

FAKULTA STROJNÍ

Studijní program: N0715A270014 - Materiálové inženýrství
a výrobní technologie

Studijní specializace: Bez specializace

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Úprava svarové přípravy pro robotické svařování

Autor: Bc. Jan POMAHAČ

Vedoucí práce: Ing. Anton FLOREK, CSc., Ph.D.

Akademický rok 2020/2021

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI

Fakulta strojní

Akademický rok: 2020/2021

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení: **Bc. Jan POMAHAČ**
Osobní číslo: **S20N0055K**
Studijní program: **N0715A270014 Materiálové inženýrství a výrobní technologie**
Studijní obor: **Materiálové inženýrství a výrobní technologie**
Téma práce: **Úprava svarové přípravy pro robotické svařování**
Zadávací katedra: **Katedra materiálu a strojírenské metalurgie**

Zásady pro vypracování

1. Úvod do svařování v kolejových vozidlech
2. Svařování rámu podvozků kolejových vozidel
3. Doporučená svarová příprava
4. Robotické svařování
5. Úpravy svarových příprav pro robotické svařování
6. Diskuse výsledků
7. Závěr

Rozsah diplomové práce: **50-60 stran**
Rozsah grafických prací: **fotodokumentace, obrázky**
Forma zpracování diplomové práce: **tištěná/elektronická**

Seznam doporučené literatury:

HELLER, Petr a Josef DOSTÁL., *Kolejová vozidla II.*, V Plzni: Západočeská univerzita, 2009. ISBN 9788070436417.

KOLÁŘ, Josef., *Teoretické základy konstrukce kolejových vozidel.*, V Praze: České vysoké učení technické, 2009. ISBN 978-80-01-04262-5.

HRIVŇÁK, Ivan., *Zoáranie a zoariteľnosť materiálov.*, V Bratislave: Slovenská technická univerzita, 2009. Edícia vysokoškolských učebníc. ISBN 978-80-227-3167-6.

SINGH, Remesh., *Applied Welding Engineering: Processes, Codes and Standards, Third Edition: Welding automation.*, United Kingdom: Elsevier, 2020. ISBN 978-0-12-821348-3.


Vedoucí diplomové práce: **Ing. Anton Florek, CSc., Ph.D.**
Centrum energetického výzkumu

Konzultant diplomové práce: **Ing. Jiří Říha**
ŠKODA TRANSPORTATION a.s.

Datum zadání diplomové práce: **6. října 2020**
Termín odevzdání diplomové práce: **28. května 2021**



Doc. Ing. Milan Edl, Ph.D.
děkan



Prof. Dr. Ing. Antonín Kříž, IWE
vedoucí katedry

Prohlášení o autorství

Předkládám tímto k posouzení a obhajobě diplomovou práci, zpracovanou na závěr studia na Fakultě strojní Západočeské univerzity v Plzni.

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracoval samostatně, s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených v seznamu, který je součástí této diplomové práce.

V Plzni dne:

.....

podpis autora

Poděkování

Na začátku bych rád poděkoval vedoucímu práce panu Ing. Anton Florkovi, CSc., Ph.D. za jeho cenné rady a připomínky při jejím vypracování. Dále děkuji konzultantovi Ing. Jiřímu Říhovi za jeho cenné připomínky a znalosti z oblasti konstrukce rámců kolejových vozidel. Velké poděkování patří průkopníkovi v robotickém svařování ve Škoda Transportation a.s., Ing. Josefu Boháčovi. Celou dobu jsem se opíral o jeho nápady a zkušenosti s úpravou svarových příprav pro robotické svařování a robotickým svařováním v praxi. Dále děkuji Ing. Filipu Trnkovi za přínosné připomínky v oblasti robotického svařování a také Dušanu Královi za podporu v dokončení této práce. Na závěr bych chtěl poděkovat celé své rodině, za jejich vytrvalost a snahu mě podporovat.

ANOTAČNÍ LIST DIPLOMOVÉ PRÁCE

AUTOR	Příjmení Pomahač	Jméno Jan	
STUDIJNÍ PROGRAM	N0715A270014 - Materiálové inženýrství a výrobní technologie		
VEDOUČÍ PRÁCE	Příjmení (včetně titulů) Ing. Florek, CSc., Ph.D.	Jméno Anton	
PRACOVÍŠTĚ	ZČU - FST - KKS		
DRUH PRÁCE	DIPLOMOVÁ	BAKALÁŘSKÁ	Nehodící se škrtněte
NÁZEV PRÁCE	Úprava svarové přípravy pro robotické svařování		

FAKULTA	strojní	KATEDRA	KMM	ROK ODEVZD.	2021
----------------	---------	----------------	-----	--------------------	------

POČET STRAN (A4 a ekvivalentů A4)

CELKEM	65	TEXTOVÁ ČÁST	55	GRAFICKÁ ČÁST	0
---------------	----	---------------------	----	----------------------	---

STRUČNÝ POPIS (MAX 10 ŘÁDEK)	Diplomová práce se zabývá aplikací robotického svařování na celky rámu kolejových vozidel s upravenou svarovou přípravou. Cílem je zredukovat množství svarového kovu a vneseného tepla a zrychlit tím proces výroby.
ZAMĚŘENÍ, TÉMA, CÍL POZNATKY A PŘÍNOSY	
KLÍČOVÁ SLOVA	Robotické svařování, úprava svarové přípravy, rám podvozku kolejového vozidla
ZPRAVIDLA JEDNOSLOVNÉ POJMY, KTERÉ VYSTIHUJÍ PODSTATU PRÁCE	

SUMMARY OF DIPLOMA SHEET

AUTHOR	Surname Pomahač	Name Jan	
STUDY PROGRAMME	N0715A270014 - Materiálové inženýrství a výrobní technologie		
SUPERVISOR	Surname (Inclusive of Degrees) Ing. Florek,CSc., Ph.D.	Name Anton	
INSTITUTION	ZČU - FST - KKS		
TYPE OF WORK	DIPLOMA	BACHELOR	Delete when not applicable
TITLE OF THE WORK	Modification of weld groove for robotic welding		

FACULTY	Mechanical Engineering	DEPARTMENT	Material Science and Techonology	SUBMITTED IN	2021
----------------	------------------------	-------------------	----------------------------------	---------------------	------

NUMBER OF PAGES (A4 and eq. A4)

TOTALLY	65	TEXT PART	55	GRAPHICAL PART	0
----------------	----	------------------	----	-----------------------	---

BRIEF DESCRIPTION TOPIC, GOAL, RESULTS AND CONTRIBUTIONS	This diploma thesis deals with the application of robotic welding to assemblies of rail vehicle frames with modified weld groove. The aim is to reduce the amount of weld metal and heat input and thus speed up the production process.
KEY WORDS	Robotic welding, modification of weld groove, bogie frame of rail vehicle

Obsah

Zadání DP.....	Chyba! Záložka není definována.
Přehled použitých zkratk a symbolů	10
Seznam obrázků	11
Seznam tabulek	12
1 Úvod	13
2 Svařování v kolejových vozidlech	14
2.1 Svařování rámu podvozků kolejových vozidel.....	17
2.2 Výrobní proces.....	19
2.3 Průřezy podélníků a příčníků	20
2.4 Používané materiály	23
2.4.1 Svařitelnost.....	24
3 Robotizace ve svařování.....	25
3.1 Programování	27
3.2 Senzorika.....	28
4 Svařovací přípravky	31
4.1 Zásady pro konstrukci svařovacích přípravků.....	32
5 Výroba dílců pro svařování.....	33
5.1 Svarová příprava	33
5.2 Výroba úkosů	34
5.3 Ohýbání.....	35
6 Vybrané druhy příprav svarových spojů dle EN 15085-3.....	37
7 Praktická část.....	39
7.1 Úprava příprav svarových spojů pro robotické svařování.....	39
7.1.1 V-svary s kovovou podložkou	40
7.1.2 1/2V svary s podložkou	42
7.1.3 X svary	44
7.2 Porovnání ploch příčného řezu svarů	45
7.3 Příprava vzorků	46
7.4 Svařování vzorků.....	47
7.5 Vyhodnocení vzorků	50
7.5.1 Vnesené teplo.....	52
7.6 Návrh robotického svařovacího pracoviště	56
8 Diskuze výsledků	57
9 Závěr	58

10	Seznam použitých zdrojů	60
11	PŘÍLOHA č. 1	62
12	PŘÍLOHA č. 2	63
13	PŘÍLOHA č. 3	64
14	PŘÍLOHA č. 4	65
15	PŘÍLOHA č. 5	66
16	PŘÍLOHA č. 6	67

Přehled použitých zkratk a symbolů

CAD	Počítačem podporované projektování (Computer Aided Desing)
CAM	Počítačem podporovaná výroba (Computer Aided Manufacturing)
CAROLA	Pokročilý robotický jazyk firmy Cloos (Cloos Advanced RObot LAnguage).
CEV	Uhlíkový ekvivalent (Equivalent of carbon content)
CL	Úroveň certifikace (Certification level)
CNC	Číslicově řízený stroj (Computer Numerical Control)
CP	Třída provedení (Class of performance)
ČSN	Česká technická norma
EN	Evropská norma
EU	Evropská unie
HV10	Měření tvrdosti dle Vickerse (zatížení 10kp)
IT	Informační technologie
MT	Magnetická zkouška
MAG	Tavné svařování odtavující se elektrodou v aktivním plynu (Metal Active Gas)
MIG	Tavné svařování odtavující se elektrodou v inertním plynu (Metal Inert Gas)
PHG	Ruční programovací konzola
pWPS	Předvýrobní svařovací postup (preliminary Welding Procedure Specification)
TEN-T	Transevropská dopravní síť (Trans-European Transport Network)
TIG	Tavné svař. wolframovou elektrodou v inertním plynu (Tungsten Inert Gas)
TOO	Tepelně ovlivněná oblast
UIC	Mezinárodní železniční unie (International Union of Railways)
VT	Vizuální zkouška
WPS	Svařovací postup (Welding Procedure Specification)
WPQR	Kvalifikace postupu svařování (Welfing Procedure Qualification Report)

Seznam obrázků

- Obr. 1 - Základní konstrukční prvky podvozku kolejového vozidla [12]
- Obr. 2 - Otevřený H rám podvozku kolejového vozidla, bez konzolí pro trakční, brzdná a další zařízení
- Obr. 3 - Podélník otevřeného H rámu podvozku kolejového vozidla, bez konzolí
- Obr. 4 - Příčník otevřeného H rámu podvozku kolejového vozidla, bez konzolí
- Obr. 5 – Průřezy hlavních prvků svařovaného rámu podvozku [1]
- Obr. 6 – Svarové spojení pásnic podélníku nebo příčníku
- Obr. 7 – Robotické svařovací pracoviště vybavené osmiosým svařovacím robotem s vertikálním pojezdem a otočnou osou v základně stojanu a dvouosým orbitálním polohovadlem svařence od firmy IGM [20]
- Obr. 8 – Proces on-line programování svařovacího robota [26]
- Obr. 9 – Programovací konzole svařovacích robotů firmy IGM [18] vlevo a firmy CLOOS vpravo
- Obr. 10 – Off-line software pro programování svařovacího robota
- Obr. 11 – Posunutí naprogramovaných drah pomocí dotykového senzoru na svařovací hubici [21]
- Obr. 12 – Zkracování hořícího elektrického oblouku při rozkvyvu ve svarové drážce [24]
- Obr. 13 – Skenování dílce pomocí on-line laserového senzoru [25]
- Obr. 14 – Stehovací přípravek pro sestavení na svařovacím stole se stavebnicovými prvky systému Siegmund doplněné univerzálními svěrkami
- Obr. 17 – Obrobená svarová příprava na odlitku
- Obr. 18 – Obrobená svarová příprava na plechu
- Obr. 19 – Model stojiny vnitřní pro sestavu příčníku
- Obr. 20 – Sken stojiny vnitřní příčníku, porovnání odchylek vyrobeného kusu s CAD modelem
- Obr. 21 – Porovnání ploch upravených svarů
- Obr. 22 – Nastehovaný vzorek svaru 15X s měřením svarové mezery
- Obr. 23 - Svařovací robot QIROX QRC 350 [15]
- Obr. 24 - Svařovací zdroj QINEO PULSE 601 [23]
- Obr. 25 – Programovací konzola PHG [21]
- Obr. 26 – Průběh svařování vzorku 18X
- Obr. 27 – Robotem svaření vzorek svaru 18X s vyznačenými místy rozřezů
- Obr. 28 – Robotem svaření vzorek svaru 15V s vyznačenými místy rozřezů
- Obr. 29 – Programovací konzole PHG, zobrazení aktuálního vneseného tepla
- Obr. 30 – Model robotického pracoviště pro svařování podélníku a příčníku

