svary jsou značené dle obrázku 15. [26]

START		N01	VRSTVA
N07	KOŘEN	CLEANING	
N06	KOŘEN	N01	VRSTVA 2
N08	KOŘEN	CLEANING	
N05	KOŘEN	N09	KOŘEN
CLEANING		N13	KOŘEN
N03	KOŘEN	N11	KOŘEN
N02	KOŘEN	N15	KOŘEN
N04	KOŘEN	N09	VRSTVA
CLEANING		N11	VRSTVA
N01	KOŘEN	N10	KOŘEN
CLEANING		N14	KOŘEN
N07	VRSTVA	N10	VRSTVA
N06	VRSTVA	N12	KOŘEN
N08	VRSTVA	N16	KOŘEN
CLEANING		N12	VRSTVA
N05	VRSTVA	CLEANING	
CLEANING		N01	VRSTVA 3
N03	VRSTVA	CLEANING	
N02	VRSTVA	N01	VRSTVA 4
N04	VRSTVA	CLEANING	
CLEANING		END	

Obrázek 16 - Postup pro vyhotovení svarů

8 SVAŘOVÁČÍ ROBOTICKÉ PRACOVÍŠTĚ V SCHÄFER – MENK

Robotické svařovací pracoviště ve výrobním závodě v Radotíně, ve kterém se bude díl svařovat a bude zde provedena i předvýrobní pracovní zkouška, je vidět na obrázku 17.

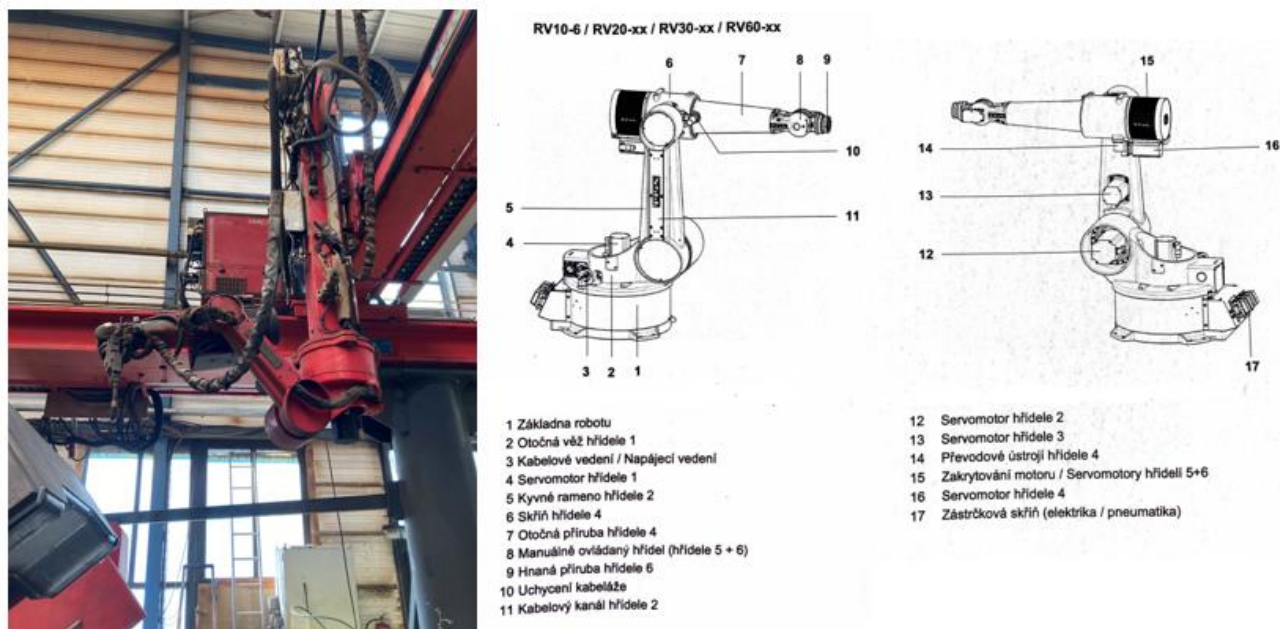


Obrázek 17 - Robotické svařovací pracoviště

Na robotickém pracovišti se nachází svařovací robot, který je uchycen na polohovacím portálu. Pod portálem je umístěno polohovadlo. Na jedné straně pracoviště je situována servisní stanice robota, kde probíhá chlazení, čištění a odmagnetizování hubice při svařování. Vedle servisní stanice se také nachází stanice pro výměnu svařovacích hubic. Dále je zde zařízený prostor pro obsluhu robota. Cele pracoviště je obklopeno bezpečnostní zástěnou. Při provozu robota je pracoviště uzavřené a hlídáno bezpečnostním snímačem. To znamená, že pokud se cokoliv dostane při provozu za bezpečnostní snímač, robot je okamžitě zastaven. Nad robotickým pracovištěm se nachází mostový jeřáb, který slouží k transportu a manipulaci se svařenci.

8.1 Svařovací robot

V Praze ve výrobním závodě v Radotíně se ve výrobě používá svařovací robot od společnosti Reis Robotic typu RV 20-16. Jedná se o robota s šestiosým ramenem, které umožňuje dosah až 1620 mm s opakovatelnou přesností 0,05 mm. Fotografie robota a popis jeho jednotlivých částí je na obrázku 18.



Obrázek 18 - Robot RV20-16 [25]

Maximální zatížení ramene je 16 Kg. Robotické rameno je navíc zabudováno na kartézském 3osém robotickém polohovacím portálu RLV03-1. Portál s robotem a jeho parametry jsou na obrázku 19.[17]

1-3-osý portál RLV03



Podélný zdvih: 1500 - 15000 mm
Příčný zdvih: 500 - 2000 mm
Vertikální zdvih: 1000 - 1500 mm

Obrázek 19 - Portál RLV03-1 [17]

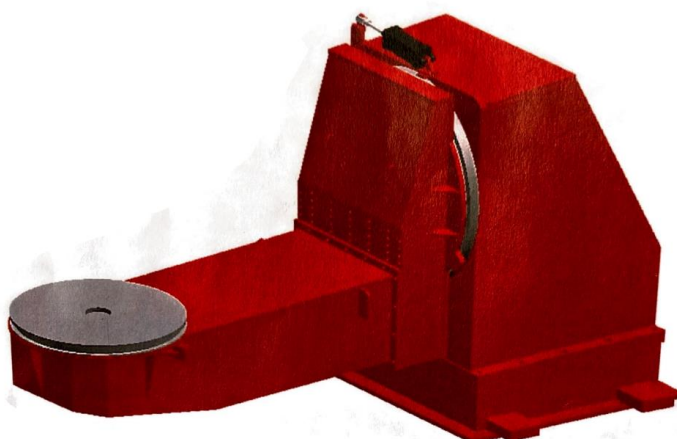
Robot je osazen svařovacím zdroje od firmy EWM typu Phoenix 552 RC Puls, který je přidělán na portále. Parametry svařovacího zdroje jsou uvedeny v tabulce 5.

Tabulka 5 - Parametry svařovacího zdroje [18]

Svařovací proud	5-550 A
Svařovací napětí	14,3 - 41,5 V
Zatěžovatel	100 % - 450 A, 80 % - 520 A, 60 % - 550 A
Hmotnost	78,5 Kg
Rozměry	780 x 375 x 625

8.2 Polohovadlo

Polohovadlo slouží pro polohování a natáčení svařence do optimální polohy pro svařování. Pracoviště je vybaveno kolébkovým polohovadlem typu RDS50 od firmy Reis Robotics, které disponuje otáčením ve dvou osách. Váha celého polohovadla je 7860Kg a unese maximální zatížení až 5000 kg. Jedna z os otáčí celým ramenem a má rozsah 370° a rychlost otáčení 8°/s. Druhá osa rotuje desku na rameni s rozsahem 360° při rychlosti otáčení 17°/s. Polohovadlo, stejně tak jako polohovací portál, je integrováno do robotického systému, a to umožňuje vzájemnou synchronizaci pohybů polohovadla, portálu a samotného robotického ramena. [25]



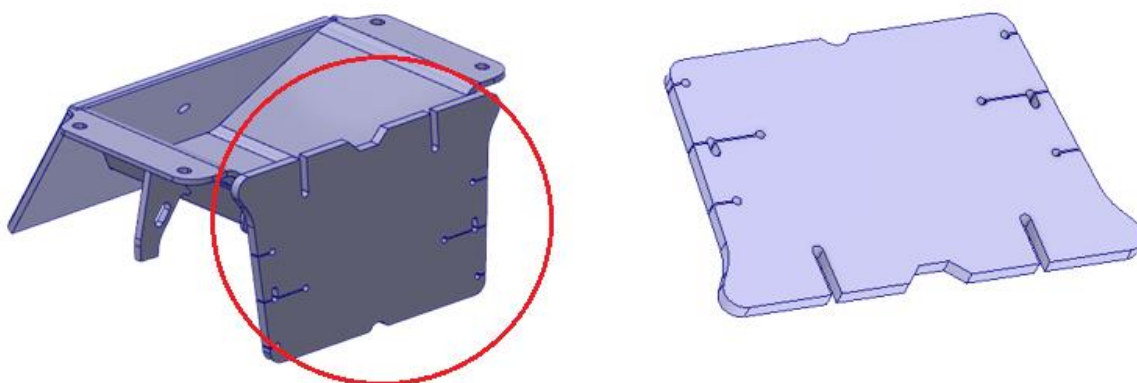
Obrázek 20 – Kolébkové polohovadlo RDS50 [25]

9 NÁVRH PŘÍPRAVKU PRO UPNUTÍ DO POLOHOVADLA

Jak bylo uvedeno v kapitole 6 Dosavadní stav svařování součásti, při svařování se používají stahovací, svařovací a upínací přípravky. V této kapitole je mým úkolem navrhnout přípravek, který bude použit pro upnutí vany do polohovadla. Při návrhu přípravku se většinou vychází z požadavků jako jsou svaření všech svarů na jedno upnutí, jednoduchost a tuhost konstrukce, snadné upnutí a uvolnění svařence z přípravku.

Konzultací a debatou v oddělení technologie a konstrukce bylo stanoveno, že přípravek se bude čistě starat jen o pevné upnutí k polohovadlu, tak aby bylo dostatečně tuhé a bezpečné, nebránilo přístupu k místu svařování a dalo se jednoduše uvolnit a upnout. Tuhost a přesnost svařence při samotném svařování bude docílena provedením dostatečného počtu svarů ve stahovacím přípravku před robotickým svařováním.

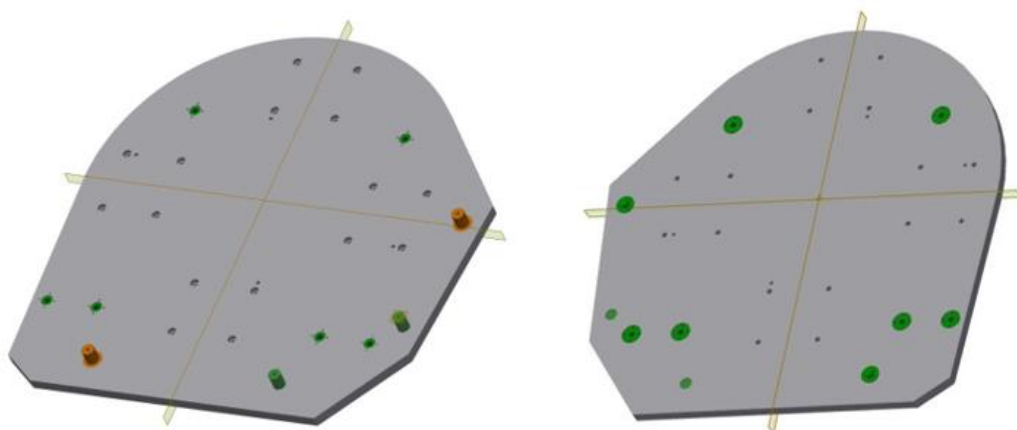
Vana svou konstrukcí neumožňuje příliš mnoho variant poloh pro upnutí. Nejvhodnější a prakticky jediná přijatelná varianta je upnutí za rovnou desku svařence, která je vidět na obrázku 21.



Obrázek 21 - Deska vany pro upnutí

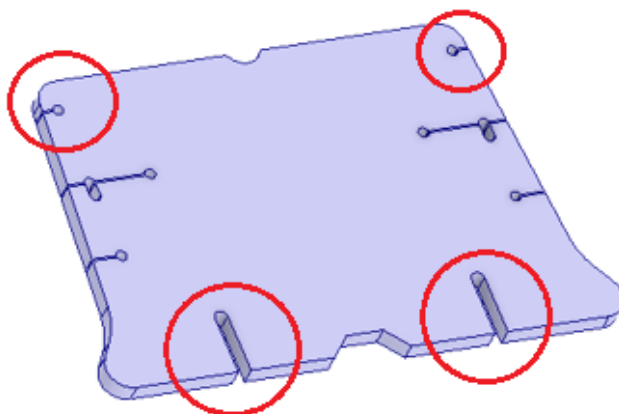
Při této variantě, bude docíleno svaření všech svarů na jedno upnutí a také dobré přístupu ke svarovým místům v požadovaných polohách. Navíc je výhodné využít drážky a díry, které jsou v desce z výroby vytvořeny, za které by mohla být deska uchycena. Po přednesení této varianty upnutí s využitím děr a drážek v desce byla příslušnými pracovníky schválena.

Dle tohoto rozhodnutí byla konstrukčním oddělením navržena a vyrobena univerzální deska polohovadla, která zohledňuje polohu, rozměry děr a drážek desky svařence, ale je také kompatibilní s jinými svařenci, které se na robotu vyrábějí, tak aby nemusela být při každé změně výroby měněna. Model desky, která disponuje několika dírami a je osazená několika čepy a přírubami s vnitřním závitem, je na obrázku 22.



Obrázek 22 - Univerzální deska polohovadla

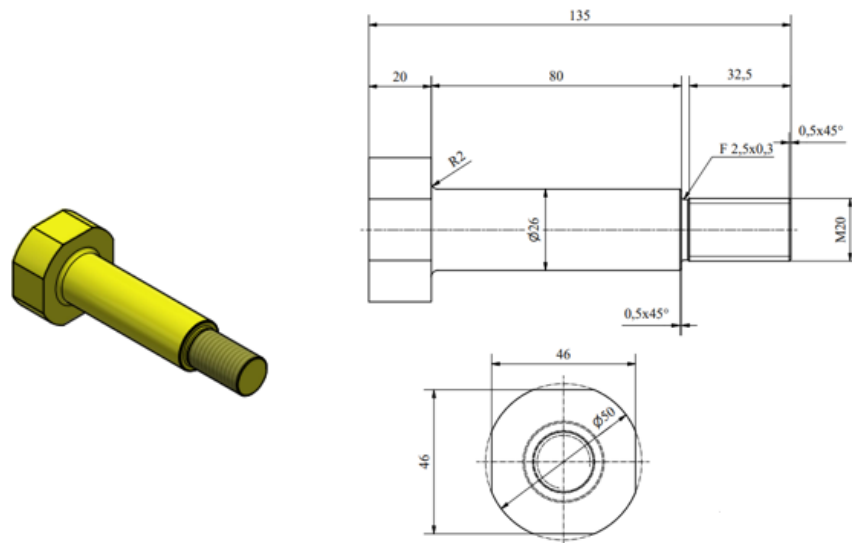
Teď tedy bylo nutné navrhnout provedení upnutí. K uchycení budou využity dvě díry a dvě drážky desce vany (obrázek 23) a na speciální desce budou využity vytvořené závity ve stejných polohách.