Seznam tabulek

- Tabulka 1 – Vztah mezi kategorií namáhání, bezpečnostní kategorií, třídou provedení, stupněm jakosti, třídou kontroly a zkoušením [3]
- Tabulka 2 – Chemické složení vybraných materiálů pro rámy podvozků kolejových vozidel [1]
- Tabulka 3 – Mechanické vlastnosti vybraných plechů na rámy podvozků kolejových vozidel [1]
- Tabulka 4 – Příprava svarového spoje a velikost drážek svarů [3]
- Tabulka 5 – Inspekční certifikát pro materiál P20, S355NL
- Tabulka 6 – Úspory upravených svarových příprav pro robotické svařování

1 Úvod

Pro naši společnost a hospodářství je doprava naprosto zásadní. Poskytuje svobodu cestování, zajišťuje přepravu nákladu a vytváří pracovní místa. Jsou na ni kladeny požadavky udržitelnosti vzhledem ke zdrojům a šetrnosti k životnímu prostředí.

Kolejová vozidla hrají důležitou roli v plánu Evropské unie, který je zpracován v dokumentu *„Plán jednotného evropského dopravního prostoru: vytvoření konkurenceschopného dopravního systému účinně využívajícího zdroje“*. Plán obsahuje čtyřicet bodů a uvádí sto třicet jedna iniciativ pro dalších deset let s cílem vybudovat konkurenceschopný dopravní systém, který zajistí účinnou a bezpečnou přepravu lidí a zboží po celé Evropské unii. Cílem plánu je snížit závislost EU na dovážené ropě. Dále se má do roku 2030 dosáhnout v centru velkých měst stavu dopravy v podstatě bez produkce CO₂ a do roku 2050 snížit emise uhlíku z dopravy o 60 %. Mezi body týkající se kolejových vozidel patří:

- převést 30 % silniční přepravy nákladu nad 300 km na železnici do roku 2030 a více než 50 % do roku 2050,
- ztrojnásobit délku stávajících vysokorychlostních železničních sítí do roku 2030. Většina osobní dopravy na střední vzdálenost by do roku 2050 měla probíhat po železnici,
- plně zprovoznit celo-unijní „hlavní síť“ TEN-T integrující všechny formy dopravy do roku 2030
- propojit významná letiště na železniční síť a zajistit, že všechny hlavní mořské přístavy jsou napojeny na železnici a vnitrozemské vodní cesty do roku 2050,
- zavést systém řízení dopravy pro železniční dopravu. [10, 11]

Z výše uvedeného plánu plyne zvýšená poptávka po kolejových vozidlech.

Uspěť v zakázkách znamená vyhovět požadavkům zadavatele a současně nabídnout nejnižší cenu za nákup, provoz a údržbu vozidel. Výroba tak složitého celku, jako je kolejové vozidlo, vyžaduje komplexní znalosti napříč strojním, elektro a IT inženýrstvím. Tato práce se věnuje výrobě svařované konstrukci rámu podvozku kolejového vozidla tak, aby tato výroba byla efektivnější a umožnila snížení výrobní ceny tohoto celku v souvislosti s aplikací robotického svařování.

V diplomové práci je snahou aplikovat robotické svařování na podsestavy rámu podvozků kolejových vozidel s upravenou svarovou přípravou. Jedná se o zúžení kořenové mezery svaru a o redukci úhlu rozevření svarové přípravy. Navržené úpravy mají snížit objem svarového kovu, množství vneseného tepla a tak poskytnout i menší deformace svařovaného celku.

Pro robotizaci v procesu svařování je zásadní, aby nastehovaný dílec, který je připraven pro robotické svařování, byl připraven v opakovatelné přesnosti. Tomu musí být podřízené veškeré operace, které robotickému svařování předchází počínaje nákupem polotovarů přes výrobu detailů až po založení dílce do svařovacího přípravku pro svařování. Při aplikaci robotického svařování je po nastavení, validování a kvalifikaci svařovacího procesu výhodou jeho stálá opakovatelnost, kdy svařovací zařízení zachovává stejné svařovací parametry. Další výhodou je vysoká rychlost manipulací s hořákem a svařencem, který je upevněn pomocí přípravku na polohovadle. Navíc v současné době čelí trh problematice nedostatku kvalifikovaných svářečů, kteří musí být nahrazeni. Tyto argumenty jsou důvodem zabývat se robotickým svařováním. [13, 16]

2 Svařování v kolejových vozidlech

Svařování patří mezi zvláštní procesy, protože jeho výsledek nelze vždy ověřit zkoušením. Kvalita svaru musí být zajišťována kontrolami, zkouškami výrobku a řízením souvisejících procesů. Pro řízení svařovacího procesu existuje řada norem, které musí výrobce kolejových vozidel dodržovat. Všichni výrobci kolejových vozidel nebo výrobci svařovaných produktů pro kolejová vozidla musí vlastnit certifikát svařovacího procesu, tedy doklad o způsobilosti výrobce. [1, 9]

Certifikace přináší prokázání závazku k plnění zákonných požadavků a požadavků předpisů s důrazem na části systému zabezpečení jakosti. Dokazuje garanci stálosti výrobního procesu svařování a tím i stabilní a vysokou kvalitu poskytovaných služeb a produktů. Také prokazuje zkvalitnění procesu kontrol v procesech svařování, logistického a skladového hospodářství. Certifikací je také zaručeno zkvalitnění provázanosti na požadavky výrobních norem a zajištění podniku po stránce personální. Certifikace prokazuje vhodnost, účinnost a efektivnost vybudovaného systému managementu jakosti třetí nezávislou stranou, zkvalitnění systému řízení a zdokonalení organizační struktury organizace. [1, 9]

Kolejová vozidla jsou certifikována podle požadavků normy EN ISO 3834:2005, kdy jsou zajištěny požadavky na jakost svarů finálního výrobku. Musí být zaznamenány všechny důležité údaje. Podstatný je celkový dohled nad materiálem již od fáze příjmu, pokračujíc přes provádění svařovacích prací, konečných úprav, končíc předáním hotového výrobku. Norma EN ISO 3834:2005 je dále dělena do jednotlivých částí, které předepisují základní, střední nebo vyšší úroveň požadavků na jakost. [1, 9]

Výrobce kolejových vozidel musí být certifikován dle normy EN 15085-2:2007 – Železniční aplikace – svařování kolejových vozidel a jejich částí. Tato norma obsahuje přesné požadavky na kvalitu a certifikaci výrobce při svařování. Pro výrobce jsou v normě jasně stanoveny certifikační úrovně a požadavky při svařování a jsou v ní také popsány postupy pro ověření výrobce při tavném svařování. [1, 9]

Podle normy EN 15085-2:2007 je dále nutné provést klasifikaci výrobku, která se provádí na základě použití, umístění a namáhání svařence, podle certifikačních úrovní. Jsou předepsány celkem čtyři certifikační úrovně, a to CL 1 až CL 4. Tyto certifikační úrovně následně předepisují třídy provedení svaru CP A až CP D svarových spojů stanovených v normě EN 15085-3:2007. [1, 9]

Již ve fázi návrhu, dle bezpečnostní kategorie a kategorie namáhání, musí být určena jakost svarů. Musí být také brána v úvahu přístupnost a proveditelnost svarů. V normě EN 15085-3:2007 je celkově šest tříd provedení svaru (CP A, CP B, CP C1, CP C2, CP C3, CP D), které jsou přímo spojeny s třídou zkoušení svaru a prováděním kontrol (CT 1, CT 2, CT 3, CT 4). Dle třídy kontroly jsou svary podrobeny objemovým zkouškám, povrchovým zkouškám a vizuální prohlídce, která je vždy stoprocentní. Pro lepší přehlednost slouží tabulka 1 a pro ověřování svarového spoje schéma 1. [1, 3, 9]

Vztah mezi kategorií namáhání, bezpečnostní kategorií, třídou provedení, stupněm jakosti, třídou kontroly a zkoušením							
Kategorie namáhání	Bezpečnostní kategorie	Třída provedení svaru	Stupeň jakosti EN ISO 5817 EN ISO 10042	Třída kontroly	Objemové zkoušky RT nebo UT	Povrchové zkoušky MT nebo PT	Vizuální prohlídka VT
Vysoká	Vysoká	CP A	B	CT 1	100%	100%	100%
Vysoká	Střední	CP B	C	CT 2	10%	10%	100%
Vysoká	Nízká	CP C2	B	CT 3	Nepožaduje se	Nepožaduje se	100%
Střední	Vysoká	CP B	C	CT 2	10%	10%	100%
Střední	Střední	CP C2	C	CT 3	Nepožaduje se	Nepožaduje se	100%
Střední	Nízká	CP C3	C	CT 4	Nepožaduje se	Nepožaduje se	100%
Nízká	Vysoká	CP C1	C	CT 2	10%	10%	100%
Nízká	Střední	CP C3	C	CT 4	Nepožaduje se	Nepožaduje se	100%
Nízká	Nízká	CP D	D	CT 4	Nepožaduje se	Nepožaduje se	100%

Tabulka 1 – Vztah mezi kategorií namáhání, bezpečnostní kategorií, třídou provedení, stupněm jakosti, třídou kontroly a zkoušením [3]

Výrobce kolejových vozidel musí disponovat svářeči s kvalifikací dle ISO EN 9606-1 nebo EN ISO 9606-2 či EN 14732 (zkoušky svářečských operátorů) a musí zajistit svářečský dozor s dostatečnými technickými znalostmi podle EN ISO 14731. [1, 9]

Na základě informací od konzultanta se na rámech podvozků kolejových vozidel vyskytují svary ve třídě provedení CP B, CP C2 a CP C3. Přičemž svary ve třídě provedení CP B se vyskytují na spodní pásnici podélníku, která bývá obvykle nejvíce namáhanou částí.

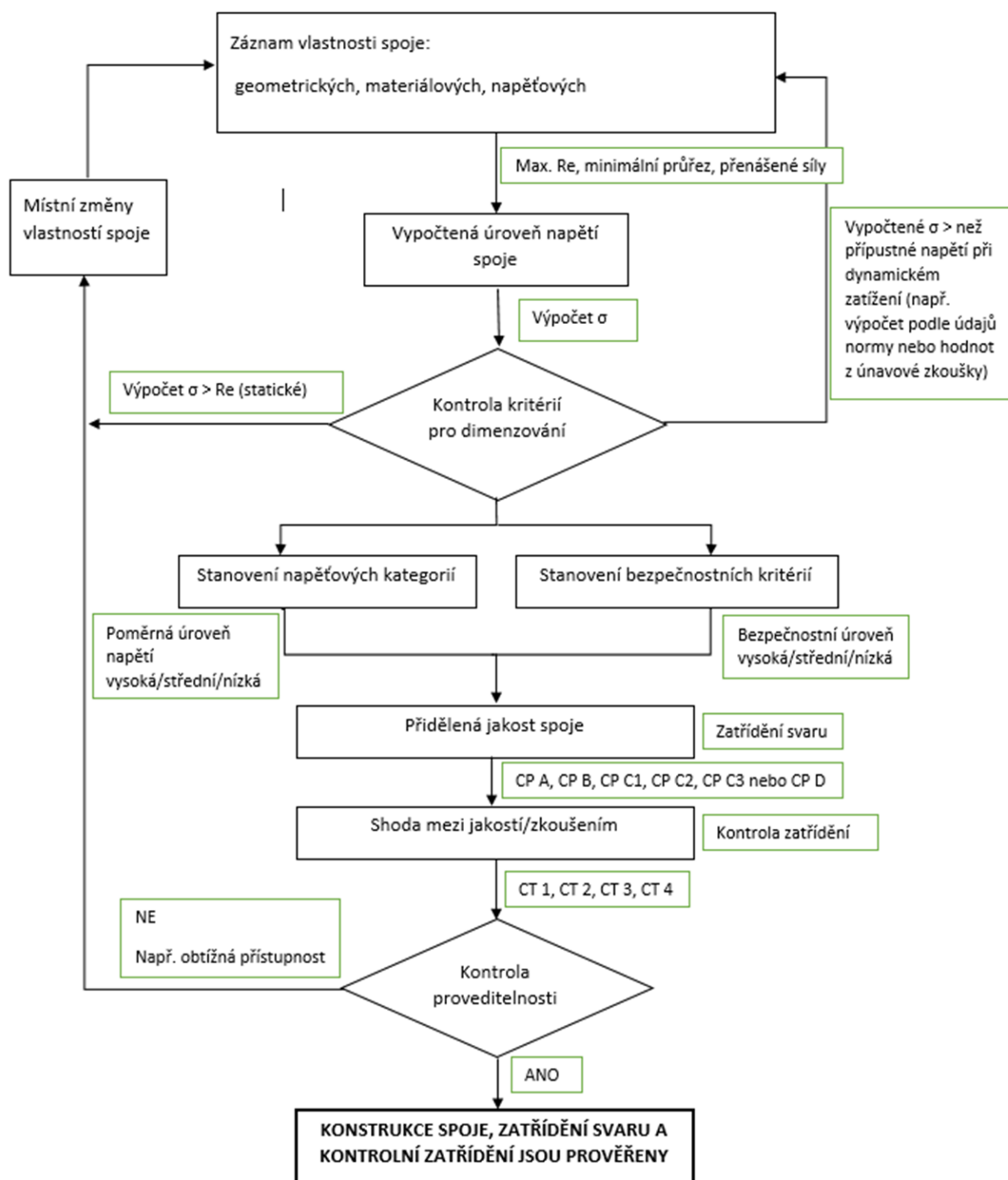
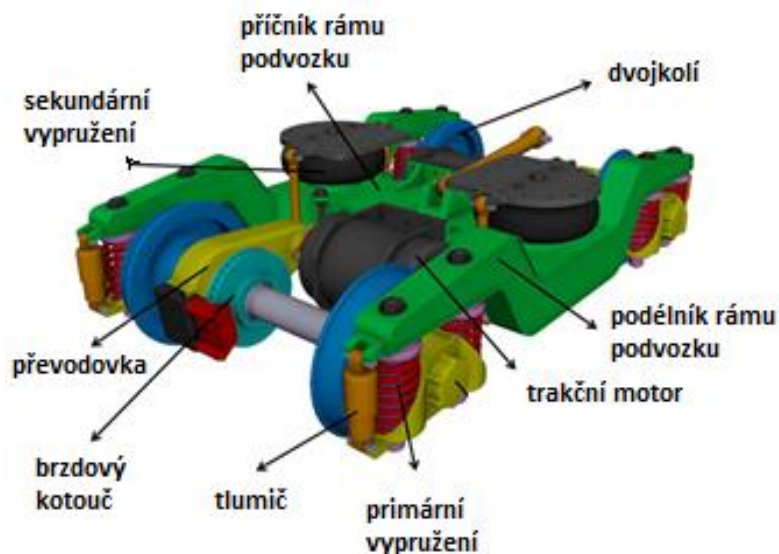


Schéma 1 - Ověřování svarového spoje [3]

2.1 Svařování rámu podvozků kolejových vozidel

Rám podvozku je základní nosnou částí podvozku, která je spojena pomocí primárního vypružení s dvojkolím (předpokládejme rám dvounápravový) a která nese a vede skříň vozidla prostřednictvím vypružení sekundárního. Rám podvozku dále obsahuje zařízení pro přenos tažných a brzdných sil. Jsou na něm upevněny nebo zavěšeny také další celky jako trakční motor, brzdová výzbroj, mazání okolků, kabeláž, uzemnění a podobně. Dvojkolí je k rámu podvozku jištěno pochytkami, aby je bylo možné zvedat společně s rámem. Rám je upevněn ke skříni vozidla, aby bylo možné zvedat podvozek společně se skříní vozidla. Popis základních celků podvozku kolejového vozidla je na obr. 1. [1]



Obr. 1 - Základní konstrukční prvky podvozku kolejového vozidla [12]

Jedná se o dynamicky namáhanou součást, která je v reálných podmínkách vystavena provoznímu zatížení, které nelze popsat jednoduchými vzorci. Proto bylo staveno náhradní spektrum zatížení, které je dáno legislativou na bázi vyhlášek UIC, normami a vnitřními předpisy provozovatele. Zatížení rámu podvozku je obecně děleno na vnitřní a vnější. [1]

Vnitřní zatížení je způsobeno činností výstroje podvozku, jako je brzda, trakční motor, tlumiče, torzní stabilizátory a další. Vnější zatížení je způsobeno jízdou vozidla po reálné trati. Patří sem gravitační a dynamické síly ve svislém a příčném směru, které jsou způsobeny nerovnostmi koleje, jízdou obloukem, přejezdem styků kolejnic, zborcené koleje a zatížením užitečnou zátěží. [1]

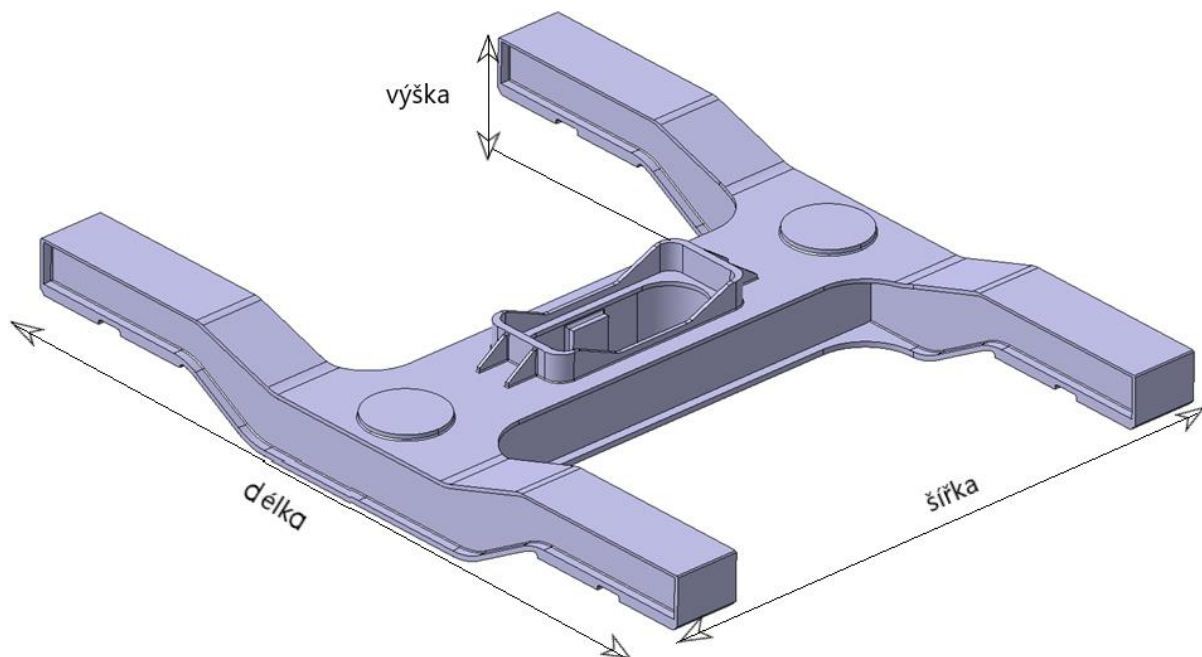
Dle ČSN EN 13749 jsou podvozky děleny zejména dle požadavků na jejich rámy.

Rámy podvozků je možné členit do několika skupin podle typu konstrukce nebo použití. Podle typu konstrukce se rámy dělí na uzavřené, otevřené, tuhé a poddajné (někdy se uvádějí i polouzavřené). Podle použití potom na rámy podvozků nákladních vozů, osobních a elektrických vozů a lokomotiv. Každá skupina obsahuje charakteristické konstrukční rysy podle požadovaných vlastností a umístění konstrukčních prvků. [1]

Rám podvozku je odlévané nebo svařované konstrukce z plechových výpalků a výlisků. Pro konstrukci rámu podvozků vozů osobních elektrických jednotek převažuje typ otevřené

svařované konstrukce tvaru H. Požadavkem na tyto rámy je nízká hmotnost, dobré chodové vlastnosti v rámci podvozku, nízké opotřebení a nízké náklady na údržbu. Protože hmotnost ovlivňuje potřebné rozjezdové síly, potřebný výkon a spotřebu energie na jízdu, je vždy snahou ji redukovat. [1, 2]

Ukázkové schéma svařovaného H rámu podvozku bez konzolí pro trakční, brzdná a další zařízení spojená s rámem je na obr. 2.