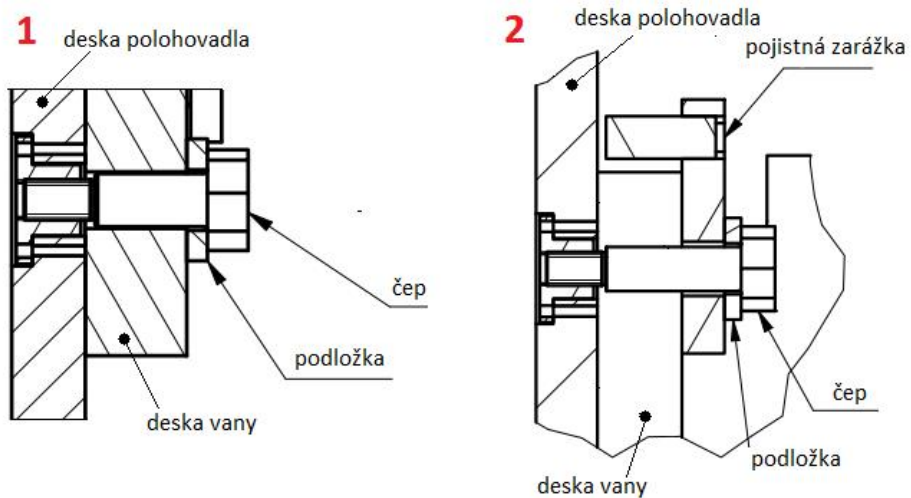
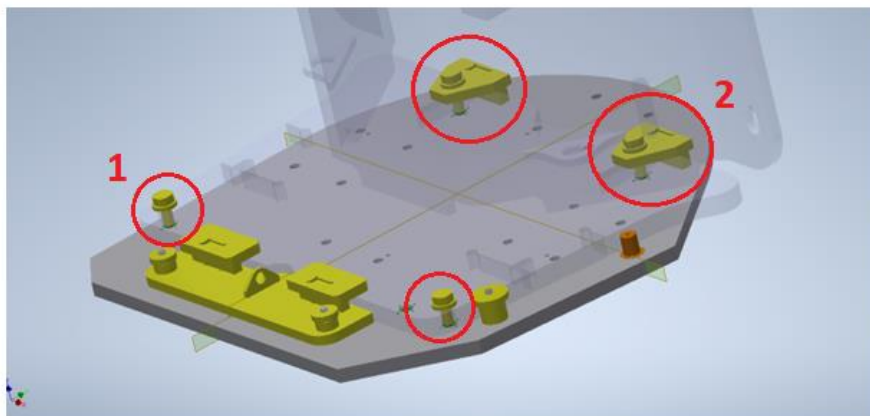
Obrázek 23 - Díry a drážky použité pro upnutí desky

Pro toto spojení desek jsem navrhl čtyři čepy s hlavou a závitem pro rozměr děr a závitů. Byly navrženy z oceli 16MnCr5, což je nízkolegovaná ušlechtilá ocel s minimální mezí kluzu 500MPa pro náš průměr čepů. Návrh jednoho z čepů je na obrázku 24.

Dva čepy k uchycení přes drážkách desky, jsou navrženy delší, z důvodů že k desce navíc přitlačují i pojistné zarážky. Uložení všech čtyř čepů je vidět obrázku 25.



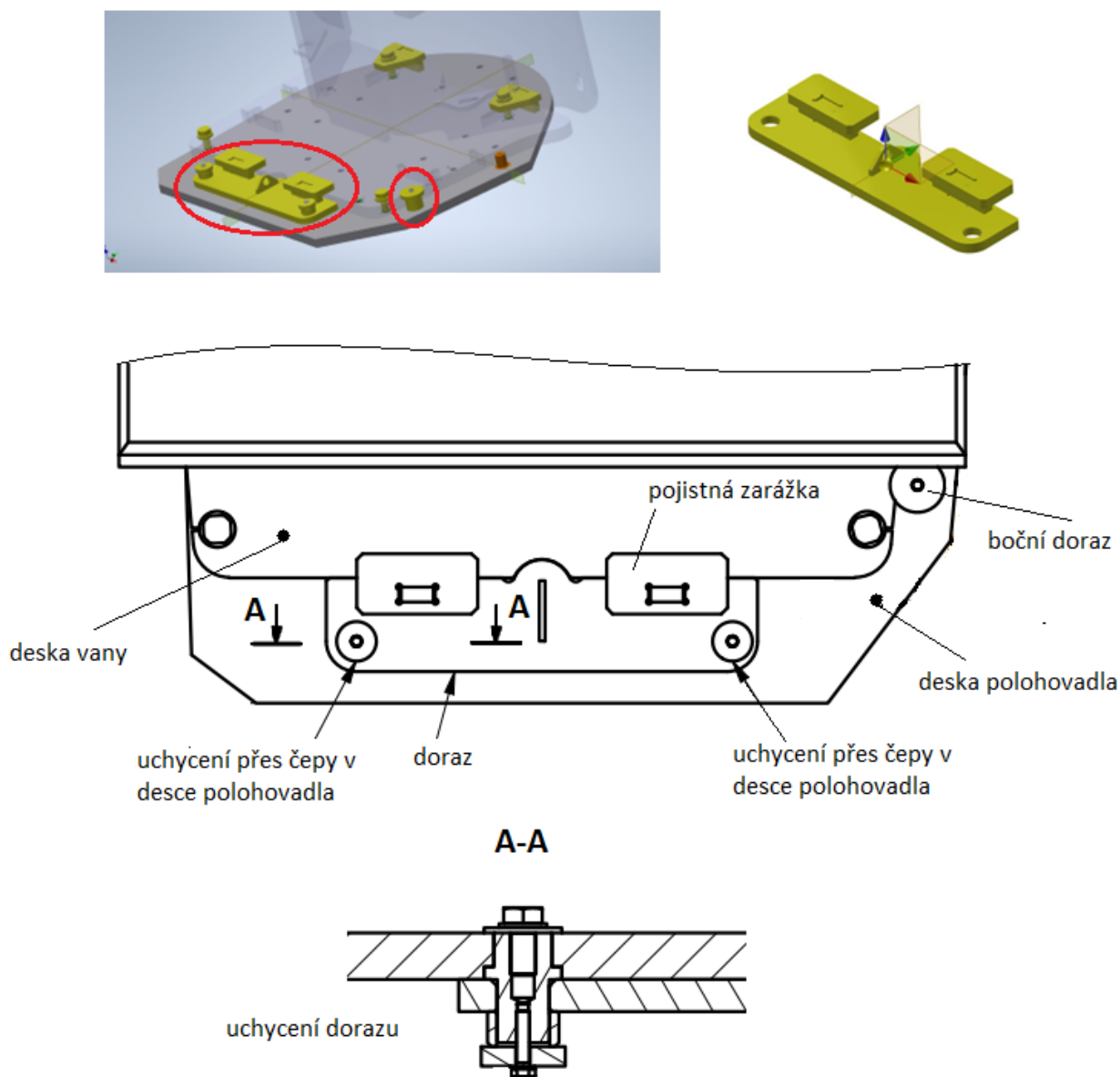
Obrázek 24 - Návrh jednoho z čepů



Obrázek 25 - Uložení čepů, 1 - uložení v díře desky vany, 2- uložení v drážce desky vany s pojistnými zarážkami

Pojistné zarážky jsou navrženy ze dvou dílů, které jsou k sobě svařeny pomocí zámků. Jsou vytvořeny jako bezpečnostní prvek v případě uvolnění.

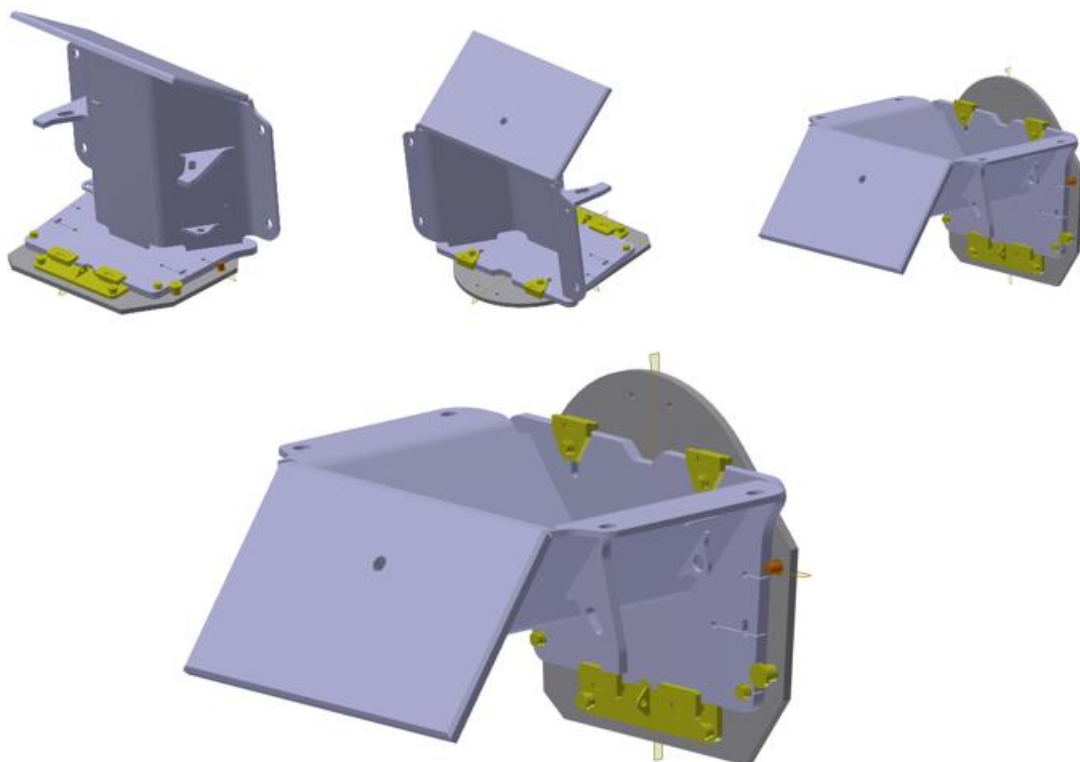
Na desce polohovadla jsou dále navrženy dva dorazy ke správnému vymezení polohy vany při ukládání vany na desku. Dorazy jsou uchyceny pomocí vyčnívajících čepů v desce polohovadla. Jeden doraz je z přední strany, který svým tvarem kopíruje hranu desky vany s vybráním. Druhý doraz je boční doraz v podobě pouzdra nasazeného na čep v desce polohovadla. Při upevnění desky pomocí čepů je poté mezi dorazy a deskou vany malá vůle, deska tak není o dorazy opřena. Model, uchycení, popis a polohu dorazů zobrazuje obrázek 26.



Obrázek 26 - Umístění a popis dorazů

Dorazy na sobě mají také bezpečnostní zarážky, které přesahují přes desku vany. Pro všechny komponenty dorazů a zarážek je použita ocel S235.

Koncept upevnění je tedy realizován pomocí čtyř čepů po obvodu desky vany. Ke správnému vymezení polohy při upevňování slouží dorazy. Ty mají i bezpečnostní funkci. Celá sestava modelu vany, upínacího přípravku a desky polohovadla na obrázku 27.



Obrázek 27 - Model sestavy vany, upínacího přípravku a desky polohovadla

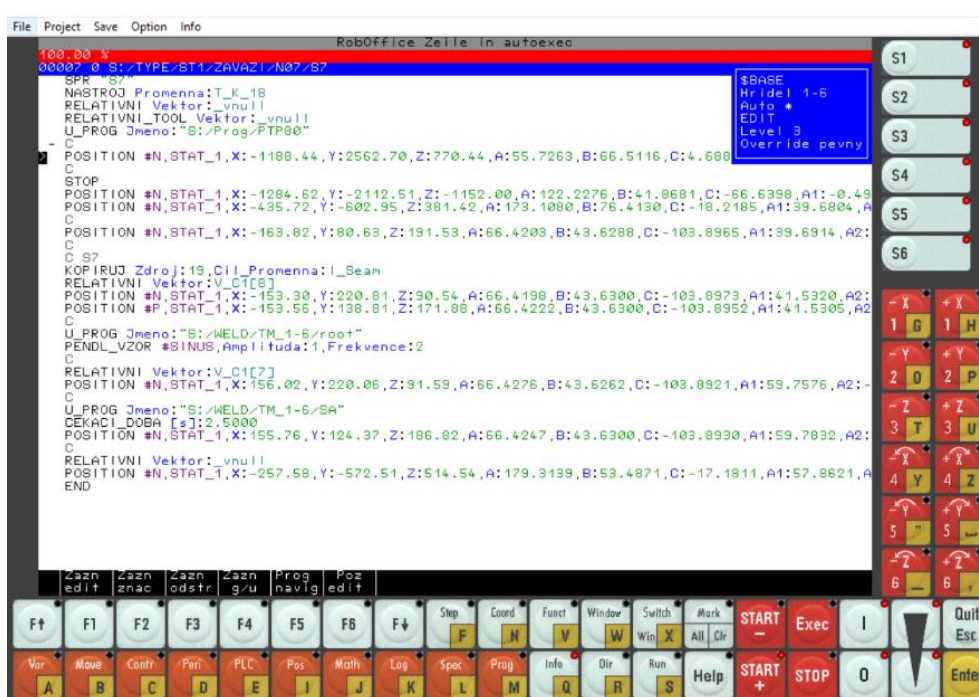
Pro upínací přípravek byla také provedena pevnostní analýza, kterou provedl kvalifikovaný pracovník z oddělení konstrukce. Návrh upnutí se pohybuje ve vyšších hodnotách bezpečnosti. Celý výkres sestavy upínacího přípravku je přiložen v příloze 1.

10 OFF-LINE PROGRAMOVÁNÍ PŘEDBĚŽNÉHO SVAŘOVACÍHO PROGRAMU

Dalším cílem této diplomové práce je vytvořit a naprogramovat předběžný svařovací program, který bude obsahovat operace pro jednotlivé svary. Záměrem této kapitoly je přiblížit postup při vytváření svařovacího programu off-line programováním, strukturu svařovacího programu a definici trajektorií.

Off-line programování robotického svařování se používá k vytvoření svařovacích programů a trajektorií mimo samotnou výrobní linku, bez nutnosti přímé interakce s robotem. Pro off-line programování svařovacích robotů od společnosti Reis se používá softwaru RobOffice a ProVis, které jsou navzájem propojené a přenášejí mezi sebou potřebné informace o poloze a dalších parametrech.

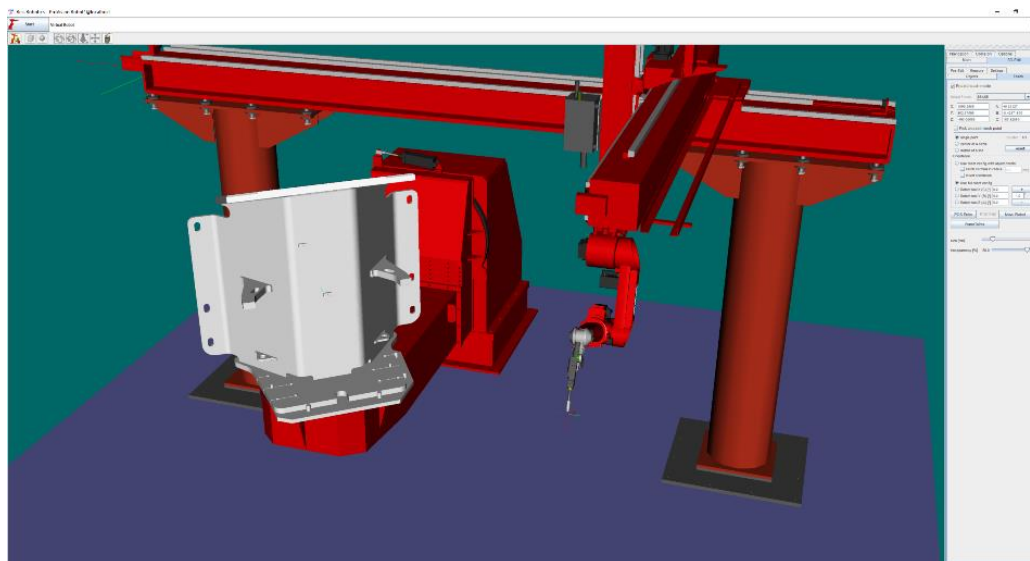
RobOffice je software pro textové off-line programování. Vytvářejí se zde celé svařovací programy, což zahrnuje jednotlivé svařovací operace, definování trajektorií a pohybu robota a nastavení svařovacích parametrů (obrázek 28).