Obr. 2 - Otevřený H rám podvozku kolejového vozidla, bez konzolí pro trakční, brzdná a další zařízení

Svařovaná konstrukce dovoluje optimalizovat kombinaci polotovarů (plechy různé tloušťky, odlitky a výkovky) dle pevnostního dimenzování, a tak šetřit hmotnost. [1]

Pro účely diplomové práce byl vymodelován rám o základních rozměrech:

- Výška = 500 mm
- Šířka = 2 400 mm
- Délka = 3 000 mm

2.2 Výrobní proces

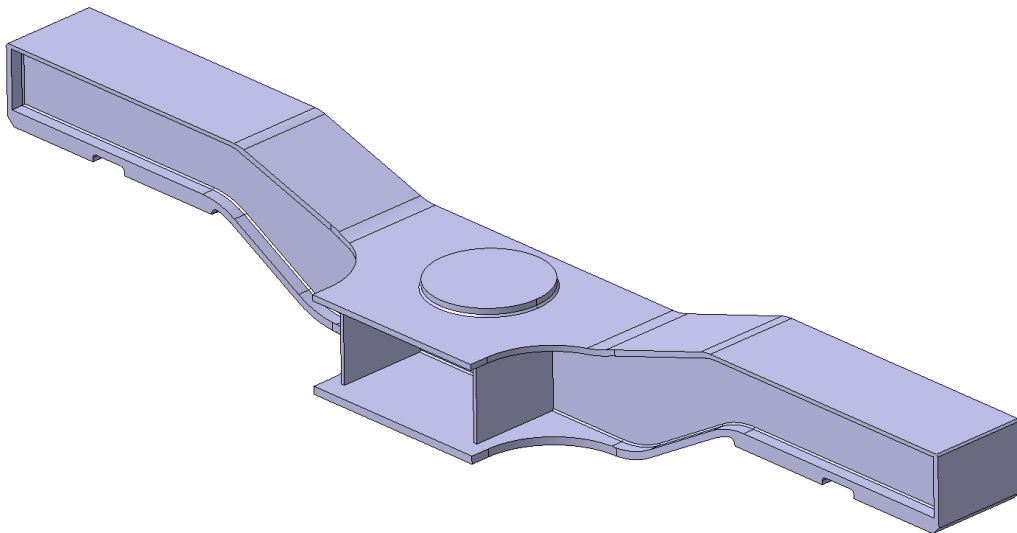
Proces výroby svařovaného rámu podvozku je zobrazen na schéma 2. Z polotovarů, kterými mohou být plechy, odlitky a výkovky, jsou vyrobeny detaily. Z těchto detailů jsou nejprve složeny jednotlivé podsestavy. Následuje jejich svaření a rovnání. Po obrobení napojovacích míst a kontrole rozměrů je ze dvou podélníků a jednoho příčnicku složen rám podvozku. Na rám podvozku je nejprve svařeno spojení podélníků a příčnicku. Poté následuje navaření konzol a návarků. V další operaci je celý rám vyrovnán a je převezen do žíhací pece. Po žíhání je rám otryskán a nalakován základovým lakem. Poté je rám orýsován a obrobena na CNC obráběcím centru. Po obrábění je rám proměřen. Pokud rám rozměrově vyhovuje, je opatřen vrchním lakem a odeslán do montáže. [1, 2]



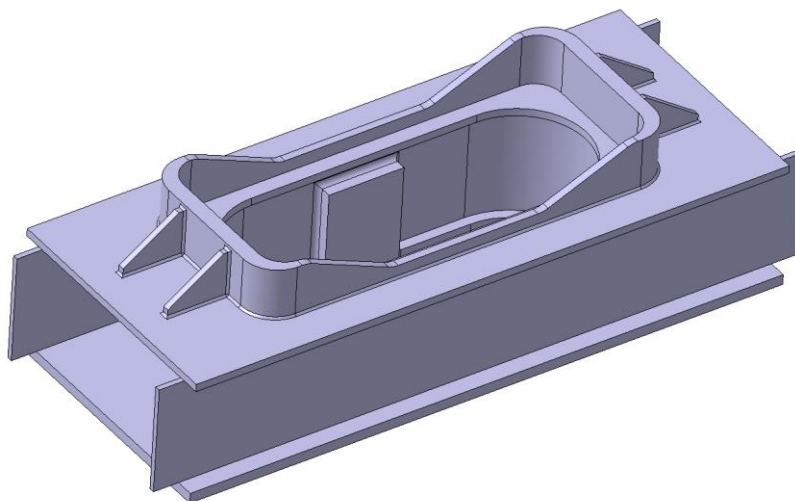
Schéma 2 - Výroba svařovaného rámu podvozku kolejového vozidla

2.3 Průřezy podélníků a příčníků

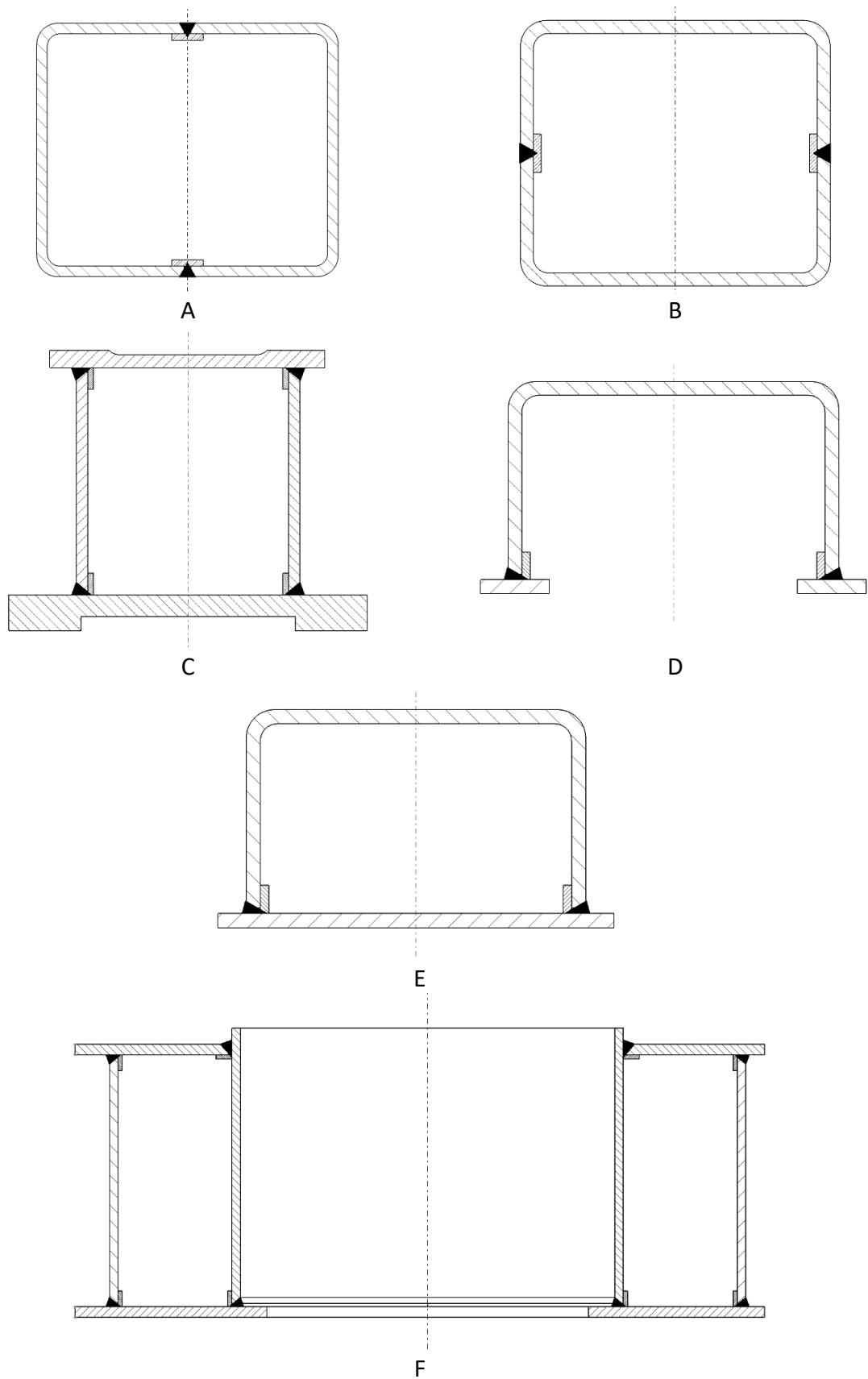
Průřezy hlavních celků svařovaného H rámu podvozku, kterými jsou podélník (obr. 3) a příčník (obr. 4), mají skříňový charakter. Průřez těchto celků již definuje základní tvar svarové přípravy, která je potřeba pro svaření jednotlivých detailů (dílů) pro vytvoření hlavních celků rámu. Průřezy jsou zobrazeny na obr. 5. [1]



Obr. 3 - Podélník otevřeného H rámu podvozku kolejového vozidla, bez konzolí



Obr. 4 - Příčník otevřeného H rámu podvozku kolejového vozidla, bez konzolí



Obr. 5 – Průřezy hlavních prvků svařovaného rámu podvozku [1]

Popis variant z obr. 5:

Varianta A zobrazuje průřez podélníku, který je svařený ze dvou lisovaných U profilů. Spojení zajišťují V svary, které se vyskytují na horní a dolní pásnici. Svary jsou umístěny nevhodně do míst s nejvyšší hodnotou ohybového napětí. [1]

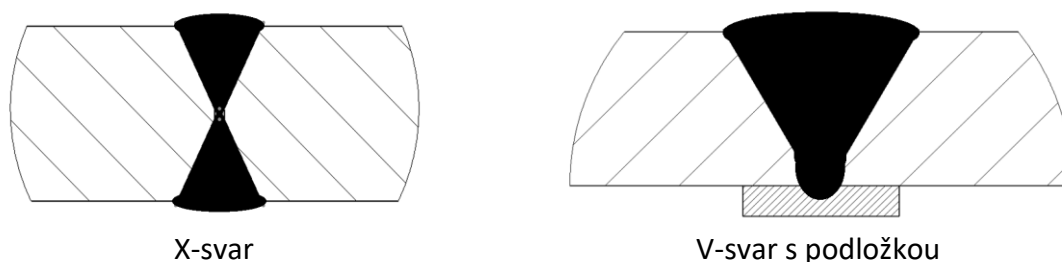
Varianta B je stejně jako varianta A svařena ze dvou U profilů. Použité V svary jsou zde umístěny vhodněji do neutrální osy při ohybovém namáhání.

Varianta C je svařenec ze dvou pásnic (horní a spodní) a ze dvou stojin (vnitřní a vnější). Svarové spojení zajišťují $\frac{1}{2}$ V svary, které jsou oproti variantě A umístěné na vhodnějších místech. Tato varianta umožňuje použití různých tloušťek plechů v různých úsecích dle velikosti namáhání. [1]

Varianta D obsahuje svařený U profil s lemováním svařeným pomocí $\frac{1}{2}$ V svarů. Tento průřez se používá na konci podélníku u konstrukce rámu podvozku s vypružením s kyvným ramenem. Průřez ve střední části podélníku je potom uzavřený, jak je zobrazeno ve variantě E. [1]

Varianta F je průřez příčnicku s olemovaným otvorem v ose pro průchod čepu z hrubé stavby skříňe vozidla. V této variantě jsou použity $\frac{1}{2}$ V svary, které spojují stojiny s pásnicemi. Horní olemování otvoru pro čep je řešeno s přesahem přes horní pásnici. [1]

Svarová spojení jsou také použita pro svařování horní a spodní pásnice podélníku nebo příčnicku. Je možné je svařit jako podsestavu pomocí X-svarů, nebo je svařit až v celé sestavě podélníku pomocí V-svarů. Každá z variant má své výhody a nevýhody. Vyobrazené jsou na obr. 6.



Obr. 6 – Svarové spojení pásnic podélníku nebo příčnicku

Dalším svarovým spojením je spojení příčnicku s podélníkem, které je obvykle řešeno V-svarem. Spojení podélníku s příčnickem je nutné provést na spodní a horní pásnici a také na stojinách. Svary na pásnicích a stojinách jsou obvykle oproti sobě přesazené. [1]

2.4 Používané materiály

Protože rám podvozku je dynamicky namáhaná konstrukce, u které je zásadním kritériem namáhání na únavu při teplotách -30°C i nižších, je požadavek na vlastnosti materiálu takový, že vrubová houževnatost při nízkých teplotách nesmí klesnout pod 27 Jcm^{-2} . Při nesplnění tohoto požadavku by hrozilo nebezpečí vzniku křehkého lomu. Stejný požadavek platí pro vlastnosti svarových spojů. Polotovary, které se používají pro svařování, jsou plechy, odlitky a výkovky. [1]

Pro plechy se dle norem EN 10025-3, EN 10204-3.1 a EN 10029 používají materiály S355J2G, S355J2G1W a S355NL. Chemické složení je zaznamenáno v tabulce 2 a mechanické vlastnosti v tabulce 2. Z tabulky mechanických vlastností vyplývá, že materiál S355NL má vyšší hodnoty potřebné přetvárné práce při zkoušce vrubové houževnatosti.

Odlitky jsou podle norem EN 10293, EN 1559-1 a EN 1559-2 odlévány z materiálů G20Mn5+N a G24Mn6+QT2. Oba materiály mají hodnotu KV_{\min} při -30°C 27 J.

Pro výkovky se používá materiál S355NL dle norem EN 10025-3, EN 10204-3.1 a EN 10250.

Chemické složení vybraných materiálů je v tabulce 2.

Chemické složení vybraných materiálů pro rámy podvozků kolejových vozidel														
Materiál	C	Si	Mn	P	S	V	Cr	Cu	Nb	Ti	Mo	Ni	Al	Zr
S355J2G1W	Max 0,16	Max 0,50	0,50-1,50	Max 0,035	Max 0,035	0,02-0,12	0,40-0,80	0,25-0,55	0,015-0,060	0,02-0,10	Max 0,30	Max 0,65	Min 0,02	Max 0,15
S355J2G	Max 0,23	Max 0,60	Max 0,045	Max 0,035	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
S355NL	0,17	1,39	0,33	0,012	0,002	0,003	0,026	0,012	0,014	0,002	0,005	0,050	0,028	-

Tabulka 2 – Chemické složení vybraných materiálů pro rámy podvozků kolejových vozidel [1]

Mechanické vlastnosti vybraných materiálů jsou v tabulce 3.

Mechanické vlastnosti vybraných materiálů na rámy podvozků kolejových vozidel									
Materiál	tloušťka	Re _{min} [MPa]			Rm [MPa]			Zkouška rázem v ohybu KV _{min} při -20°C [J]	
		do 3 [mm]	3–16 [mm]	17–40 [mm]	Do 3 [mm]	3-16 [mm]	Nad 16 [mm]	Do 16 [mm]	Nad 16 [mm]
S355J2G1W		355	355	345	510-680	490-630	490-630	27	27
S355J2G		355	355	345	510-680	490-630	490-630	27	23
S355NL		355	355	355	470-630	470-630	470-630	47	47

Tabulka 3 – Mechanické vlastnosti vybraných plechů na rámy podvozků kolejových vozidel [1]

2.4.1 Svařitelnost

Svařitelnost je komplexní charakteristika vyjadřující vhodnost kovu pro zhotovení svařence požadovaných vlastností při konstrukční spolehlivosti svarového spoje a při určitých technologických možnostech svařování. Pod pojmem svařitelnost rozumíme svařitelnost materiálovou, konstrukční a technologickou. [7]

Materiálová svařitelnost vyjadřuje vhodnost materiálu ke svařování. Popisuje změny struktury materiálu následkem tepelného zatížení během svařování v místě svaru a jeho nejbližším okolí v tepelně ovlivněné oblasti. Mezi materiálové charakteristiky patří zejména chemické složení materiálu a technologické zpracování dílců, které mají být svařeny. Podle chemického složení záleží na obsahu uhlíku a také na uhlíkovém ekvivalentu. [7]

Pro výpočet uhlíkového ekvivalentu je navržen mezinárodním svářečským institutem IIW/IIS vzorec:

$$CEV = C + \frac{Mn}{6} + \frac{Cr + Mo + V}{5} + \frac{Cu + Ni}{15} \quad (5)$$

*Do vzorce jsou dosazována hmotnostní procenta jednotlivých prvků.

U CEV musí být splněno:

- $CEV \leq 0,45$ hm. %
- $C \leq 0,20$ hm. %
- svařovaná tloušťka $s \leq 25$ mm

Pokud jsou výše popsané podmínky splněny, nejsou pro svařování nutná žádná zvláštní opatření. Pokud podmínka splněna není, je nutné použít zvláštních opatření, aby se zamezilo vzniku trhlin. K těmto opatřením patří zejména přehřev. [5]

Technologická svařitelnost popisuje vliv svařovací technologie na výsledné vlastnosti svarového spoje. Vlastnosti svarového spoje jsou ovlivněny těmito faktory:

- Metoda svařování
- Přídavný materiál
- Parametry svařování

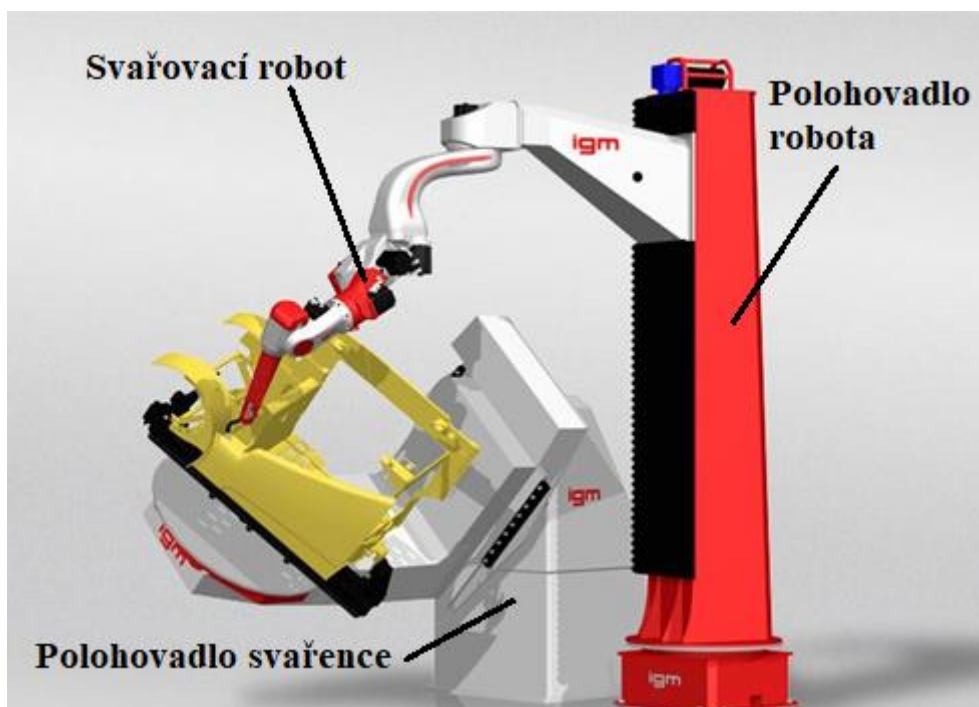
Konstrukční svařitelnost je vyjádřením uspořádání svařence a umístění svarů. Základní faktory ovlivňující konstrukční svařitelnost jsou:

- Tloušťka materiálu
- Tvar, velikost a uspořádání svarů
- Umístění svarů s ohledem na konstrukční vruby
- Pevnost svarového spoje
- Tvar svarových ploch [7]

3 Robotizace ve svařování

Při robotizovaném svařování se používají programovatelné stroje a zařízení (roboti), které řídí celý svařovací proces, polohují svařovací hořák a případně i samotný svařenec. Stupeň automatizace se liší v závislosti na pokrytí daných operací. Šestiosý kloubový robot je jedním z nejpoužívanějších svařovacích zařízení, což platí i pro obloukové svařování. Je to dáno jeho schopností orientovat hořák, jelikož má šest stupňů volnosti a možnost dosáhnout jakéhokoli sklonu v kterémkoli bodě v rámci svého pracovního prostoru. Přestože je provoz zařízení nezávislý na operátorovi svařování, je jeho přítomnost stále potřebná kvůli z důvodu chyb, které tuto technologii provází (zapečení průvlaku, smyčka na svařovacím drátu, apod.). Na obsluhu svařovacího zařízení jsou kladeny vyšší nároky na vzdělání, protože je zapotřebí, aby rozuměla funkcím stroje a elektronickému systému, přičemž obsluha zařízení musí být svářeč s dostatečnou kvalifikací. [6, 14]

Ukázka robotického svařovacího zařízení na obr. 7.



Obr. 7 – Robotické svařovací pracoviště vybavené osmiosým svařovacím robotem s vertikálním pojezdem a otočnou osou v základně stojanu a dvouosým orbitálním polohovadlem svařence od firmy IGM [20]

Zrychlení celého procesu je především dáno rychlostí polohování svařovacího hořáku a dílce do daných svařovacích poloh. I samotný proces svařování může být urychlen použitím vyššího svařovacího výkonu (použití vyšších proudů) oproti ručnímu svařování. Další výhodou automatizovaných systémů pro obloukové svařování je přesné řízení a sledování svařovacích parametrů, kdy lze udržet charakteristiky přívodu tepla, což je velmi důležité pro svařování určitých druhů materiálů. [6, 14]

Cílem robotizace je snížení výrobních nákladů zvýšením produktivity, eliminování lidského faktoru a zároveň poskytnutí požadované kvality výroby. Automatizace ve svařování

bohužel neznamená jen upevnění svařovacího hořáku na rameno robota, ale zahrnuje řadu analýz, plánování, reorganizaci výroby a pečlivější sledování celého výrobního procesu. Všechny tyto činnosti musí vyústit v kvalitní svarovou přípravu, protože tato příprava je důležitým faktorem každého kvalitního svaru a pro robotizované svařování toto platí obzvlášť. Aby bylo dosaženo kvalitní svarové přípravy je potřeba navrhnout vhodnou konstrukci a zaměřit se na její technologičnost. Je nutné, aby dílce, ze kterých se bude daný svařenec skládat, byly vyrobeny v potřebných tolerancích. Pro zvolený podvozkový rám budou detaily (dílce) vyráběné z tabulových plechů, ze kterých bude vypalován základní tvar a následně obrobena svarové přípravy. Dílce tvořící horní či spodní pásnici je potřeba ohnout na ohraňovacím lisu. Výrobě detailů se věnuje kapitola 4. [6, 14]

Pro zjištění, zda jsou dané svary proveditelné pomocí robotického svařování, je potřebné zhotovit zkušební vzorky. Je více než vhodné mít dopředu jasnou představu o postupu svařování – tj. sled svarových housenek a dalších doplňujících operací jako jsou například drážkování kořene a předeřevy (pWPS). Nejdříve je vytvořen program pro zkušební vzorek, který obsahuje svařovací dráhy a svařovací parametry, jejichž pomocí je svařen zmíněný vzorek, který je dále analyzován. Pokud je vzorek bez vad, může být na jeho základě vystaven dokument WPQR a jeho parametry mohou být implementovány do svařovacího programu daného svařence. Tvorba programů pro svařovací zařízení je dalším faktorem, který ovlivňuje výsledek svařovacího procesu.