Obrázek 28 - Prostředí v RobOffice

ProVis slouží k vizualizaci a simulaci svařovacích operací. V ProVisu je vytvořeno a přesně definováno celé pracoviště s robotem i vytvořeným modelem svařence (obrázek 29). Simulují se zde jednotlivé dráhy a pohyby robota.

Pomocí ProVis se také dráhy definují, vytváříme a upravují a následně příkazem ukládají do RobOffice. V ProVis můžeme také kontrolovat a detekovat kolize.



Obrázek 29 - Prostředí ProVis

Pro popsání celého procesu vytváření off-line svařovacího programu jsem sestavil postup v bodech:

- Vytvoření modelu svařence a upínacích přípravků
- Vytvoření nového projektu, svařovacího programu
- Nahrání modelů do softwaru pro off-line programování
- Plán svařovacího postupu a analýza svarů z výkresové dokumentace
- Vytvoření podprogramu pro svar
- Programování linek a tras jednotlivých svarů
- Nahrání svařovacích parametrů pro jednotlivé svary
- Skládání a řazení svarů v hlavním programu dle tech. postupu
- Doplnění čištění hořáku v servisní stanici dle potřeby v hlavním programu
- Nastavení stopek pro zastavení robota z důvodů čištění svarů operátorem
- Programování tzv. oťukání na korekci pozice
- Přidání vektorů z oťukání do hlavního programu
- Program je hotov a následuje odladění na pracovišti,[25;26]

10.1 Svařovací program


Úkolem je vytvořit předběžný svařovací program pro svaření všech svarů určených pro robotické svařování na vaně. Předběžný z toho důvodu, že úplné odladění pro přesnost všech drah a natočení, se musí provést až fyzicky na robotickém pracovišti. Proto se některé dráhy budou ještě dále upravovat dle potřeby.

Svařovací program je tvořen hlavní programem, podprogramy a makry. Hlavní program je nejvyšší úrovní svařovacího programu a slouží především k vyvolávání podprogramů a maker v určitém pořadí. V podprogramu, který se v textovém poli označuje jako U_PROG, se programují jednotlivé svařovací operace. Pro každý svar či úsek svaru je vytvořený podprogram. Svařovací program vedle svařovacích operací jednotlivých svarů může také obsahovat například čištění, kdy robot čistí a ochlazuje hubici.

10.2 Hlavní program

Na obrázku 30 je snímek obrazovky hlavního programu v RobOffice. Hlavní program obsahuje řídicí logiku svařovacího programu. Můžeme si v něm tedy skládat jednotlivé podprogramy a makra, tak jak chceme, aby šli za sebou. Hlavní program si lze představit jako svařovací postup, který dle nastaveného pořadí vyvolává jednotlivé podprogramy, které reprezentují svařovací operace. Na snímku můžeme vidět jeho strukturu a jednotlivé poskládání a vyvolávání podprogramů. Zeleně je uveden název podprogramu.

```
*****  
***** Welding programs *****  
***** Blok 1 *****  
119  
S7  
U_PROG Jmeno: "N07/S7"  
117  
S6  
U_PROG Jmeno: "N06/S6"  
121  
S8  
U_PROG Jmeno: "N08/S8"  
115  
S5  
U_PROG Jmeno: "N05/S5"  
*****  
Brenner reinigen  
U_PROG Jmeno: "S:/Prog/Act_pos_clean"  
U_PROG Jmeno: "S:/Prog/Reinigen_M3_Kurz_22"  
111  
S3  
U_PROG Jmeno: "N03/S3"  
19  
S2  
U_PROG Jmeno: "N02/S2"  
113  
S4  
U_PROG Jmeno: "N04/S4"  
Brenner reinigen  
U_PROG Jmeno: "S:/Prog/Act_pos_clean"  
U_PROG Jmeno: "S:/Prog/Reinigen_M3_Kurz_22"  
11  
S1  
U_PROG Jmeno: "N01/S1"
```



Obrázek 30 - Hlavní program

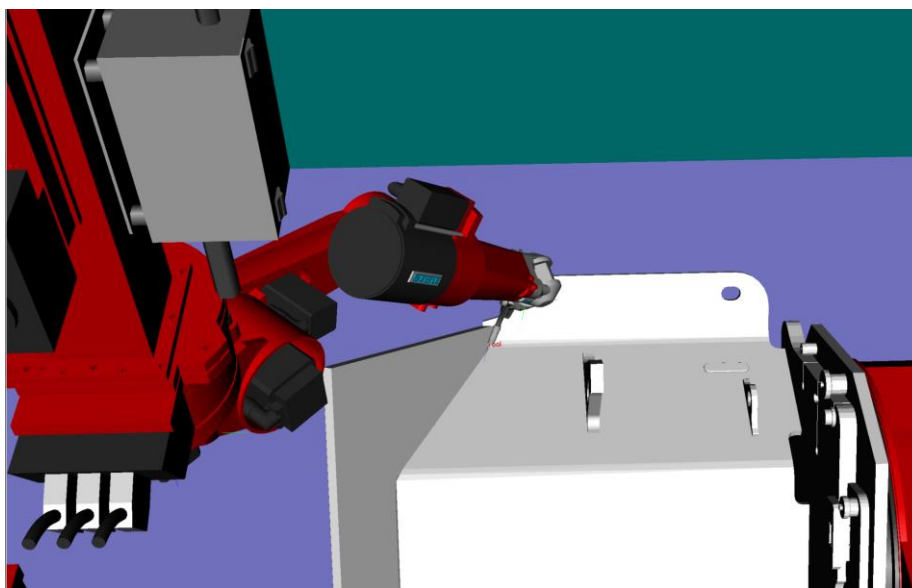
Podprogramy jednotlivých svarů jsou za sebou skládány a vyvolávány dle svařovacího postupu, který jsme si určili. Mezi podprogramy svarů, jsou také vidět podprogramy pro čištění hubice robota.

10.3 Podprogram

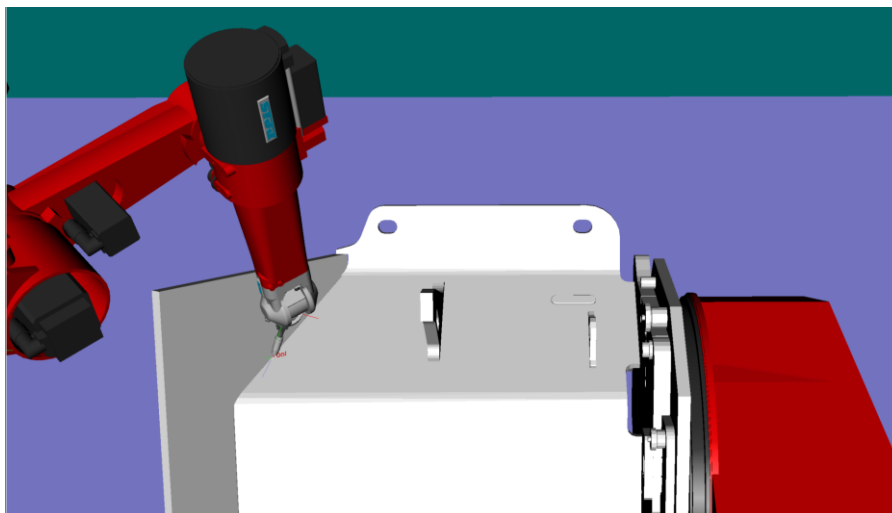
Svaření jednotlivých svarů se realizuje v podprogramu. Zde bude popsán postup programování svařování svaru.

10.3.1 Vytváření trajektorií

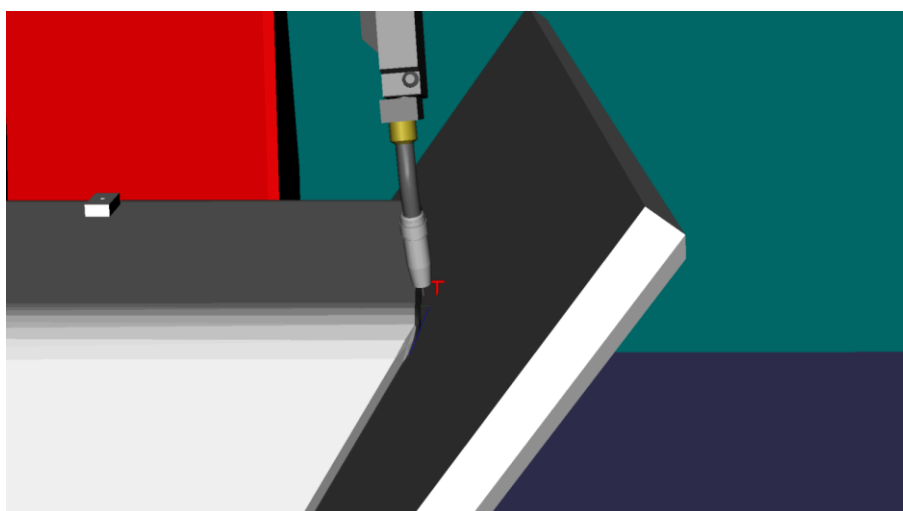
Trajektorii vytvářím tak, že v softwaru ProVis, kliknu na určité místo v prostoru a tam se robot s hubicí posune, lze také řídit natočení hubice. Robot vykonává mezi určenými body pohyb po přímé dráze, a přitom může používat všech šest os. Pokud chceme, můžeme však jednotlivé osy řídit samy, nebo nastavit pohyb jen určitých os. Pokud máme určený počáteční bod u svaru s vyhovujícím natočením hubice, souřadnice bodu i všech os, tedy i portálu a polohovadla se ukládají do RobOffice v textové podobě. Takto je vybrán i koncový bod, kam chceme, aby se robot dostal. Mezi těmito body je určen druh pohybu robota. Automaticky je nastaven lineární pohyb, máme však k dispozici také pohyb cirkulární. Pokud je nastaven lineární pohyb, robot s nástrojem vykoná z počátečního bodu do koncového přímoúhelníkem. Během pohybu lze pokud je potřeba, měnit orientaci hubice. Cirkulární pohyb znamená, že robot hubicí pohybuje po kruhové dráze. Pro cirkulární pohyb se tak musí zvolit ještě jeden pomocný bod mezi počátečním a koncovým bodem dráhy, aby mohla být vytvořena dráha kruhová. Ukázky postupného pohybu robota po trajektorii k vyhotovení svaru N01 jsou na obrázcích 31,32,33,34:



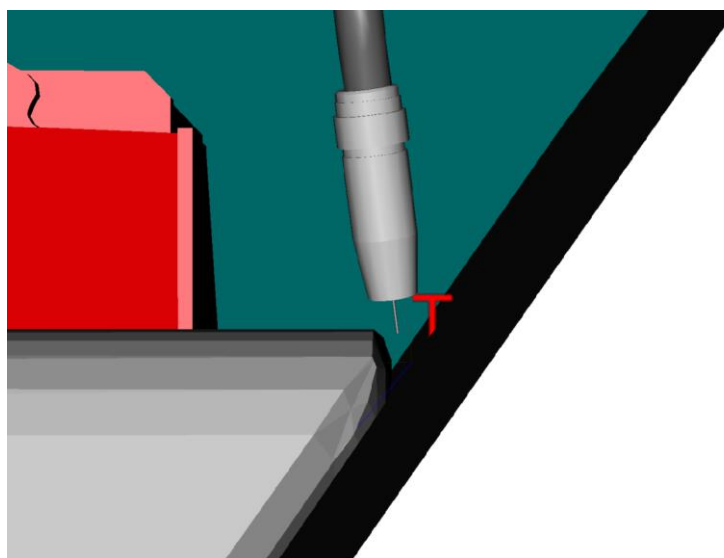
Obrázek 31 - Začátek trajektorie svaru N01



Obrázek 32 - Další bod trajektorie svaru N01



Obrázek 33 - Svařování přes rádius svaru N01 – změna na cirkulární pohyb



Obrázek 34 - Detail drátu a hubice

10.3.2 Popis výsledného podprogramu N01

Snímek obrazovky podprogramu pro svar N01 ze softwaru RobOffice lze vidět na obrázku 35, který popisuje jeho jednotlivé části. Podprogram začíná v počáteční poloze, která je dána koncovou polohou předchozího podprogramu. Dále je zadán pohyb dojezdu do pozice ke svaru. Následuje tzv. oťukání hubicí robota, pro korekci odchylek a určení polohy a směru svařování. Poté jsou zadány a nastaveny parametry svařování a následují samotné pohyby robota pro vyhotovení svaru.

```
100.00 *
10013.0.S:/TYPE/ST1/ZAVAZI/N01/S1
SPR "S1"
NASTROJ Promenna:T_K_25
RELATIVNI_Vektor:vnull
RELATIVNI_TOOL_Vektor:vnull
U_PROG Jmeno:"S:/Prog/PTP00"
C
C STOP
C Pocatek z konce S4
VAR_POZ Promenna:P_Prejezd
C
C Pocatek S1 natoc. stolu
C Edit A10 + A11
C POSITION #N,SBASE,X:1523.63,Y:-50.90,Z:750.16,A:-4.0311,B:-66.4135,C:-174.7951,A1:-0.5420,A2:-72.6299,A3:95.1017,A4:93.7037,A5:57.24
C POSITION #N,STAT_1,X:-921.93,Y:-373.01,Z:2601.91,A:-19.9551,B:-14.3158,C:77.4173,A1:16.4092,A2:1.0591,A3:-40.5537,A4:-55.1481,A5:-40.5537
C POSITION #N,STAT_1,X:-905.45,Y:-343.31,Z:1591.68,A:-26.2394,B:-19.5547,C:99.4835,A1:37.2136,A2:1.0591,A3:-40.5537,A4:-55.1481,A5:-40.5537
C
C POSITION #N,STAT_1,X:-770.51,Y:-303.78,Z:1601.38,A:-26.2402,B:-19.5510,C:98.4827,A1:36.5464,A2:-5.4104,A3:-35.4867,A4:-54.3579,A5:-40.5537
C
C S1
KOPIRUJ Zdroj:1,Cil_Promenna:l_seam
RELATIVNI_Vektor:V_C1[25]
C POSITION #N,STAT_1,X:-697.11,Y:-317.24,Z:1822.99,A:-26.2348,B:-19.5531,C:98.4789,A1:36.7024,A2:-8.0171,A3:-38.1556,A4:-51.1387,A5:-40.5537
C POSITION #P,STAT_1,X:-762.31,Y:-267.21,Z:1923.30,A:-26.2349,B:-19.5546,C:98.4799,A1:36.7024,A2:-8.1047,A3:-46.9183,A4:-50.5467,A5:-40.5537
C
U_PROG Jmeno:"S:/WELD/TM_1-6/layer"
U_PROG Jmeno:"S:/WELD/TM_1-6/root"
PENDL_VZOR #SINUS,Amplituda:0.5,Frekvence:3
RYCHLOST_DRAHY [mm/s]:5.0000
C
RELATIVNI_Vektor:V_C1[24]
C POSITION #N,STAT_1,X:-327.98,Y:160.09,Z:1797.67,A:-26.1995,B:-19.5351,C:98.3854,A1:53.4558,A2:4.3513,A3:-110.2573,A4:79.1017,A5:-30.1017
C Radius 1
POHYB_DRUH #CIRK
KOPIRUJ Zdroj:100,Cil_Promenna:lori_circhp
RELATIVNI_Vektor:V_C1[23]
C POSITION #N,STAT_1,X:-287.53,Y:202.41,Z:1812.05,A: 51.2592,B:-12.5424,C:99.9405,A1:43.3315,A2:2.0229,A3:-107.7982,A4:148.9239,A5:-33.1017
C POSITION #N,STAT_1,X:-243.56,Y:217.22,Z:1816.36,A: 78.8732,B:-6.4550,C:100.8878,A1:36.5625,A2:-5.4470,A3:-99.1232,A4:62.3581,A5:-33.1017
C POSITION #P,STAT_1,X:-244.15,Y:304.19,Z:1815.39,A: 78.8735,B:-6.4552,C:100.8866,A1:36.5786,A2:2.3057,A3:-106.9729,A4:62.4136,A5:-33.1017
C PROSTREDEK
POHYB_DRUH #LINEARNI
RELATIVNI_Vektor:V_C1[22]
C POSITION #N,STAT_1,X:223.49,Y:219.92,Z:1816.51,A:-78.9068,B:-4.8507,C:101.1857,A1:79.1404,A2:-4.6553,A3:-96.4571,A4:32.1517,A5:-24.1017
C POSITION #P,STAT_1,X:223.20,Y:266.70,Z:1819.90,A:-78.7019,B:-11.4979,C:99.9093,A1:79.9724,A2:-0.2263,A3:-94.5885,A4:1.2686,A5:-21.9017
C Radius 2
POHYB_DRUH #CIRK
KOPIRUJ Zdroj:100,Cil_Promenna:lori_circhp
```