3.1 Programování

U šestiosých robotů je programování dáno historicky pomocí bodů, kdy je nadefinováno, jaký úkon má zařízení mezi jednotlivými body provádět (přejezd, svařování a podobně). Nejstarším způsobem je programování přímo na svařovacím zařízení tzv. on-line programování na programovací konzole (viz. obr. 9). On-line programovací proces je v případě složitějšího svařence komplikovaný a nákladný. Při on-line programování dochází k prostojům zařízení, hrozí zvýšené riziko kolizí, je zapotřebí zvýšené pozornosti obsluhy a podobně. Průběh on-line programování je zachycen na obr. 8. [6, 14]



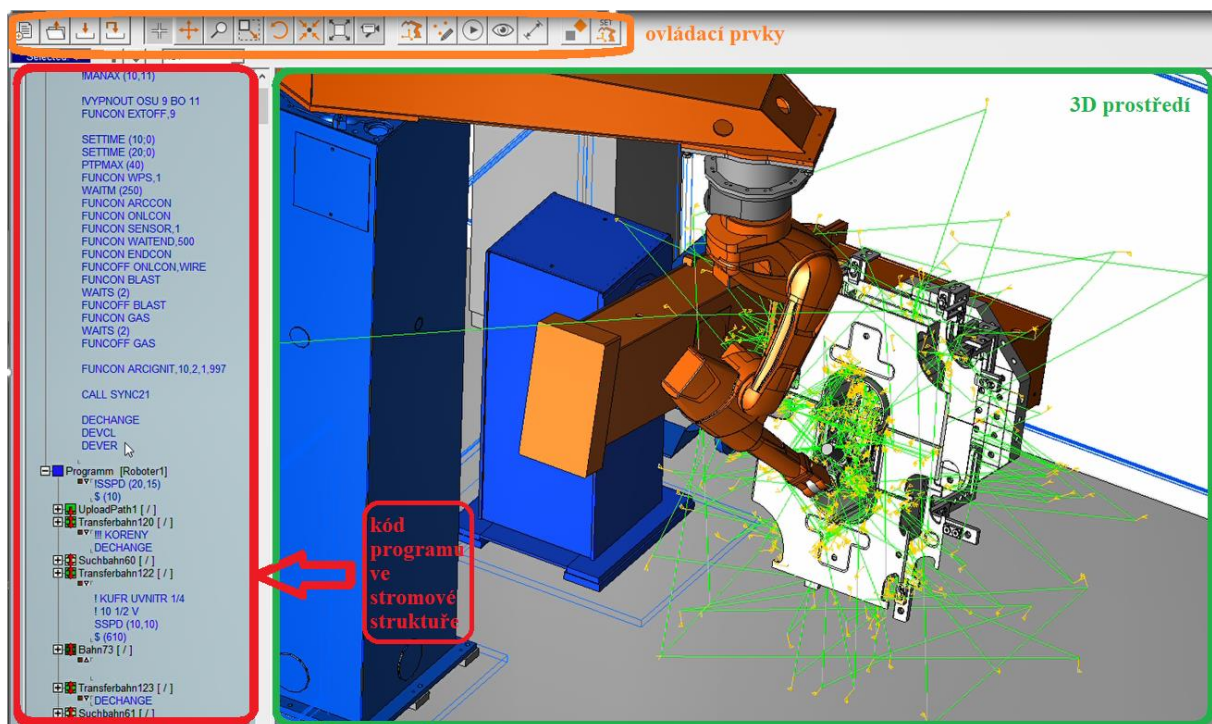
Obr. 8 – Proces on-line programování svařovacího robota [26]



Obr. 9 – Programovací konzole svařovacích robotů firmy IGM [18] vlevo a firmy CLOOS vpravo

Programování ve virtuálním prostředí (CAM software) tzv. off-line programování pomáhá zrychlit proces tvorby svařovacích programů, protože snižuje prostoje výrobního zařízení a také je mnohonásobně komfortnější. Off-line programování probíhá ve virtuálním prostředí, kde jsou reálné objekty nahrazeny ideálními modely. Nejsou v něm zahrnuty reálné odchylky vznikající při instalaci zařízení, nepřesnosti v upínání do přípravku, výrobě detailů, deformacích při svařování a podobně. Při přenosu virtuálního svařovacího programu do reálného prostředí, dojde k neshodě mezi naprogramovanými a reálnými drahami. Proto je zapotřebí provést korekce programů při přenosu do svařovacího zařízení na prvním kusu a pro svařování dalších kusů musí být svařovací roboty vybaveny senzoricou. [6, 14]

Prostředí off-line programování je zachyceno na obr. 10.



Obr. 10 – Off-line software pro programování svařovacího robota

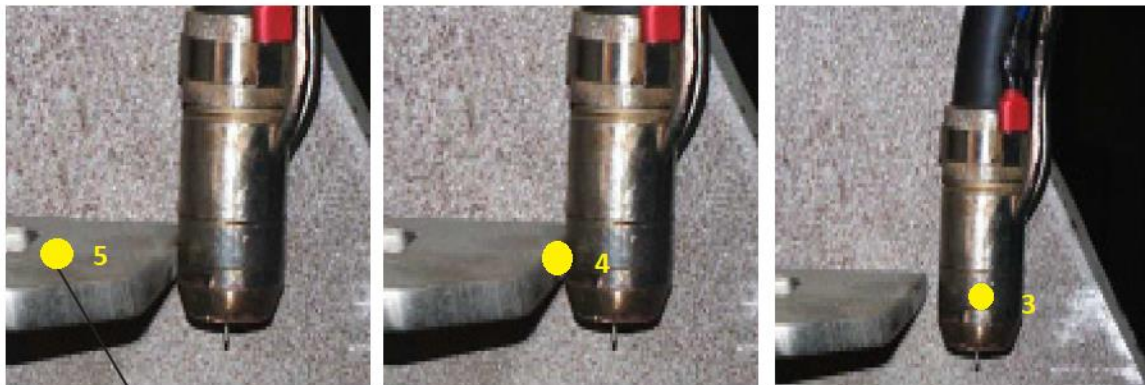
U robotického svařování slouží sensorika jako doplnění lidských smyslů, jako hmatu a zraku, které využívá svářeč pro vyhodnocení svařovacího procesu. [6, 14]

3.2 Sensorika

Senzory lze rozdělit do třech základních skupin, a to snímání taktilní (dotykem), sledování svarové mezery pomocí napětí na oblouku, nebo snímání a sledování svarové drážky pomocí vizuální techniky. [6, 13, 14]

Dotykové snímání používá k určení polohy svařence před svařováním dotyk pomocí svařovací hubice nebo drátu. Na hubici nebo svařovací drát je přivedeno napětí (např. 60V, 100V). Při dotyku poté dojde ke spojení elektrického obvodu a k určení skutečného umístění dílu. Na základně určení skutečného umístění jsou posunuty všechny následující body svařovacího programu. Tato metoda vyhledávání je nejlevnějším řešením dotykového vyhledávání. Limity metody jsou dány geometrií hubice hořáku, tj. jejím tvarem a velikostí.

Dotykové vyhledávání pomocí samotného svařovacího drátu funguje na stejném principu jako vyhledávání hubic. Tato metoda je náchylná na chyby, protože zde vstupuje řada faktorů ovlivňující jeho přesnost – tuhost drátu, délka výtlu, ohnutí drátu. [6, 13]



Konec trasy hledání v dílu
(vytvořený bod 5 pomocí zadání
délky hledání).

Plynová tryska má kontakt
("bod posuvu" bod 4)

Začátek trasy hledání bod 3



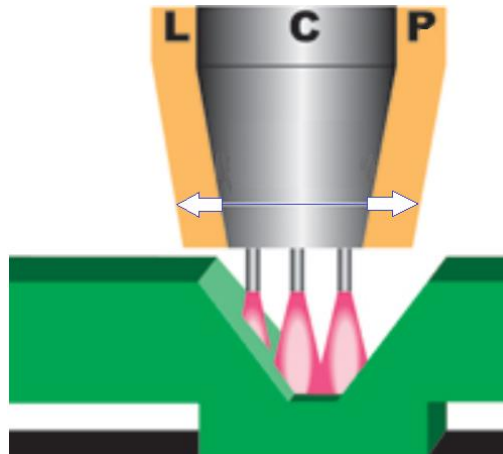
nekorigovaná polohu svaru



korigovaná polohu svaru

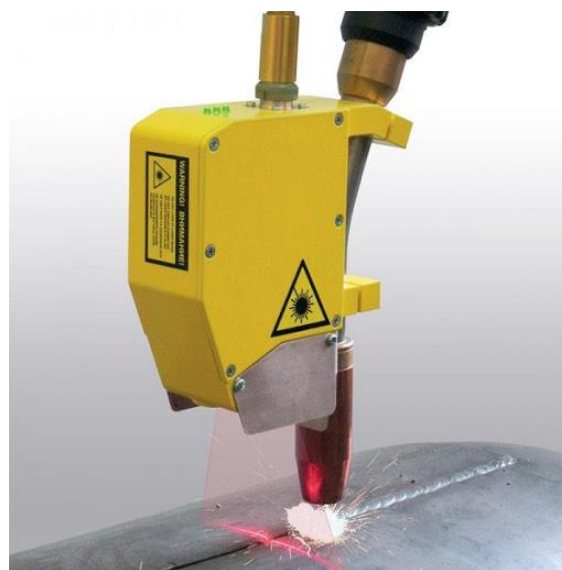
Obr. 11 – Posunutí naprogramovaných drah pomocí dotykového senzoru na svařovací hubici [21]

Senzor napětí na oblouku oproti dotykovému senzoru slouží pro korekce drah v průběhu svařování. Jeho principem je měření napětí na hořícím oblouku mezi elektrodou a základním materiálem při rozkvyvu. Na základě změny napětí, které je závislé na délce hořícího oblouku, je potom upravována dráha svařování. Graficky je zpracován na obr. 12. Tento senzor funguje ve svařové mezeře, kdy při rozkvyvu svařovacího hořáku se svařovací oblouk zkracuje při přiblížení k okraji drážky, tím dojde k poklesu napětí a k úpravě trajektorie. [6, 13]



Obr. 12 – Zkracování hořícího elektrického oblouku při rozkvyvu ve svarové drážce [24]

Vyhledávání pomocí optického senzoru funguje na základě měření odrazu vyslaného paprsku. Optický senzor je upevněn v blízkosti svařovacího hořáku. Je vhodné pro svary s proměnnou svarovou mezerou, kde je zapotřebí upravit svařovací parametry dle šířky této mezery. Pokud je detekována skoková změna vzdálenosti od naprogramovaných souřadnic, je vypočítána odchylka pro korekci svařovacích parametrů. Existují dvě zařízení využívající laserový paprsek, který snímá geometrii svarové mezery, a to buď před svařováním, nebo během svařování. Jejich použití závisí na dané aplikaci. [6, 13]



Obr. 13 – Skenování dílce pomocí on-line laserového senzoru [25]

Kromě svařování lze na rameno robota umístit další výrobní technologie: řezání plasmou, řezání kyslíkem, předehřev pomocí plamene a různá manipulační zařízení.

Pokud jde o přesnost najíždění samotného zařízení (robota), většina robotů je schopna opakovat polohu najetí stejného bodu do 0,1 mm. Dále je pro přesné ustavení svařovaných detailů (dílů) zapotřebí vhodných svařovacích přípravků, které jsou také jedním z důležitých faktorů. [6, 13]

4 Svařovací přípravky

Svařovací přípravky jsou pomocná zařízení určená k jednoznačnému vzájemnému sestavení detailů (dílů) před svařováním a k jejich pevné fixaci v průběhu svařování. Pojmem přípravky pro svařování označujeme jednoduché pomocné prostředky pro svařování, ale i speciální zařízení a stroje pro upínání a manipulaci se svařenci. Hlavním úkolem přípravků pro svařování je zajištění požadované kvality svarových spojů, zvýšení produktivity práce a snížení nákladů na svařování. Pro všechny způsoby svařování obecně platí, že vhodný přípravek pro svařování umožňuje:

1. Dodržovat výrobní tolerance rozměrů a tvaru svařence
2. Minimalizovat deformace svařence
3. Zvýšit produktivitu práce
4. Snížit výrobní náklady

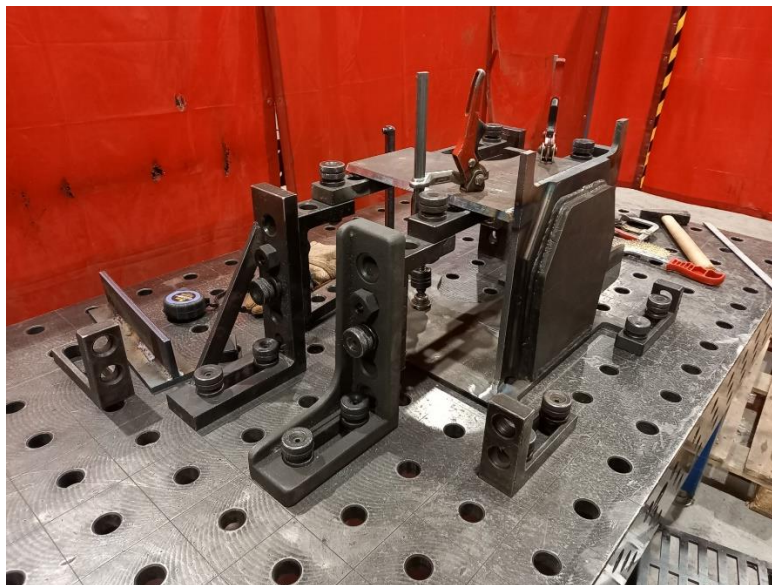
Charakter výroby určuje použití a konstrukci přípravků. Při kusové výrobě budou použity přípravky univerzální, zatímco v sériové výrobě budou použity speciální přípravky, které kromě svařování mohou usnadnit ustavení a manipulaci s díly. V dalších kapitolách budou popisovány pouze přípravky pro obloukové svařování. [19]

Rozdělení svařovacích přípravků podle:

Použití

- Jednoúčelové – slouží k upínání jednoho svařence
- Univerzální – slouží k upínání více svařenců stejného typu
- Skupinové – slouží pro skupinu svařenců
- Stehovací – slouží k sestehování dílů před jejich svařením
- Svařovací – slouží pro jednoznačné ustavení dílů a pevnému uchycení dílů při svařování

Příklad přestavitelného svařovacího přípravku je na obr. 14.