Obrázek 35 - Popis výsledného podprogramu pro svar N01

10.4 Výsledný svařovací program

Dle postupů představených v předchozích kapitolách byly vytvořeny podprogramy s trajektoriemi pro všechny jednotlivé svary. Tyto podprogramy byly následně dle technologického postupu z kapitoly 7.3 poskládány za sebe dle pořadí. Svařovací program je možné dle potřeby dále předělávat a také následně do podprogramů nahrát vhodné a potvrzené svařovací parametry. Ukázka výsledného svařovacího programu poskládané dle technologického postupu na obrázcích 36,37.

```

C
U_PROG Jmeno:"Nulovani_Vektoru"
C
C kamera
\U_PROG Jmeno:"Scan_C1"
C
C fukani hubici
U_PROG Jmeno:"Hledani"
\STOP
C
KOPIRUJ Zdroj:0,C I_Promenna:I_clean
C
C *****
C Welding programs
C *****
C ***** Blok 1 *****
C
C I19
C S7
U_PROG Jmeno:"V07/S7"
C
C I17
C S5
U_PROG Jmeno:"V06/S6"
C
C I21
C S3
U_PROG Jmeno:"V08/S6"
C
C I15
C S5
U_PROG Jmeno:"V05/S5"
C *****
C Brenner reinigen
U_PROG Jmeno:"S:/Prpg/Act_pos_clean"
U_PROG Jmeno:"S:/Prpg/Reiniger_M3_Kurz_22"
C
C I11
C S3
U_PROG Jmeno:"V03/S3"
C
C I3
C S2
U_PROG Jmeno:"V02/S2"
C
C I13
C S4
U_PROG Jmeno:"V04/S4"
C
C Brenner reinigen
U_PROG Jmeno:"S:/Prpg/Act_pos_clean"
U_PROG Jmeno:"S:/Prpg/Reiniger_M3_Kurz_22"
C
C I1
C S1
U_PROG Jmeno:"V01/S1"

```

Obrázek 36 - Začátek svařovacího programu

```

C
C I26
C S10_001
U_PROG Jmeno:"V10/S10_001"
C
C I29
C S12
U_PROG Jmeno:"V12/S12"
C
C I34
C S16
U_PROG Jmeno:"V16/S16"
C
C I30
C S12_001
U_PROG Jmeno:"V12/S12_001"
C
C Brenner reinigen
U_PROG Jmeno:"S:/Prpg/Act_pos_clean"
U_PROG Jmeno:"S:/Prpg/Reiniger_M3_Kurz_22"
C
C ***** Blok 4 *****
C
C I5
C S1_004
U_PROG Jmeno:"V01/S1_004"
C
C Brenner reinigen
U_PROG Jmeno:"S:/Prpg/Act_pos_clean"
U_PROG Jmeno:"S:/Prpg/Reiniger_M3_Kurz_22"
C
C I6
C S1_005
U_PROG Jmeno:"V01/S1_005"
C
ZNACKA "Konec"
C Brenner reinigen
U_PROG Jmeno:"S:/Prpg/Act_pos_clean"
U_PROG Jmeno:"S:/Prpg/Reiniger_M3_Kurz_22"
C
C -----
C
ZNACKA "RFARRF I T I N G _ R F F N R F T"
C
C Roboter in HOMEPGS fahren:
U_PROG Jmeno:"S:/F06/SAFEPOS1"
U_PROG Jmeno:"S:/F06/NACH_SAFEPOS1"
C
\STOP
C Stueckzaehler:
U_PROG Jmeno:"S:/F06/STLECKZAEHLER_ST"
C
KOPIRUJ Zdroj:_RC_OCK[1],C I_Promenna:R_Taktizei I [I_Counter]
ADD Op_1: ',C I_Fremma: I_Counter
C
ZNACKA "RESET"
C Bearbeitung beendet und zurueck in Programm "AUTO":
PROGRAM Jmeno:"S:/F06/RESET_ST1"
END

```

Obrázek 37 - Konec svařovacího programu

11 PŘEDVÝROBNÍ PRACOVNÍ ZKOUŠKA

Před zahájením výroby svařence je požadováno provést předvýrobní pracovní zkoušku. Tato zkouška slouží k ověření svařovacích parametrů a kvality jimi vyhotoveného svaru, které jsou dány příslušnou WPQR. Mým úkolem je pracovní zkouškou ověřit parametry svařování pro koutový svar a7, který je na vaně předepsaný. Tento koutový svar ve firmě pokrývá WPQR protokol číslo 261/02/2013 (obrázek 38). Na základě ověření a vyhodnocení pracovní zkoušky prokáže-li se vhodnost parametrů daných WPQR, bude vypracován dokument WPS. Celá WPQR 261/02/2013, je přiložena v příloze č.2.



SVV Praha, s.r.o.
INSPEKČNÍ ORGÁN
U Michelského lesa 370, 140 75 Praha 4
www.svv.cz e-mail: svv@svv.cz

Protokol o kvalifikaci postupu svařování - WPQR			
Welding Procedure Qualification Record form / Bericht über die Qualifizierung des Schweißverfahrens			
WPQR č.: Ref. No. / Refer.-Nr.	261/02/2013	Předpis/zkušební norma: Codes/Testing St. / Vorschriften / Norm	ČSN EN ISO 15614-1/A2
List/počet stran: Pages / Seiten	1/3		
Výrobce (název a adresa): Manufacturer / Hersteller	Schäfer Menk s.r.o. Přestínská 1415, 153 00 Praha 5 - Radotín	IC: IC No. / Lic. Nr.	61461512
Údaje ke zkouškám Test data / Prüfdaten		Rozsah kvalifikace / viz. ISO 15614-1/A2 čl. 8/ Range of qualification / Geltungsbereich	
Datum svařování: Date of Welding / Datum der Schweißung	28.01.2013	Datum vydání: Date of issue / Ausstellungsdatum	27.02.2013
Metoda svařování (ISO 4063) a stupeň mechanizace / 8.4.1/ Welding Process and rate of mechanization / Schweißprozess und Mechanisierungsgrad			
138 – automatický (robotem) 138 – automatický			
Polohy svařování (ISO 6947) / 8.4.2/ Welding Positions / Schweißpositionen			
PA PA			
Druh spoje a svaru / 8.4.3/ Type of joint and Weld / Stoßart und Nahtart			
T-spoj, koutový svar, svařovaný z jedné strany více housenkami		koutové svařování svařované více housenkami	
Základní materiály (ZM) / 8.3/ (skupiny podle ISO/TR 15608) Parent Materials / Grundwerkstoffe			
ZM1:	S355NL EN 10025-3 sk. 1.2	ocel skupiny 1 svařovaná se skupinou 1, zahrnuje stejnou nebo nižší jmenovitou mez kluzu oceli stejní skupiny	
ZM2:	S355NL EN 10025-3 sk. 1.2		
tloušťka ZM: t [mm] Thickness of Material / Werkstoffdicke	t ₁ : 30,0 t ₂ : 30,0	FW: t ≥ 5,0 D>500 (pro polohu PA s otáčením: D>160) a – bez omezení	
velikost kout. svaru: a [mm] Weld dimension / Nahtdicke	a: 7,0		
vnější průměr D [mm] Outside Diameter / Außendurchmesser	D ₁ : - D ₂ : -		
Přidavní materiály (PM) / 8.4.4, 8.4.5, 8.4.6, 8.5.2/ Filler Material / Zusatzwerkstoffe			
Označení PM: Filler Material Type / Art des Schweißzusatzes	ISO 17632-A: T46 4 M 2 H5	svařování s přidavním materiálem EN ISO 17632-A: T46 4 M 2 H5 / FILARC PZ6102 a jinými PM, pokud mají rovnocenné mechanické vlastnosti, stejné typy obalu jádra nebo taviva, stejné nominální chemické složení a stejný nebo nižší obsah vodíku (pokud je požadována zkouška rázem v tahu, platí pro FILARC PZ6102)	
Obchodní značení PM: Trade Name / Markenname	FILARC PZ6102		
Rozměr PM: Diameter / Maß	ø 1,6		
Ochranný plyn/tavítko Gas shield/gas / Schutzgas/Schweißpulver	EN ISO 14175 - M20 85% Ar + 15% CO ₂	EN ISO 14175 - M20 - Ar-C - 15 (obsah CO ₂ nesmí přesáhnout 10% použitelnosti)	
Plyn pro ochranu kořene Gas Backing / Wurzel Schutz	-		
Druh svařovacího proudu a polarita / 8.4.7/ Type of Welding Current/Polarity / Schweißstromart			
DC (+) DC (+)			
Teplota předehřevu [°C] / 8.4.9/ Preheat Temperature / Vorwärmtemperatur			
viz. str. 2/3 viz. str. 2/3, dolní mez je snížena o 25%			
Interpass teplota [°C] / 8.4.10/ Interpass Temperature / Zwischenlagertemperatur			
-			
Dodatečný ohřev [°C] / 8.4.11/ Post-Heating / Nachwärmung			
-			
Teplotné zpracování po svařování / 8.4.12/ Post-Weld Heat-Treatment / Wärmnachbehandlung			
-			
Další informace – specifické údaje / 8.5/ Other information – / Sonstige Angaben – Besonderheiten für Schweißprozesse			
viz. 8.5.2.3			
Rozsah zkoušek: Range of Testing / Prüfläng	NDT: vizuální (VT), magnetická (MT), DZ: zkouška tvrdosti, makrostruktury		
Potvrzuje se, že zkušební svařby byly připraveny, svařovány a zkoušeny podle výše uvedeného předpisu/zkušební normy s vyhovujícím výsledkem. Certified that test welds were prepared, welded and tested satisfactorily in accordance with the requirements of the code/testing standard indicated above. Hiermit wird bestätigt, dass die Prüfungsschweißungen in Übereinstimmung mit den Bedingungen der vorbezeichneten Regel bzw. Prüfnorm zufriedenstellend vorbereitet, geschweißt und geprüft wurden.			
Místo Location / Ort	Datum vydání Date of issue / Datum der Ausstellung	Jméno, datum a podpis: Name, date and signature / Name, Datum und Unterschrift	Zkušební organizace Examining body / Prüfamt
Praha	27.02.2013	Ing. František Zakhar, 27.02.2013	SVV Praha, s.r.o.

Obrázek 38 – 1. strana protokolu WPQR 261/02/2013

Tato předvýrobní pracovní zkouška bude stejně jako kvalifikace postupu svařování vypracována dle požadavků normy ISO 15614-1.

Svařování a příprava zkušebních vzorků musí být vykonáno za běžných podmínek výrobního svařování podle dané WPQR. Svarový spoj, na kterém je prováděna zkouška je reprezentován normalizovaným zkušebním kusem.

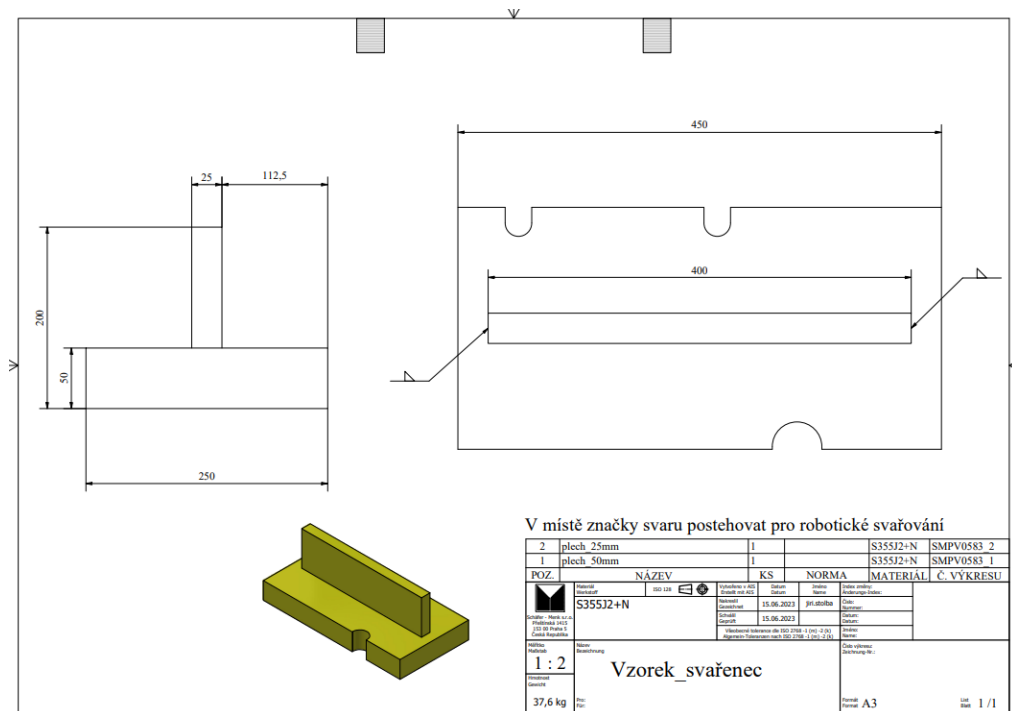
Rozsah kontrol a zkoušení předvýrobní pracovní zkoušky je dán normou 15614-1. Pro koutové svary je požadováno následovně:

- vizuální kontrolu (100%);
- kontrolu povrchových trhlin (kapilární nebo magnetická prášková metoda)
- zkouška tvrdosti
- zkoušku makrostruktury (2 vzorky)

Zkoušky jsou provedeny a vyhodnoceny dle příslušných norem. Jsou také vypracovány náležitě protokoly k jednotlivým zkouškám. [16]

11.1 Návrh a příprava zkušebního kusu

Navrhl jsem zkušební kus pro koutové svary s ohledem na požadované minimální rozměry, které uvádí norma ČSN EN ISO 15614-1 (obrázek 39).



Obrázek 39 - Výkres zkušebního kusu

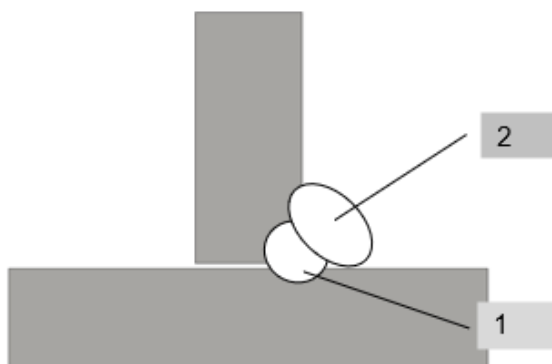
Na zkušebním kusu byly vytvořeny potřebná vybrání k upnutí vzorku na polohovadle pomocí šroubů. Do výroby bylo zadáno dle požadavků vypálení dvou plechů o daných rozměrech. Plechy byly vypáleny na palicích zařízení ve firmě a následně také otryskány a očištěny. Svarové plochy byly zbroušeny, tak jak uvádí příslušná WPQR. Stehování zkušebního kusu bylo provedeno, tak jak je uvedeno na výkrese (obrázek 39). Připravený a postehovaný zkušební kus je vyfocen na obrázku 40.



Obrázek 40 - Postehovaný zkušební kus

11.2 Svaření vzorku

Svaření vzorku bylo provedeno na robotickém pracovišti v Schäfer-Menk robotem Reis RV20-16 za běžných výrobních podmínek. Svařován byl koutový svar $a7$ (obrázek 41), který byl vyhotoven dle parametrů uvedených v protokolu WPQR 261/02/2013.



Obrázek 41 - Schéma koutového svaru $a7$, 1 - kořen, 2 - krycí vrstva

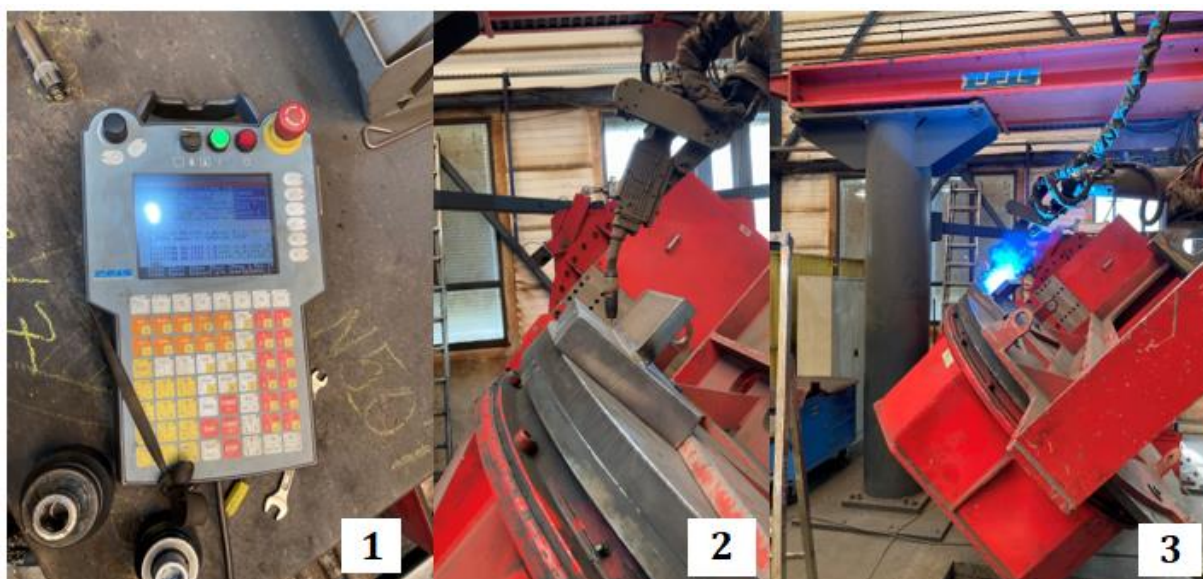
Použité parametry při svařování zkušebnímu kusu jsou uvedeny v tabulce.

Tabulka 6 - Svařovací parametry

Svar	METODA	PRŮMĚR DRÁTU [MM]	POSUV DRÁTU [M/MIN]	PROUD [A]	NAPĚTÍ [V]	DRUH PROUDU (POLARITA)	RYCHLOST SVAŘOVÁNÍ [CM/MIN]	TEPLOTA PŘEDEHŘEVU [°C]	VNESENÉ TEPLO Q [KJ/MM]	ČAS T 8/5 [S]
1	138	1,6	8,9	440	35,4	=/+	42	-	2	-
2	138	1,6	7,8	410	34,8	=/+	42	-	1,6	-

Svaření zkušebnímu kusu bylo provedeno na robotickém pracovišti ručním programováním robota pomocí ovládacího přístroje. Vzorek byl ustaven na polohovadlo pomocí jiného přípravku, než bylo původně zamýšleno při navrhování zkušebnímu kusu, z důvodů nefunkčního jeřábu. Byla však dodržena poloha svařování a všechny další náležitosti.

Před samotným svařením byla vizuálně určena poloha svařovací hubice robota. Poté byly nastaveny parametry a postupně svařeny obě kořenové vrstvy a poté vrstvy krycí. Po vychladnutí byl vzorek sundán z polohovadla a svar byl očištěn. Z průběhu svařování jsem pořídil několik fotografií (obrázek 42).



Obrázek 42 - Průběh svařování, 1 - ovladač pro ruční programování robota, 2 - nastavení správné pozice hubice, 3 - svaření zkušebnímu kusu

11.3 Vizuální kontrola

Vizuální kontrola svarů se provádí podle normy ČSN EN ISO 17637. Norma uvádí jednotlivé podmínky a požadavky pro vizuální kontrolu pro tavné spoje kovových materiálů.

11.3.1 Popis vizuální kontroly

Pro přímou vizuální kontrolu jsou popsány tyto podmínky. Jedna z podmínek kontroly svaru je osvětlení jeho povrchu, které musí být minimálně 350 luxů. Další podmínkou je dostatečná přípustnost pro oči. Maximální přípustná vzdálenost je 600 mm od povrchu kontrolovaného spoje a minimální úhel očí vůči povrchu spoje může být 30°.


Vizuální kontrola se provádí ve více fázích. Je vyžadována již vizuální kontrola přípravy spoje. Kontroluje se především tvar, rozměry, očištění a opracování svarových ploch, jak bylo požadováno specifikacemi v postupu, nebo ve výrobních či uživatelských normách. Dále je také kontrolováno správné sestavení svařence dle výkresové dokumentace. Druhou fází vizuální kontroly je kontrola během svařování. Kontrolují se jednotlivé housenky či vrstvy, jejich přechody a napojení mezi svarovým kovem a svarovou plochou. Kontrolovány jsou viditelné vady v průběhu svařování jako jsou trhliny nebo dutiny. Poslední fází je vizuální kontrola dokončeného svaru. Při kontrole dokončeného svaru se vyžaduje kontrola očištění a úpravy. Svar musí být očištěn a zbaven strusky, která by mohla zakrývat případné vady. Následně se kontroluje, jestli nedošlo k poškození použitými nástroji. Pokud je vyžadována úprava svaru broušením, nesmí dojít k přehřátí či poškození spoje. U vyhotoveného svaru jsou kontrolovány jeho rozměry a profil, zda vyhovují příslušným požadavkům. Pokud je požadováno je vypracován protokol o kontrole.

Vizuální kontrola se hodnotí dle výrobních norem či jiných předem daných kritérií pro přípustnost. Můžou to být například normy ISO 5817 nebo ISO 10042. [16;21]

11.3.2 Vizuální kontrola zkušebního kusu

Norma ČSN EN ISO 15614-1 podle které je prováděna pracovní zkouška zkušebního kusu uvádí vizuální kontrolu 100 %, tedy v plném rozsahu. Svar musí splňovat kritéria udávaná dle ČSN EN ISO 5817. Zkouška byla provedena za přítomnosti kvalifikovaného pracovníka.

Před svařením bylo zkontrolováno očištění, úprava svarových ploch a sestavení svařence, které odpovídalo daným specifikacím. V průběhu svařování byl svar pravidelně kontrolován. Především mezi pokládáním dalších vrstev. Nebyla zjištěna žádná viditelná vada. K měření rozměrů hotového svaru byli použity příslušná měřidla a měřky dle normy. Vystavený protokol o provedené kontrole:

		Protokol o zkoušce vizuální (VT) Visual Particle Testing (VT)						TK_003_VT
								Strana/Seite 1/1
Zákazník Kunde		Jiří Štolba						
Dodavatel Lieferant		SCHÄFER MENK s.r.o.						
Výrobek Produkt		zkušební kus - vana cargotec						
Číslo výkresu Zeichnungsnummer		/						
Materiál Material		S355J2+N						
Číslo zakázky Auftragsnummer		/						
Prováděcí předpisy/ Betriebsvorschriften - Norme								
ČSN EN ISO 5817 - B								
Místo zkoušky: Prüfart:		Praha		Kvalifikace: Kvalifikation:		ČSN EN ISO 9712 - VT - LEVEL 2		
Technické údaje/ Spezifikationen								
Stav povrchu: Oberflächenzustand:		po svaření/ nach Schweißen		Osvětlení: Beleuchtung:		≥ 500 lx		
Číslo výkresu Zeichnung Nr.	Č. Nr.	Kvadrant Sektor	Typ svaru Schweißnahtart	Rozsah zkoušky Prüfumfang [in %]	Datum zkoušky Prüfdatum	Výsledek Ergebniss [i.O/n.i.O]	Oprava Reparatur [i.O/n.i.O]	Přezkoušel Überprüft
	All welds (Všechny svary)			100%	01.06.2023	i.o.		Čip

Obrázek 43 - Protokol o provedené vizuální kontrole

11.4 Zkouška na povrchové trhliny

Pro kontrolu na povrchové trhliny uvádí norma 15614-1 použití kapilární zkoušky, nebo zkoušení magnetickou práškovou metodou. Ve firmě Schäfer-Menk se provádí zkoušky magnetickou práškovou metodou, proto byla zvolena i v tomto případě. Zkoušení se provádí dle ČSN EN ISO 17638. Zkouška byla provedena kvalifikovaným a proškoleným personálem.

11.4.1 Popis zkoušení magnetickou práškovou metodou

Magnetická prášková metoda patří k základním technikám kontroly povrchu výrobků, svarů z feromagnetických materiálů. Metoda spočívá na principu rozptylových polí. Zmagnetováním materiálu dochází k jeho magnetickému nasycení. Vady jako vzduch, struska, plyn, které materiál může obsahovat, mají jiná magnetické vlastnosti, jsou většinou nemagnetické. V místě vady se deformuje magnetické pole a siločáry vystupují nad povrch zkoušeného svaru. S pomocí vhodných identifikačních prostředků, jako je magnetický prášek, můžeme díky tomu jevu zviditelnit a identifikovat vady na povrchu.

Magnetická prášková zkouška identifikuje zejména povrchové vady, ale může také identifikovat nečistoty těsně pod povrchem na rozdíl od kapilární zkoušky. Požadavky zkoušení touto metodou jsou normovány dle ČSN EN ISO 17638.

Povrch zkušebního kusu musí být před zkouškou očištěn, zbaven okují, mastnoty, rozstříku a nečistot jiných látek. Povrch může být upraven pro lepší indikaci broušením brusným papírem nebo místním broušením, ale nesmí být však poškozen.

Typy zařízení magnetující střídavý proud, pokud není stanoveno jinak, se musí použít tyto:

- Elektromagnetická jha
- Zařízení s elektrodami pro průchod proudu
- Vložené či přiložené cívky nebo vodiče

Před zkouškou musí dojít k ověření intenzity magnetického pole. Norma udává k ověření 4 příslušné metody.

Prokazatelnost vad je závislá na úhlu jejich osy vůči ke směru magnetického pole. Minimální úhel osy vady od směru magnetického pole pro detekci vady je 30°. Optimální citlivost identifikace vady je při 90°. Proto je zapotřebí pro spolehlivou identifikaci vad ve všech směrech magnetovat svar ve dvou směrech navzájem na sebe kolmých s maximální odchylkou 30°. Norma dále také uvádí typické magnetizační zkušební techniky.

Jako zkušební prostředek se může použít buďto suchý prášek, anebo kapalina, které jsou ve shodě s ISO 9934-2. Pro zkušební prostředky se periodicky provádí přezkoušení. Prostředek se aplikuje nástřikem, naprášením či poléváním na připravený zkušební kus před i během magnetizace. Poté je dán čas pro utvoření případných indikací vad před odstraněním magnetického pole.

Záznam indikací může být proveden několika způsoby jakou jsou například nákres, fotografie, zápis. Po zkoušce je požadováno vypracování protokolu. [16;20;24]

11.4.2 Zkouška magnetickou práškovou metodou zkušebního kusu

Zkušební kus byl po svaření očištěn a zbaven nečistot a po vizuální kontrole následovala kontrola magnetickou práškovou metodou.

Pro tuto zkoušku bylo použito zařízení magnetické jho typu TWM 220 – TIEDE. Na zkušební kus byla před použitím magnetického prášku nanesena vrstva bílé barvy z důvodů zvýšení kontrastu pro identifikaci vad. Byla použita podkladová barva MR 72.

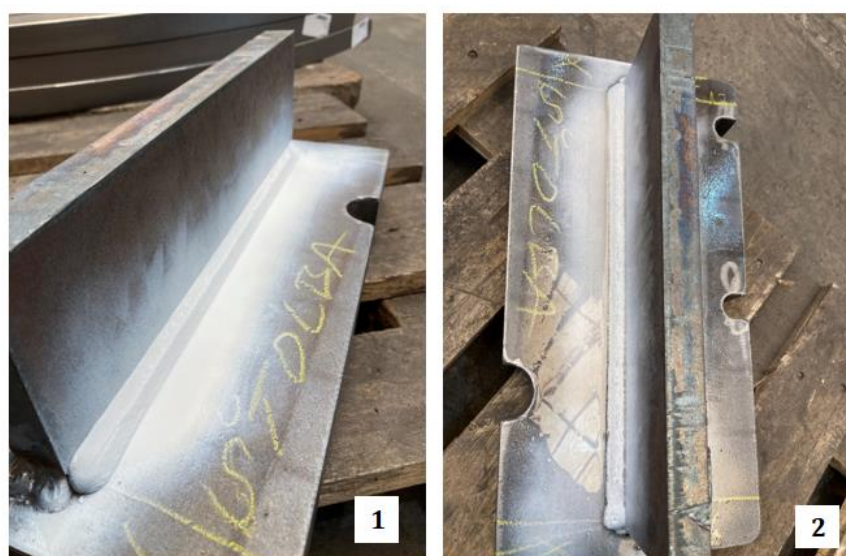
Jako zkušební prostředek byl použit magnetický prášek MR 76 S, což je mokrá nefluorescenční prášek ve spreji, kde je prášek rozptýlen v suspenzi.

Zkušební kus s podkladovou barvou byl magnetizován a během magnetizace byl nanášen magnetický prášek. Magnetizace a nanášení prášku probíhá vždy po částech svaru. Doba jedné magnetizace byla 3-4 sekundy. Svar byl takto kontrolován po celé délce.

Pro záznam indikací jsem pořídil fotografie obou zkoušených svarů před a po magnetizaci. Jak je průkazné na fotografiích, nebyla identifikována žádná povrchová vada ve svaru a svar tak splnil stupeň přípustnosti B (obrázek 44, obrázek 45).