Obr. 14 – Stehovací přípravek pro sestavení na svařovacím stole se stavebnicovými prvky systému Siegmund doplněné univerzálními svěrkami

Zdroje upínací síly

- Ruční nebo nožní
- Pneumatické
- Hydraulické
- Magnetické
- Kombinované [19]

4.1 Zásady pro konstrukci svařovacích přípravků

Před navržením přípravku je nutné se důkladně seznámit s technologickým postupem a přípravek konzultovat se svařovacím technologem. Při návrhu se snažit, aby celý svar mohl být proveden ideálně na jedno upnutí. Je nutný dobrý přístup ke všem svarům výrobku bez ohrožení svářeče. V případě svařovacích přípravků pro robotické svařování lze dostupnosti prověřit předem v off-line programu a předejít tak kolizi robota s přípravkem.

Je dobré myslet na to, že na svařovací přípravky působí značné teploty, rozstřík kapek svarového kovu, strusky a tavidla a průchod svařovacího proudu. Dále je třeba počítat se smršťováním svařence během svařování a po svaření. Je tedy nutné uspořádat upínací části a dorazy tak, aby se díly mohly smršťovat. U konstrukce přípravku musí být zaručené, že jeho funkční vlastnosti se po dobu jeho životnosti nebudou měnit. Přípravek musí být dostatečně tuhý, aby se nedeformoval při působení smršťovacích sil. Prvky přípravku, které jsou vystaveny opotřebení, je vhodné navrhnout jako vyměnitelné.

Celkově jednoduchá koncepce při navrhování je kladem. Různé ovládací mechanismy je vhodné chránit před teplem. Z ekonomického hlediska musí být úspory dosažené použitím přípravku vyšší než jeho pořizovací cena. Pro jeho konstrukci je finančně výhodné použít normalizovaných a typizovaných součástí. [19]

5 Výroba dílců pro svařování

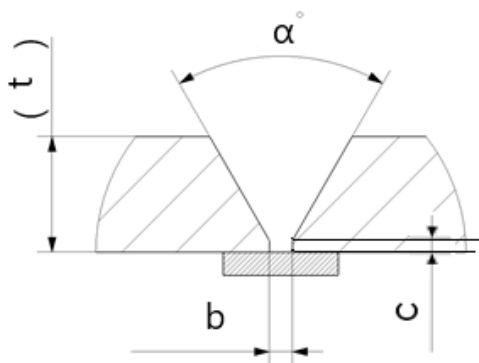
Pro vybraný podvozkový rám skříňového charakteru jsou obvykle ve Škoda Transportation a.s. dílce vyráběné z plechových tabulí. Základní tvar daného dílce je z tabulového plechu vyroben pomocí tepelného dělení laserem.

Po vypálení základního tvaru dílce, je dílec přesunut na pracoviště pro tvorbu úkosů. Jedná-li se o ohýbaný dílec, je dále přesunut na pracoviště ohýbání, kde je vytvořen ohyb. Někdy je potřeba vyrobít úkos až po ohýbání kvůli požadavku na přídavek pro ohýbání.

5.1 Svarová příprava

Aby bylo zajištěno dokonalého spojení svarového kovu a základního materiálu, je nutno na svařovaných detailech (dílcích) upravit svarové plochy – úkosy a otupení. Svarové plochy mohou mít různé tvary, které jsou dány normami pro určitou metodu svařování. Mezi faktory ovlivňující tvar svarových ploch patří:

- Vlastnosti svařovaného materiálu
- Tloušťka svařovaných dílců
- Metoda svařování
- Konstrukční řešení svařované konstrukce a přístupnost ke svarům
- Přehřev a kontrola svaru
- Provozní podmínky svarového spoje (druh zatížení)
- Výrobní možnosti (frézování, soustružení, řezání plazmou, řezání kyslíkem apod.)



- t - tloušťka materiálu
- α – úhel rozevření
- b - Styčná (kořenová) mezera
- c – tloušťka otupení

Obr. 16 – Svarová příprava

Tvar svarových ploch se tedy řídí podle konstrukčních, technologických a výrobních podmínek. Svarová příprava pro svařence kolejových vozidel se řídí doporučením dle normy ČSN 15085-3 dle typu svaru a použité svařovací metody.

Základní prvky svarové přípravy jsou tloušťka dílce, úhel rozevření, svarová mezera, otupení a použití svarové podložky kovové nebo keramické. [7]

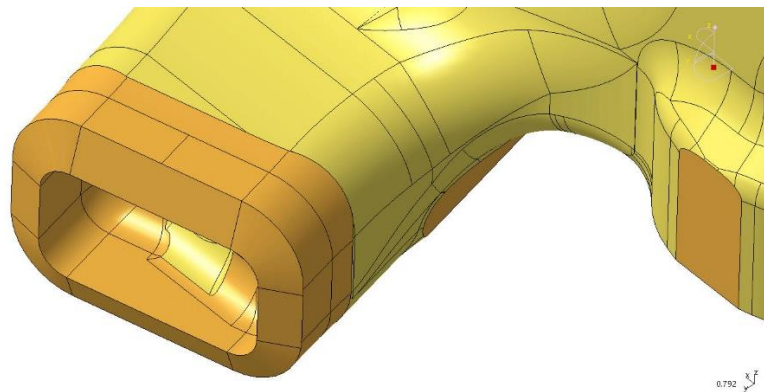
- Výhody oboustranných svarů
 - o Menší objem svarů
 - o Méně vneseného tepla
 - o Menší deformace po svařování

- Nevýhody oboustranných svarů
 - o Nutnost oboustranného přístupu
 - o Nutnost polohování svarů
 - o Správné kótování na výrobních výkresech detailů [7]

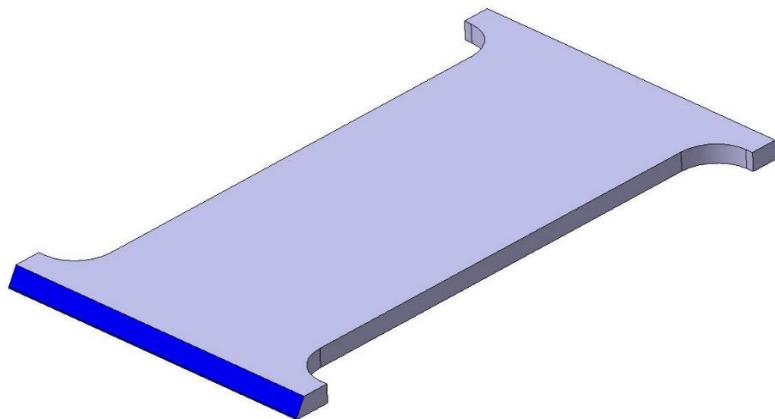
5.2 Výroba úkosů

Pro tvorbu úkosů svarové přípravy je možno použít několika výrobních technologií. Svarové plochy mohou být vyrobeny frézováním, soustružením, řezáním kyslíkem, laserem nebo vodním paprskem. Z důvodu, že většina dílců, ze kterých se otevřený H rám podvozku kolejového vozidla skládá, je nerotačního charakteru, a výrobním možností Škoda Transportation, je frézování obvyklou výrobní metodou úkosů. [8]

Příklady obrobených dílců se svarovou přípravou jsou na obr. 17 a 18. Na obr. 17 je svarová příprava (oranžová barva) vyrobena na odlitku, přičemž je dobré obrobit i okolní povrch svaru (cca 30 mm) kvůli nekvalitnímu hrubému povrchu odlitku, který může zapříčinit vady ve svaru. Obrobená svarová příprava na plechu je zobrazena na obr. 18 výraznou modrou barvou. Plechy bývají často tryskány pro zbavení okují a rzi.



Obr. 17 – Obrobená svarová příprava na odlitku



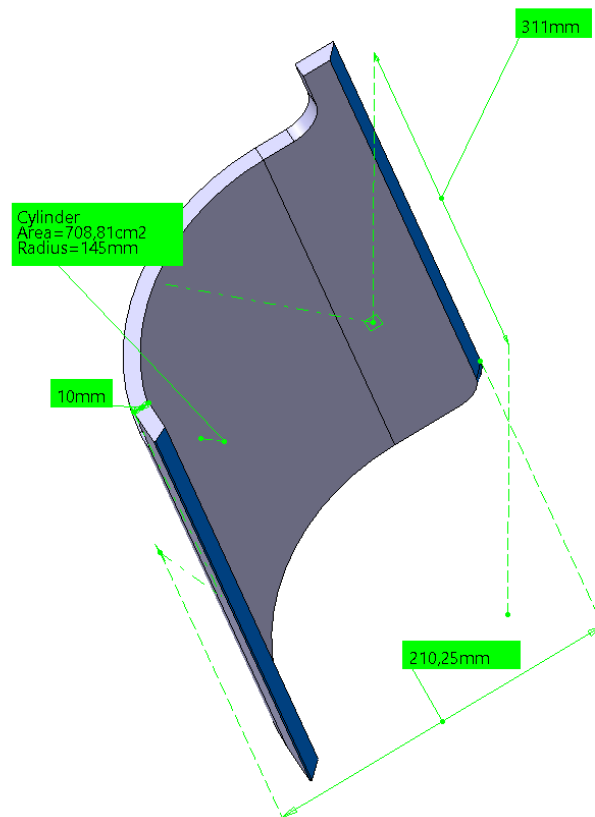
Obr. 18 – Obrobená svarová příprava na plechu