Obrázek 44 -Magnetická zkouška prvního svaru, 1 – před provedení zkoušky, 2 – po provedení zkoušky



Obrázek 45 - Magnetická zkouška druhého svaru, 1- před provedení zkoušky, 2 - po provedení zkoušky

Všechny náležitě informace a výsledky byly zaznamenány v protokolu (obrázek 46).

		Protokol o magnetické metodě práškové (MT) Magnetic Particle Testing (MT)		TK_003_MT				
				Strana/Seite 1/1				
Zákazník		Jiří Štolba						
Kunde								
Dodavatel		SCHÄFER MENK s.r.o.						
Lieferant								
Výrobek		zkušební kus - vana cargotec						
Produkt								
Číslo výkresu		/						
Zeichnungsnummer								
Materiál		S355J2+N						
Material								
Číslo zakázky		/						
Auftragsnummer								
Prováděcí předpisy/ Betriebsvorschriften - Norme								
ČSN EN ISO 23278 st. přípustnosti 2, ČSN EN ISO 17638, ČSN EN ISO 9712 - MT - LEVEL 2								
Místo zkoušky:		Praha		Kvalifikace:	ČSN EN ISO 9712 - MT - LEVEL 2			
				Kvalifikation:				
Technické údaje/ Spezifikationen								
Přístroj:		Magnetické JHO		Osvětlení:	≥ 500 lx			
Gerät:				Beleuchtung:				
Typ:		TWM 220 - TIEDE		Magnetický prášek:	MR 76S			
Type:				Magnetpulver:				
Stav povrchu:		po svaření/ nach Schweißen		Podkladová barva:	MR 72			
Oberflächenzustand:				Untergrundfarbe:				
Měrka:		Berthold		Sediment:	0.4 ÷ 0,8 ml/ 100 ml			
Etalon:				Sediment:				
Vyhodnocovaný úsek:		170mm		Doba magnetizace:	2-4 sec			
Bereich der Bewertungen:				Zeit der Magnetization:				
Číslo výkresu	Č.	Kvadrant	Typ svaru	Rozsah zkoušky	Datum zkoušky	Výsledek	Oprava	Přezkoušel
Zeichnung Nr.	Nr.	Sektor	Schweißnahtart	Prüfumfang (in %)	Prüfdatum	Ergebnis (I.O/n.I.O)	Reparatur (I.O/n.I.O)	Überprüft
			All welds (Všechny svary)		01.06.2023	i.O.		

Obrázek 46 - Protokol o magnetické metodě práškové

11.5 Kontrola makrostruktury

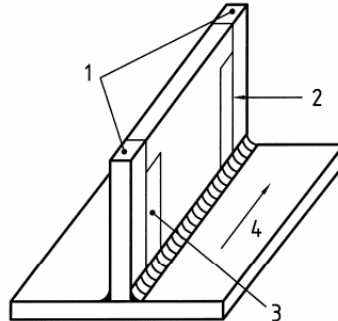
Další předepsanou zkouškou dle ČSN EN ISO 15614-1 je kontrola makrostruktury svarového spoje.

11.5.1 Popis makroskopické kontroly svarů

Makroskopická kontrola svaru patří mezi destruktivní zkoušení a provádí se dle normy ČSN EN ISO 17639. U makroskopické zkoušky je cílem odhalení makroskopických charakteristik svarového spoje vzorku v příčném řezu. To znamená kontrolu a hodnocení struktury, případný nedostatečný průvar nebo geometrický tvar svaru. Zkouška je provedena vizuální kontrolou při malém zvětšení, převážně menším než 50x. Zkouška se může provádět jak v nenaleptaném stavu povrchu vzorku, tak po naleptání povrchu.

U makroskopické zkoušky s naleptáním lze kontrolovat trhliny, dutiny, vměstky, neprůvar, geometrický tvar, tepelně ovlivněnou oblast a jednotlivé vrstvy svaru.

Vzorek je příčný řez, který zahrnuje jak svarový kov, tak tepelně ovlivněnou oblast na obou stranách. V normě ISO 15614-1 je přesně znázorněno z jaké části zkušebního kusu se vzorek musí odebrat (obrázek 47). Vzorek a jeho povrch nesmí být ovlivněn procesy přípravy, jako jsou broušení a řezání či leptání.



Legenda

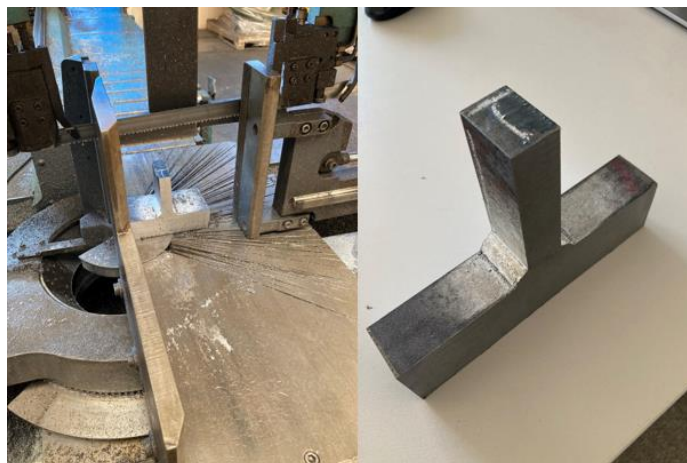
- 1 Odpad 25 mm
- 2 Vzorek pro kontrolu makrostruktury
- 3 Vzorek pro kontrolu makrostruktury a zkoušku tvrdosti
- 4 Směr svařování

Obrázek 47 - Rozdělení zkušebního kusu pro vzorky [16]

Leptadla se užívají různá dle druhu materiálu a uvádí je ISO/TR 16060. Důležité při procesu leptání je dodržovat bezpečnostní opatření jako je ochrana obličeje. Používat v hodné rukavice k manipulaci s kyselinou. Kyselina se vždy zásadně leje do vody, nikdy ne naopak. [16;23]

11.5.2 Makroskopická kontrola zkušebního kusu

Pro makroskopickou zkoušku zkušební kusu byly odebrány dva vzorky. Vzorky byly odděleny pomocí pásové pily (obrázek 46) z přední a zadní části zkušební kusu po odstranění odpadových částí, tak jak uvádí norma. Dále byly vzorky ještě zkráceny do vyhovujících rozměrů pro broušení a leptání.



Obrázek 48 - Dělení na pile

Po zkrácení byly vzorky broušeny na talířové brusce tak, aby bylo dosaženo hladkého a rovinné povrchu. Po broušení se vzorky nechaly vychladnout.

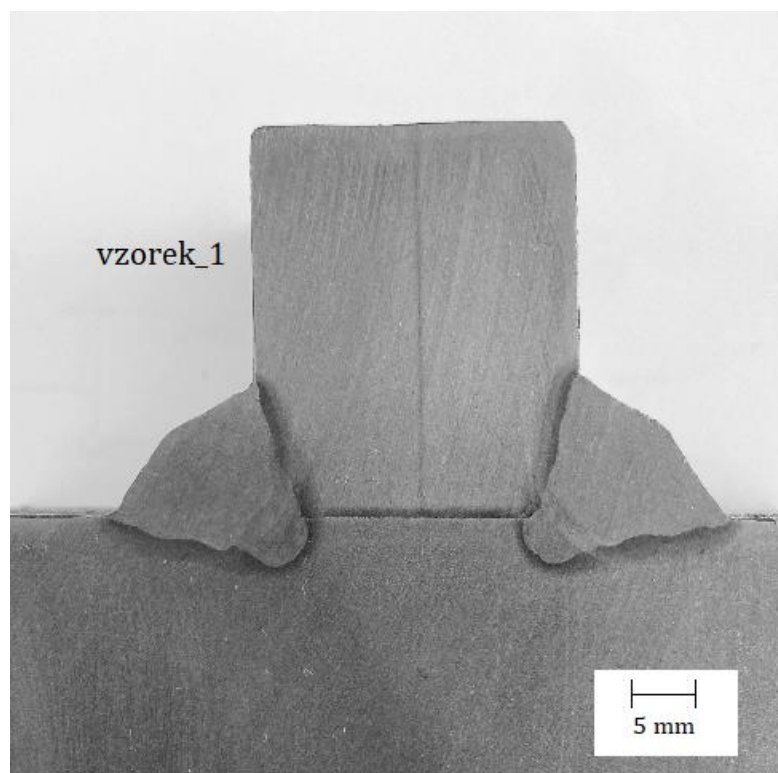
Leptání bylo provedeno směsí 65% kyseliny dusičné a destilované vody v poměru 1:5 až 1:6. Byla použita metoda ponoření vzorku do leptadla. Vzorky se jednotlivě zbroušenou plochou ponořily do směsi po dobu 3 sekund. Po vymoření z leptadla byl každý vzorek okamžitě očištěn čistícím sprejem PORTA Break-Clean a nechal se uschnout. Na obrázku lze vidět nejprve zbroušený broušený vzorek před naleptáním, přípravky pro naleptání vzorku a poté již snímek vzorku po naleptání směsí (obrázek 49).



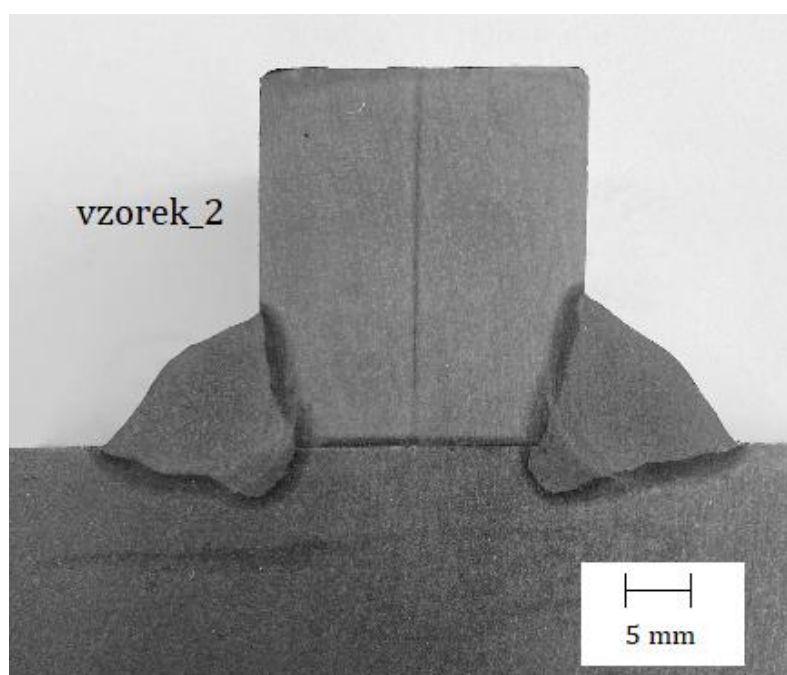
Obrázek 49 - Průběh makroskopické kontroly, 1 - zbroušený povrch vzorku, 2 - přípravky pro naleptání a očištění vzorku, 3 - naleptaný vzorek

Důležité při procesu leptání je dodržovat bezpečnostní opatření jako je ochrana obličeje. Používat v hodné rukavice k manipulaci s kyselinou. Kyselina se vždy zásadně leje do vody, nikdy ne naopak. [23]

Snímky metalografický vzorků byly provedeny telefonem s kvalitním fotoaparátem (obrázek 50, obrázek 51). Na snímkách vzorků nejsou vidět žádné prokazatelné vady. Na obou vzorcích je dobře vidět kořenová a krycí vrstva a tepelně ovlivněná oblast. Pro lepší analýzu a hodnocení svaru byl použit digitální mikroskop Dino-Lite premier, který disponuje i vyhodnocovacím softwarem. Lze tak jednoduše kontrolovat rozměry a geometrii svaru, či hloubku závaru.

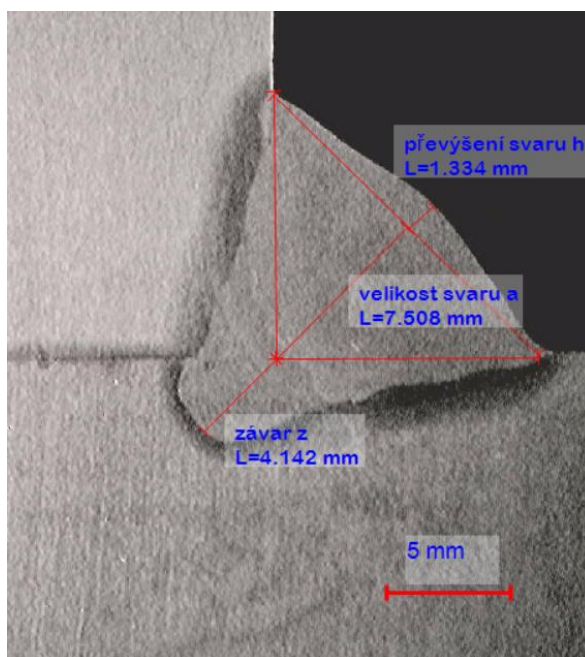


Obrázek 50 - Snímek vzorku 1



Obrázek 51 - Snímek vzorku 2

Pro lepší analýzu a hodnocení svaru byl použit digitální mikroskop Dino-Lite premier, který disponuje i vyhodnocovacím softwarem. Lze tak jednoduše kontrolovat rozměry a geometrii svaru, či hloubku závaru (obrázek 52).



Obrázek 52 - Vyhodnocení rozměrů v softwaru Dino-Lite

V softwaru byla měřena velikost koutového svaru a , která vyšla 7,5 mm, převýšení svaru h = 1,3 mm a změřen byl také závar z o délce 4,1 mm. Všechny rozměry vyhovují požadavkům a nebyla zjištěna žádná rozměrová vada.

11.6 Zkouška tvrdosti

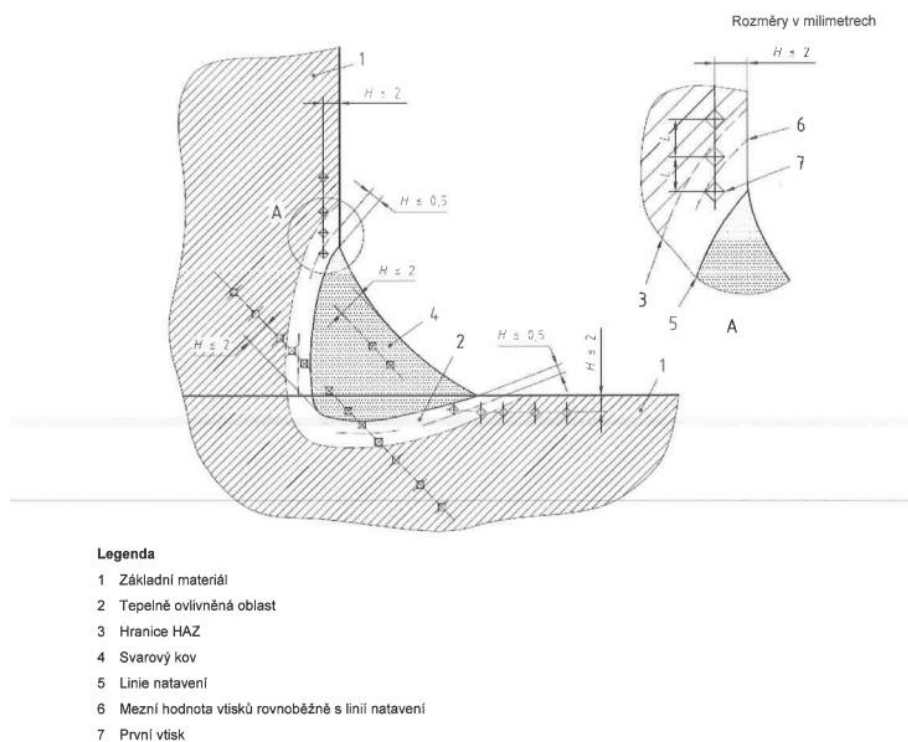
Další destruktivní zkouškou je zkouška tvrdosti podle Vickerse HV 10. Zkoušení tvrdosti na příčných řezech svarových spojů se provádí dle normy ČSN EN ISO 9015-1.

11.6.1 Popis zkoušky tvrdosti

Zkouška tvrdost podle Vickerse je dána normou ČSN EN ISO 6507-1. Při zkoušce tvrdosti dle vickerse se používá diamantový indentor, který má tvar pravidelného čtyřbokého jehlanu o vrcholovém úhlu 136°. Indentor se vtlačuje do povrchu připraveného vzorku určitou silou po určitý čas. Zkušební zatížení pro zkoušku HV10 je 98,07 N (10 kgf). Síla zatížení musí být kolmo ke zkoušenému povrch, jinak je vtisk deformován. Po odlehčení je měřena délka uhlopříček v tisku, ze kterých se počítá aritmetický průměr. Uhlopříčky musí mít mezi sebou menší rozdíl než 5 %, jinak je měření neplatné. Výsledná hodnota tvrdosti se poté stanovuje dle daného vzorce nebo dle výpočetních tabulek z naměřených uhlopříček vtisku.

Vzorkem pro zkoušení je příčný řez na svarový spoj. Povrch, který je zkoušený se dále vhodně upravuje broušením, leštěním a leptáním, aby byly dobře viditelné vtisky.

Zkouška tvrdosti se realizuje řadou vtisků nebo jednotlivými vtisky. Jejich umístění na koutovém svaru, jak udává norma, je vidět na obrázku 53.



Obrázek 53 - Umístění vtisků v jednotlivých oblastech [19]

Aby byl vyhodnocen průběh tvrdosti napříč celým svarovým spojem, je tvrdost měřena ve svarovém kovu, v tepelně ovlivněné oblasti a v základním materiálu. Pro materiál, který má tloušťku větší než 5 mm musí být vyhotoveny dvě řady vtisků. Tyto řady by měly být maximálně 2 mm pod spodním a horním povrchem svařeného spoje. Pro koutové svary musí jedna řada vtisků procházet kořenovou vrstvou svaru. V každé řadě musí být provedeny tři samostatné vtisky pro každou jednotlivou oblast. [16;19]

Je tedy pět oblastí, ve kterém provádíme vtisky:

- Základní materiál 1
- Tepelně ovlivněná oblast (TOO)
- Svarový kov
- Tepelně ovlivněná oblast (TOO)
- Základní materiál 2

Požadavky pro splnění uvádí norma 15614-1 (tabulka 7). Nesmí být překročena maximální přípustná tvrdost 380 HV.

Maximální přípustné hodnoty tvrdosti (HV 10)

Skupiny oceli CR ISO 15608	Tepelně nezpracované	Tepelně zpracované
1 ^a , 2	380	320
3 ^b	450	380
4, 5	380	320
6	-	350
9.1	350	300
9.2	450	350
9.3	450	350

^a Pokud jsou požadovány zkoušky tvrdosti.
^b Pro oceli s min $R_{eH} > 890 \text{ N/mm}^2$ musí být stanoveny zvláštní hodnoty.

11.6.2 Zkouška tvrdosti zkušebního kusu

Jako vzorek pro zkoušku tvrdosti byl použit jeden ze vzorků, na kterém byla hodnocena makrostruktura. Vzorek byl tedy stejně vyříznut a následně broušen, aby se dosáhlo hladkého a rovinného povrchu. Pokud by tak nebylo učiněno, mohlo by to vést k nesprávným výsledkům měření. Po broušení se vzorek také naleptal kyselinou dusičnou pro lepší zobrazení a zvýraznění jednotlivých oblastí.

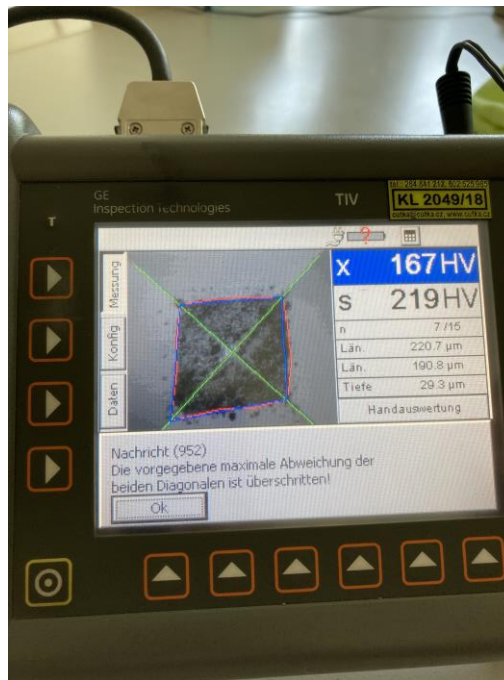
Zkouška byla provedena optický tvrdoměrem GE TIV, který disponuje indentorem v podobě Vickersova diamantu. Celé zařízení a indentor je vidět na obrázku 54. Pro přesné polohování tvrdoměru vůči vzorku byl použit polohovací stojan.



Obrázek 54 - Tvrdoměr GE TIV

Bylo tedy provedeno celkem 15 vtisků vždy tři vtisky v jednotlivé oblasti přes kořenovou vrstvu a stejně také 15 vtisků přes krycí vrstvu pro oba svary.

Během zkoušky byl díky technologii TIV – Through Indenter Viewing, což je pohled skrze diamant, monitorován průběh vtisku. Případně byla provedena ruční korekce uhlopříček plochy vtisku (obrázek 55).

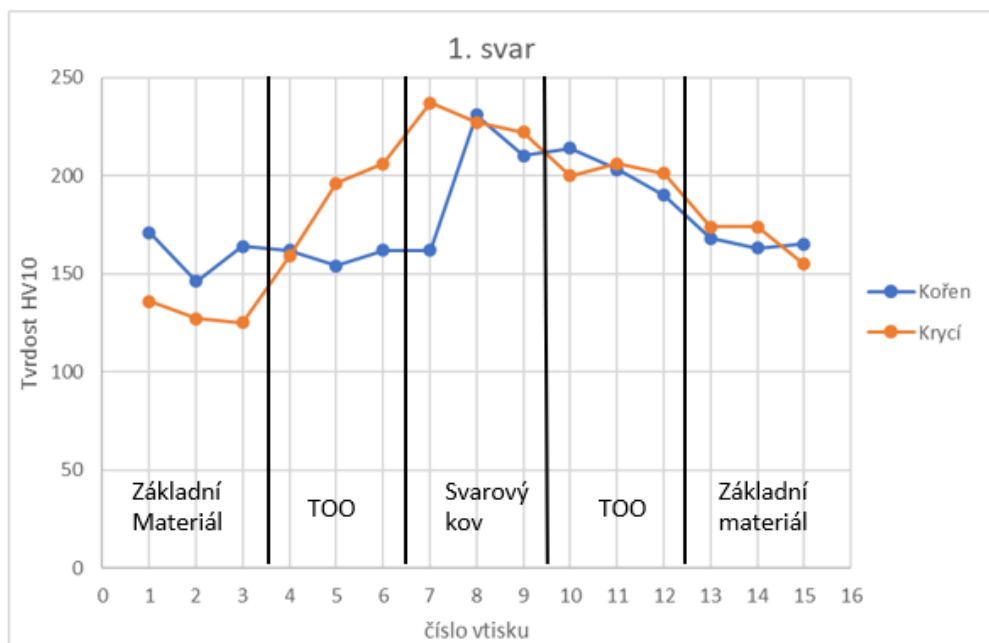


Obrázek 55 - Korekce uhlopříček vtisku pomocí dotykového displeje

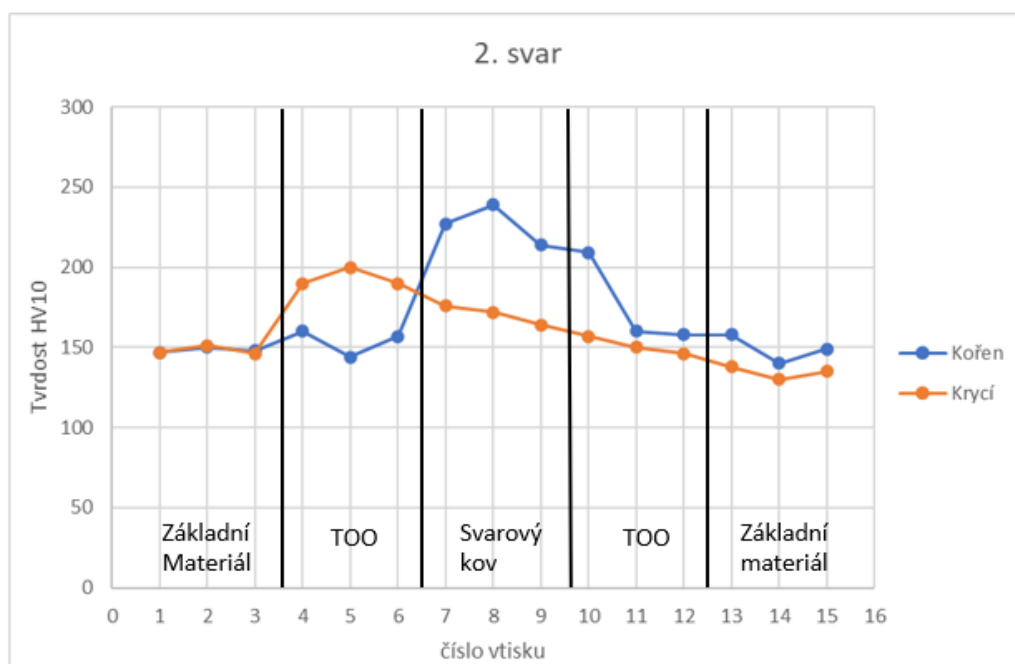
Výsledné hodnoty tvrdosti v jednotlivých oblastech jsou uvedeny v tabulce 8. Z hodnot jsem vytvořil grafy s průběhem tvrdosti v průřezu svaru pro obě vrstvy (obrázek 56 a 57).

Tabulka 8 - Tabulka naměřených hodnot tvrdosti

oblast	vtisk	1.svar		2.svar	
		kořen	krycí	kořen	krycí
Základní materiál 25 mm	1	171	136	147	147
	2	146	127	150	151
	3	164	125	148	146
TOO	4	162	159	160	190
	5	154	196	144	200
	6	162	206	157	190
SVAR	7	162	237	227	176
	8	231	227	239	172
	9	210	222	214	164
TOO	10	214	200	209	157
	11	203	206	160	150
	12	190	201	158	146
Základní materiál 50 mm	13	168	174	158	138
	14	163	174	140	130
	15	165	155	149	135



Obrázek 56 - Graf průběhu tvrdosti 1.svaru vzorku



Obrázek 57 - Graf průběhu tvrdosti 2. svaru vzorku

V tepelně ovlivněné oblasti byly naměřeny hodnoty tvrdosti od 144 do 214 HV, ve svaru byly naměřeny hodnoty tvrdosti od 162 do 239 HV. V TOO nebo ve svaru nebylo zjištěno překročení povolené hodnoty HV 10 nebo její výrazný pokles pod úroveň základního materiálu. Všechny hodnoty splňují dané podmínky a nepřekračují hodnotu tvrdosti 380 HV.

11.7 Navržená WPS

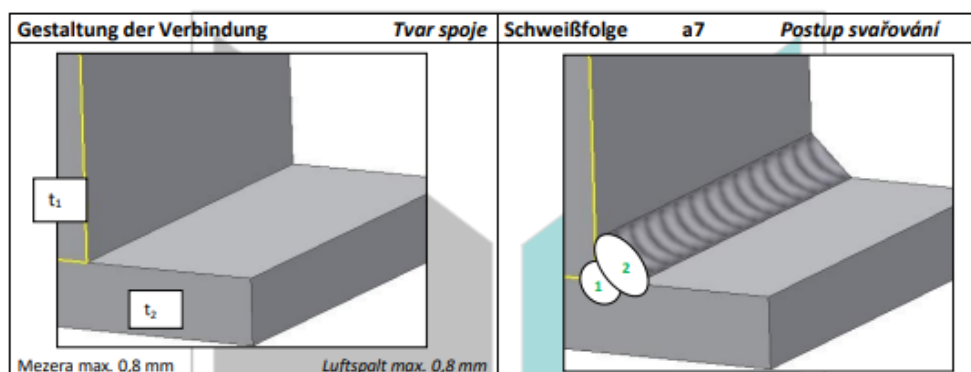
Po ověření v hodnosti parametrů dané WPQR číslo 231/02/13 jsem vytvořil WPS pro koutové svary a7 svařované na robotu.

SCHÄFER MENK
SCHÄFER MENK s.r.o., Přeštínská 1415, 153 00 Praha 5 – Radotín



Schweißanweisung des Herstellers (WPS) – 355 C 7 1.6 Postup svařování výrobce (WPS)

Ort:	Praha-Radotín	Místo:	Prüfer/Prüfstelle:	SVV Praha	Zkušební organizace
Schweißverfahren:	MAG - ROBOT	Metoda svařování	Vorbereitung:	Broušení	Příprava
WPQR:	261/02/2013	WPQR číslo	Grundwerkstoff:	S355J2+N	Základní materiál
Hersteller:	Schäfer Menk	Výrobce	Zusatzwerkstoff:	T 46 4 MM 2 H5	Přídavný materiál
Schweißprozeß	138 R	Metoda svařování	Werkstoffdicke (mm):	12,5 ≤ t ₁ ≤ 30, t ₂ ≥ 5	Tloušťka materiálu
Nahtart:	FW	Druh svaru	Schweißposition:	PA	Poloha svařování
Nahtvorbereitung:	-	Příprava svaru	Schweißer	Operator	Svářeč



Svar	Metoda	Průměr drátu [mm]	Posuv drátu [m/min]	Proud [A]	Napětí [V]	Druh proudu (polarita)	Rychlost svařování [cm/min]	Teplota předehřevu [°C]	Vnesené teplo Q [kJ/mm]	Čas t _{8/5} [s]
1	138	1,6	8,9	440	35,3	=/+	42	-	1,8	-
2	138	1,6	7,8	410	34,5	=/+	42	-	1,6	-

ORIENTAČNÍ ŠÍŘKA HOUSENKY KOŘENOVÝCH VRSTEV 8-10 mm; ORIENTAČNÍ ŠÍŘKA VÝPLŇOVÝCH A KRYCÍCH VRSTEV 10-12 mm

Schweißzusatz:	EN ISO 17632-A: T 46 4 M M 2 H5	Svařovací přísady
Schweißzusatz:	Coreweld 46LS	Svařovací přísady
Hersteller:	ESAB	Výrobce
Charge:	-	Šarže
Schutzgas:	ČSN EN ISO 14175 – M 20 (15% CO ₂ ; 85% Ar)	Ochranná atmosféra
Gasdurchflußmenge:	15-18 l/min	Průtok plynu
Fugen, Unterlage:	-	Drážkování, podložení
Vorwärmtemperatur:	-	Teplota předehřevu
Zwischenlagentemperatur:	-	Mezihouseňková teplota
Wärmenachbehandlung:	-	Tepelné zpracování po svařování
Bemerkung:	- Spočítáno dle programu SSAB WeldCalc	Poznámka:

Hersteller: Schäfer-Menk s.r.o

Prüfer: Schäfer-Menk s.r.o.

Štolba 28.06.2023

Vála 28.06.2023

Name, Datum, Unterschrift

Name, Datum, Unterschrift

Obrázek 58 - Navržená WPS

12 ZÁVĚR

Diplomová práce se věnovala přípravě dílu pro robotické svařování, který se doposud vyráběl ručním poloautomatickým svařování. Na začátku byl proveden rozbor dílu. Popsána byla jeho funkce, jednotlivé části a jejich rozměry. Poté byl popsán dosavadní stav poloautomatického svařování, používané přípravky při svařování, svařovací postup a návod pro svářeče.

V další části bylo potřeba analyzovat svařenec z pohledu technologičnosti k robotickému svařování. Postupně byly zanalyzovány jednotlivé svary a upraveny pro potřeby robotického svařování. Většina obvodových svarů byla rozdělena na více částí, některé svary byly ponechány. Bylo také rozhodnuto o svarech, které se budou vyhotovovat až po robotickém svařování v operaci dovařování. Při analýze se dbalo především na přístupnost k místu svaru a také technologickou náročnost a složitost svaru. Z této analýzy vycházelo zhodnocení vhodnosti svařence ke svařování robotem. Svařenec byl vyhodnocen jako vhodný, jelikož po úpravě se na svařenci nachází ve většině lineární svary delších rozměrů, což je pro robotické svařování vhodné.

Po zhodnocení vhodnosti, jsem začal s návrhem upínacího přípravku pro svařenec do desky polohovadla. K uchycení bylo využito rovné desky svařence, která disponuje několika drážkami a dírami. Tato deska byla pomocí čtyř čepů se závitek upevněna k desce polohovadla. Pro vymezení a ustanovení polohy jsem navrhl také několik dorazů, které mají i bezpečnostní funkci. Navržený přípravek byl ve firmě funkčně a pevnostně schválen.

Dalším úkolem, který následoval, bylo vytvoření předběžného off-line svařovacího programu pro svařenec. Programování probíhalo pomocí softwaru RobOffice a Provis. V podprogramech byli programovány trasy pro jednotlivé svary. Tyto podprogramy byly v hlavním programu poskládány dle technologického postupu, tak jak mají jít za sebou. Do hlavního programu byly rovněž přidáno čištění robota či zastavení pro vizuální kontrolu svaru. Do jednotlivých podprogramů se následně nahrají vhodné parametry pro svařování.

Jako poslední bylo zapotřebí provést předvýrobní pracovní zkoušku na svařovacím robotu, která ověří vhodnost svařovacích parametrů pro koutové svary $a7$ na svařenci, dané protokolem WPQR číslo 261/02/13. Tato pracovní zkouška byla provedena dle normy ČSN EN ISO 15614-1. Pro svaření vzorku byly použity parametry z dané WPQR a svaření bylo provedeno za příslušných podmínek. Následně musely být provedeny zkoušky a kontroly, které pro koutové svary uvádí norma ČSN EN ISO 15614-1. Byla provedena 100% vizuální

kontrola, magnetická prášková zkouška na kontrolu povrchových trhlin, kontrola makrostruktury a zkouška tvrdosti HV10. Jednotlivé zkoušky prokázaly, že svar splňuje požadavky přípustnosti B, tak jak je požadováno zákazníkem. Tudiž použité parametry dané WPQR jsou vhodné. Na základě této předvýrobní pracovní zkoušky jsem vytvořil protokol WPS pro koutové svary *a7* svařované na robotu.

Byly splněny všechny cíle a požadavky práce a svařenec je připraven pro zahájení výroby pomocí robotického svařování. Před úplným začátkem je však zapotřebí ještě fyzicky odladit korekce svařovacího programu přímo na pracovišti s upnutým svařencem.

13 ZDROJE

- [1] O společnosti. Schmenk [online]. [cit. 2023-06-25]. Dostupné z: <https://www.schmenk.cz/cz/o-nas/o-spolecnosti/>
- [2] KOUKAL, Jaroslav, Václav PILOUS a kolektiv autorů. MATERIÁLY A JEJICH SVAŘITELNOST: Učební texty pro kurzy svářečských inženýrů a technologů. Ostrava: ZEROSS, 1999. ISBN 80-85771-63-2.
- [3] AMBROŽ, Oldřich, Bohumil KANDUS a Jaroslav KUBÍČEK. TECHNOLOGIE SVAŘOVÁNÍ A ZAŘÍZENÍ: Učební texty pro kurzy svářečských inženýrů a technologů. Ostrava: ZEROSS, 2001. ISBN 80-85771-81-0
- [4] DRASTÍK, František, Jiří BARTÁK a kolektiv. STROJNICKÁ PŘÍRUČKA – SVAZEK 4: Svařování. Praha 1: Verlag Dashöfer, 2004.
- [5] What is MCAW Welding? In: UpWeld [online]. [cit. 2023-08-04]. Dostupné z: <https://upweld.org/wp-content/uploads/2018/11/What-is-MCAW-Welding.png>
- [6] KOLAŘÍK, Ladislav. Svařitelnost konstrukčních ocelí. In: Teorie spojování a dělení materiálu [online]. [cit. 2023-06-27]. Dostupné z: https://moodle-vyuka.cvut.cz/pluginfile.php/401824/mod_resource/content/3/2_konstrukcni%20oceli.pdf
- [7] PILOUS, Václav. Volba konstrukčních ocelí pro stavební svařované konstrukce podle významu označení. In: KONSTRUKCE [online]. 2013 [cit. 2023-08-04]. ISSN 1803-8433. Dostupné z: <http://old.konstrukce.cz/clanek/volba-konstrukcnich-oceli-pro-stavebni-svarovane-konstrukce-podle-vyznamu-oznaceni/>
- [8] PIRES, J. Norberto, Altino LOUREIRO a Gunnar BÖLMSJO. Welding Robots: Technology, System Issues and Applications [online]. London: Springer-Verlag [cit. 2023-07-02]. ISBN 1852339535. Dostupné z: https://doc.lagout.org/science/0_Computer%20Science/8_Electronics%20%26%20Robotics/Welding%20Robots%20Technology%20System%20Issues%20and%20Applications%20-%20J%20Norberto%20Pires.pdf
- [9] Flux Cored Arc Welding [online]. OHIO 45373 U.S.A.: HOBART INSTITUTE OF WELDING TECHNOLOGY, 2012 [cit. 2023-07-05]. ISBN 978-1-936058-18-1. Dostupné z: <https://www.scribd.com/document/409811441/Flux-Cored-Arc-Welding-pdf#>

-
- [10] Advantages and Disadvantages of Metal Cored Wires. In: ESAB [online]. [cit. 2023-05-18]. Dostupné z: https://esab.com/us/nam_en/esab-university/articles/advantages-and-disadvantages-of-metal-cored-wires/https://www.nastrojecz.cz/dodavatele/nastrojecz_katalog-esab.pdf
- [11] ESAB. Přehled plněných elektrod. In: Welmet [online]. [cit. 2023-08-04]. Dostupné z: https://www.welmet.cz/wp-content/uploads/2019/04/ESAB_Plnene-elektrody.pdf
- [12] Svařitelnost některých technických materiálů a volba přídavných materiálů [online]. In: . ESAB [cit. 2023-05-18]. Dostupné z: http://users.fs.cvut.cz/libor.benes/vyuka/svarovani/N1_svaritelnost_materialu_ESAB.pdf
- [13] MUSIL, Miloslav, Jaromír MORAVEC a kolektiv autorů. Výroba a aplikované inženýrství ve svařování. Česká Třebová: DOM - ZO 13, 2017.
- [14] ČSN EN 10025-1: Výrobky válcované za tepla z konstrukčních ocelí - Část 1: Všeobecné technické dodací podmínky. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2005.
- [15] ČSN EN 10025-2: Výrobky válcované za tepla z konstrukčních ocelí - Část 2: Technické dodací podmínky pro nelegované konstrukční oceli. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2020.
- [16] ČSN EN ISO 15614-1: Stanovení a kvalifikace postupů svařování kovových materiálů - Zkouška postupu svařování - Část 1: Obloukové a plamenové svařování oceli a obloukové svařování niklu a slitin niklu. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2018.
- [17] REIS ROBOTICS. RV10-6, RV20-6, RV20-16: Technische Daten [online]. In: . [cit. 2023-08-02]. Dostupné z: https://www.robosys.eu/images/roboter/RV20-16_mit_RL130/RV20-16_RLV03-2_RDV11.pdf
- [18] EWM. Phoenix 352, 452, 552 RC Puls: Operating instructions [online]. In: . [cit. 2023-08-03]. Dostupné z: <https://www.ewm-sales.com/upload/099-005075-EW501.pdf>
- [19] ČSN EN ISO 9015-1: Destruktivní zkoušky svarů kovových materiálů - Zkoušení tvrdosti - Část 1: Zkouška tvrdosti spojů svařovaných obloukovým svařováním. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2011.

-
- [20] ČSN EN ISO 17638: Nedestruktivní zkoušení svarů – Zkoušení magnetickou metodou práškovou. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2017.
- [21] ČSN EN ISO 17637: Nedestruktivní zkoušení svarů - Vizuální kontrola tavných svarů. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2018.
- [22] ČSN EN ISO 5817: Svařování - Svarové spoje oceli, niklu, titanu a jejich slitin zhotovené tavným svařováním (kromě elektronového a laserového svařování) - Určování stupňů kvality. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2014.
- [23] ČSN EN ISO 17639: Destruktivní zkoušky svarů kovových materiálů - Makroskopická a mikroskopická kontrola svarů. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2022.
- [24] Magnetická prášková zkouška (MT). Gamalux [online]. 2017 [cit. 2023-06-25]. Dostupné z: <https://www.gamalux.cz/pouzivane-metody/magneticka-praskova-zkouska/>
- [25] Interní dokumenty firmy. Praha – Radotín: Schäfer-Menk, 2023
- [26] Odborné rozhovory s kvalifikovanými pracovníky. Praha – Radotín: Schäfer-Menk, 2023.
- [27] Nový překladač v terminálu Lovosice. In: Železničář [online]. [cit. 2023-08-09]. Dostupné z: <https://seznam.cd.cz/zeleznicar/skupina-cd/novy-prekladac-v-terminalu-lovosice/-20468/>

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1 - Výrobky Schäfer-Menk.....	12
Obrázek 2 - Princip svařování MAG [4]	15
Obrázek 3 - MCAW svařování, 1 - Detail plněného drátu, 2 - Ochranný plyn protékající hubicí [5].	17
Obrázek 4 – Vana na rámu překladače	23
Obrázek 5 - Kontejnerový překladač Cargotec [27]	24
Obrázek 6 - Očíslovaný model vany	24
Obrázek 7 - Výrobní výkres svařence	25
Obrázek 8 - Test report chemického složení a mechanických vlastností drátu [25]	27
Obrázek 9 - Stehovací přípravky pro vanu [25].....	28
Obrázek 10 - Schéma postupu svařování [25]	30
Obrázek 11 - Rozdělení obvodových svarů, 1- svary na výkrese, 2- detail svařovaného místa, 3 - rozdělení svaru na dva segmenty.....	32
Obrázek 12 - Obvodové svary pro úchyty, 1 - svary na výkrese, 2 - detail místa svaru, 3 - rozdělení obvodového svaru na dva segmenty	32
Obrázek 13 - Svary na rohu desek.....	33
Obrázek 14 - Svary na výkrese v hodné k robotickému svařování	33
Obrázek 15 - Označení všech svarů pro robotické svařování	34
Obrázek 16 - Postup pro vyhotovení svarů.....	35
Obrázek 17 - Robotické svařovací pracoviště	36
Obrázek 18 - Robot RV20-16 [25]	37
Obrázek 19 - Portál RLV03-1 [17].....	37
Obrázek 20 – Kolébkové polohovadlo RDS50 [25]	38
Obrázek 21 - Deska vany pro upnutí	39
Obrázek 22 - Univerzální deska polohovadla	40
Obrázek 23 - Díry a drážky použité pro upnutí desky	40
Obrázek 24 - Návrh jednoho z čepů	41
Obrázek 25 - Uložení čepů, 1 - uložení v díře desky vany, 2- uložení v drážce desky vany s pojistnými zarážkami	41
Obrázek 26 - Umístění a popis dorazů	42
Obrázek 27 - Model sestavy vany, upínacího přípravku a desky polohovadla	43
Obrázek 28 - Prostředí v RobOffice.....	44
Obrázek 29 - Prostředí ProVis.....	45
Obrázek 30 - Hlavní program	46
Obrázek 31 - Začátek trajektorie svaru N01	47
Obrázek 32 - Další bod trajektorie svaru N01.....	48
Obrázek 33 - Svařování přes rádius svaru N01 – změna na cirkulární pohyb.....	48

Obrázek 34 -Detail drátu a hubice	48
Obrázek 35 - Popis výsledného podprogramu pro svar N01	49
Obrázek 36 - Začátek svařovacího programu.....	50
Obrázek 37 - Konec svařovacího programu	50
Obrázek 38 – 1. strana protokolu WPQR 261/02/2013	51
Obrázek 39 - Výkres zkušebnímu kusu	52
Obrázek 40 - Postehovaný zkušební kus.....	53
Obrázek 41 - Schéma koutového svaru a7, 1 - kořen, 2 - krycí vrstva	53
Obrázek 42 - Průběh svařování, 1 - ovladač pro ruční programování robota, 2 - nastavení správné pozice hubice, 3 - svaření zkušebnímu kusu	54
Obrázek 43 - Protokol o provedené vizuální kontrole	56
Obrázek 44 -Magnetická zkouška prvního svar, 1 – před provedení zkoušky, 2 – po provedení zkoušky	58
Obrázek 45 - Magnetická zkouška druhého svaru, 1- před provedením zkoušky, 2 - po provedení zkoušky	58
Obrázek 46 - Protokol o magnetické metodě práškové	59
Obrázek 47 - Rozdělení zkušebnímu kusu pro vzorky [16]	60
Obrázek 48 - Dělení na pile	60
Obrázek 49 - Průběh makroskopické kontroly, 1 - zbrúšený povrch vzorku, 2 - přípravy pro naleptání a očištění vzorku, 3 - naleptaný vzorek	61
Obrázek 50 - Snímek vzorku 1.....	62
Obrázek 51 -Snímek vzorku 2	62
Obrázek 52 - Vyhodnocení rozměrů v softwaru Dino-Lite.....	63
Obrázek 53 - Umístění vtisků v jednotlivých oblastech [19]	64
Obrázek 54 - Tvrdoměr GE TIV.....	65
Obrázek 55 - Korekce uhlopříček vtisku pomocí dotykového displeje	66
Obrázek 56 - Graf průběhu tvrdosti 1.svaru vzorku.....	67
Obrázek 57 - Graf průběhu tvrdosti 2. svaru vzorku	67
Obrázek 58 - Navržená WPS	68

SEZNAM TABULEK

Tabulka 1 - Hodnoty Ce pro tloušťky materiálu [2]	19
Tabulka 2 - Předehřevy pro tepelný příkon u koutových svarů [25]	21
Tabulka 3 - Chemické složení dle ČSN EN 10025-2 [7]	26
Tabulka 4 - Mechanické vlastnosti oceli S355J2+N	27
Tabulka 5 - Parametry svařovacího zdroje [18]	38
Tabulka 6 - Svařovací parametry.....	54
Tabulka 7 - Maximální přípustné hodnoty tvrdosti [16].....	65
Tabulka 8 -Tabulka naměřených hodnot tvrdosti	66

PŘÍLOHY

Příloha č.1 – Výkres sestavy upínacího přípravku

Příloha č.2 – WPQR 261/02/2013