5.3 Ohýbání

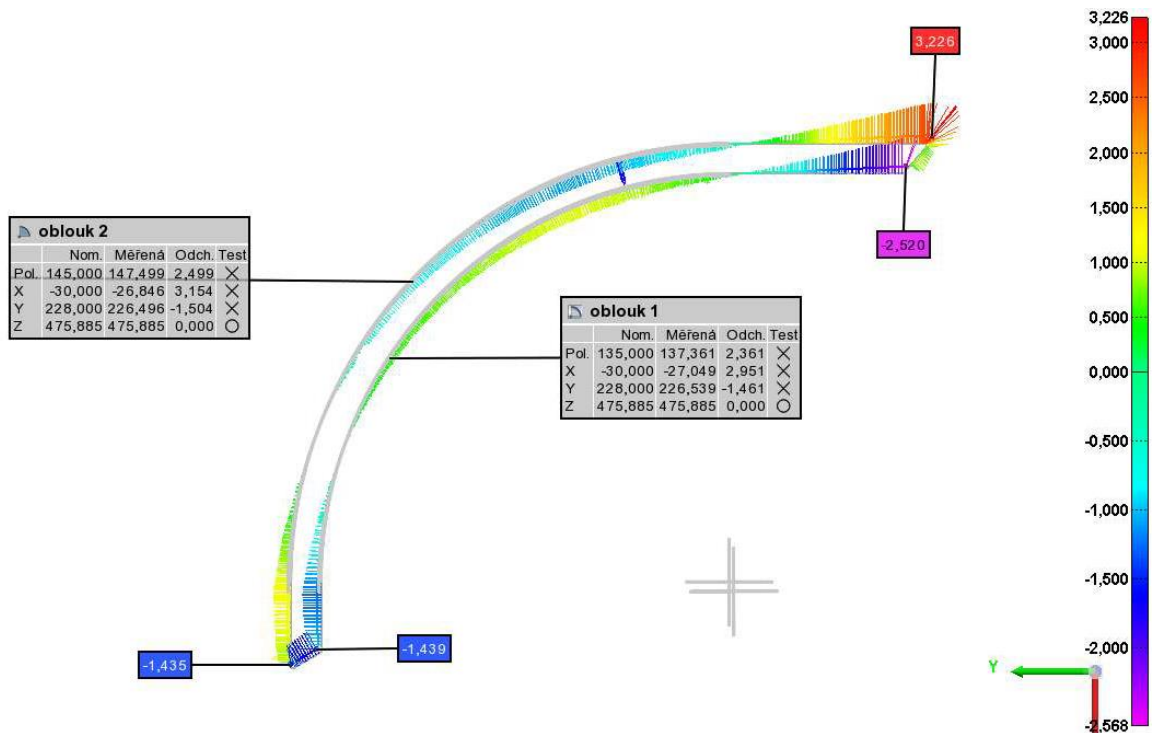
Ohýbání dílců je tváření rovinného polotovaru na výlisek s plochami vůči sobě různě orientovanými, a to vytvářením oblých hran s určitým poloměrem ohybu.

Po odlehčení se rozměry tělesa částečně vrátí do původního stavu – dojde k odpružení dílce. Odpružení má při ohýbání má značný význam. Při ohýbání projevuje jako úhlová odchylka γ , jejíž význam roste s délkou ramen. Zpětné odpružení ohýbaných součástí je způsobeno vlivem pružné deformace materiálu kolem neutrální osy. Velikost úhlů odpružení závisí na materiálu, poloměru ohybu a způsobu ohýbání. Odpružení se pohybuje v rozsahu od 3° až do 15°. [27]

Příklad odchylek ohýbaného dílce za studena od CAD modelu je zobrazen na obr. 20.



Obr. 19 – Model stojiny vnitřní pro sestavu příčnicku





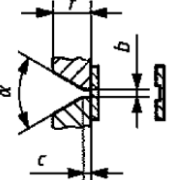


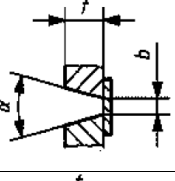


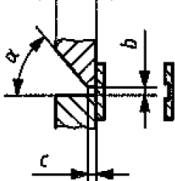


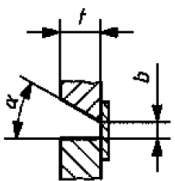


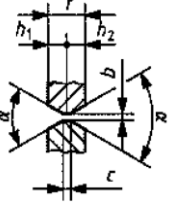
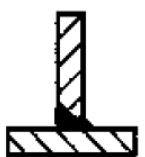

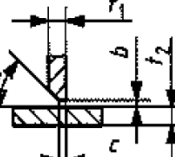
Obr. 20 – Sken stojiny vnitřní příčnicku, porovnání odchylek vyrobeného kusu s CAD modelem



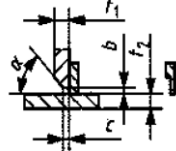
Ze skenu je patrné, že ohýbání dílců je relativně nepřesná výrobní technologie, kdy odchylky napojovacích míst se svarovou přípravou, se liší i o více než 3 mm oproti CAD modelu. Pro skládání sestav nastehovaných svařenců pro robotické svařování, je potřeba, aby se odchylky pohybovali v rámci ± 1 mm. Zdrojem těchto poznatků je praxe ve Škoda Transportation a.s.

6 Vybrané druhy příprav svarových spojů dle EN 15085-3

Doporučený přehled příprav svarových spojů a velikost svarů používaných pro svary železničních kolejových vozidel, které jsou vyráběny postupy manuálního svařování metodou 135 (a další tavné metody) dle EN ISO 4063, uvádí norma EN 15085-3. [3]

Doporučená svarová příprava dle této normy pro vybrané V-svary, ½V-svary a X-svary je popsána v tabulce 4. Vybrané druhy svarových příprav vycházejí z řezů profilů podélníku a příčnicku v kapitole 2.2.

Číslo	Označování	Obrázek	Symbol	Příprava svarového spoje průřezový pohled	Tloušťka materiálu t [mm]	Úhel α [°]	Styčná mezera b [mm]	Tloušťka otupení c [mm]
2b	V-svar s podložkou				3 - 15	50 - 60	2 - 4	0 - 2
2d	V-svar se strmým úkosem s podložkou				12 - 30	20 - 40	6 - 15	-
3b	½V-svar s podložkou				3 - 15	40 - 60	2 - 4	1 - 2
3d	½V-svar se strmým úkosem s podložkou				12 - 30	20 - 40	6 - 15	-
6	Oboustranný V-svar (X-svar)				≥ 12	50 - 60	0 - 3	1 - 2
10b	½V-svar s podloženým koutovým svarem				3 - 15	50 - 60	0 - 2	0 - 2

10e	½V-svar s podložkou				3 - 20	50 - 60	0 - 5	0 - 2
-----	------------------------	---	---	---	--------	---------	-------	-------

Tabulka 4 – Příprava svarového spoje a velikost drážek svarů [3]

Může být použita i jiná příprava svarového spoje, pokud je schválena podle EN 15085-4. [3]

7 Praktická část

7.1 Úprava příprav svarových spojů pro robotické svařování

Praktická část se zabývá úpravami svarové přípravy, tj. zúžením kořenové mezery a zmenšením úhlu rozevření, pro svařování celků svařovaného rámu kolejového vozidla. Na základě příčných rozřezů těchto celků byly vytipovány svary typu 18X, 15V s podložkou, 12V s podložkou, 12½V s podložkou a 10½V s podložkou jako reprezentativní svary. Svařovací postup a parametry pro svařování robotem byl navržen na základě zkušeností programátora svařovacího robota Škody Transportation. Vyhodnocení kvality svařených vzorků proběhlo pomocí magnetické zkoušky, vizuální zkoušky, vyhodnocení makra a měření tvrdosti HV10.

Cíle praktické části:

- Svaření vzorků s upravenou svarovou přípravou pomocí robotického svařovacího zařízení
- Porovnání objemu svarů, velikost TOO a vneseného tepla pro manuální a robotické svařování
- Vyčíslení úspor upravených svarových příprav svařovaných robotem
- Navržení vhodného pracoviště svařovacího robota

7.1.1 V-svary s kovovou podložkou

Jedná se o svary, které jsou vhodné pro tloušťky plechů od 6 do 15 mm. Vyskytují se na horních pásnicích. Varianta A zobrazuje svarovou přípravu pro ruční svařování s širokou kořenovou mezerou 3 až 4 mm a úhlem rozevření 60°. Varianta B je upravena pro robotické svařování o 1 mm menší svarovou mezerou a úhel rozevření je roven 50°.

12-V svar se svarovou podložkou	
Varianta A	Varianta B (pro robotické svařování)
Housenková skladba pro svar 12V s podložkou	
Postup svařování (poloha PA)	
<ol style="list-style-type: none"> 1. Zavaření kořenové housenky 2. Zavaření první výplňové housenky 3. Zavaření druhé výplňové housenky 4. Zavaření třetí výplňové housenky 5. Zavaření první krycí housenky 6. Zavaření druhé krycí housenky 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Zavaření kořenové housenky 2. Zavaření první výplňové housenky 3. Zavaření druhé výplňové housenky 4. Zavaření krycí housenky
Pracnost 100%	Pracnost 67%

Varianta B redukuje počet operací na 4. Snížení pracnosti o 33%.

15V-svar se svarovou podložkou	
Varianta A	Varianta B (pro robotické svařování)
Housenková skladba pro svar 15V s podložkou	
Postup svařování (poloha PA)	
<ol style="list-style-type: none"> 1. Zavaření kořenové housenky 2. Zavaření první výplňové housenky 3. Zavaření druhé výplňové housenky 4. Zavaření třetí výplňové housenky 5. Zavaření čtvrté výplňové housenky 6. Zavaření první krycí housenky 7. Zavaření druhé krycí housenky 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Zavaření kořenové housenky 2. Zavaření první výplňové housenky 3. Zavaření druhé výplňové housenky 4. Zavaření třetí výplňové housenky 5. Zavaření krycí housenky
Pracnost 100%	Pracnost 71%

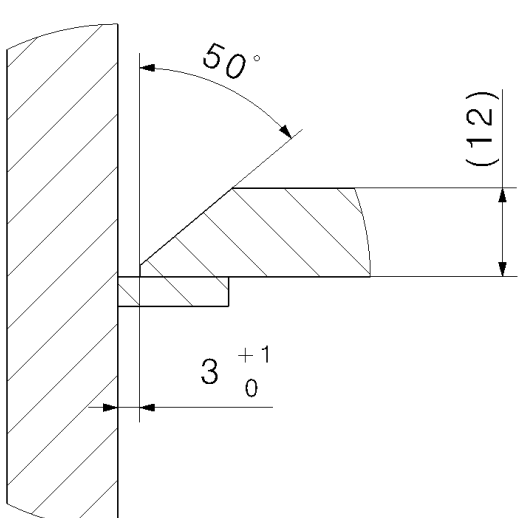
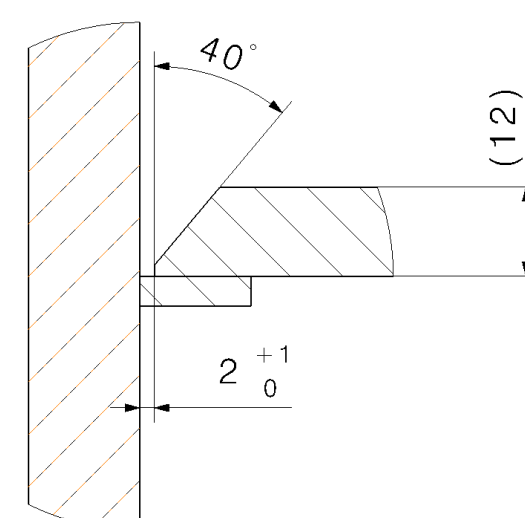
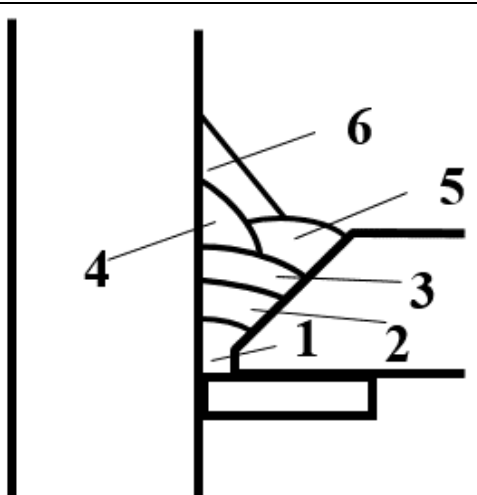
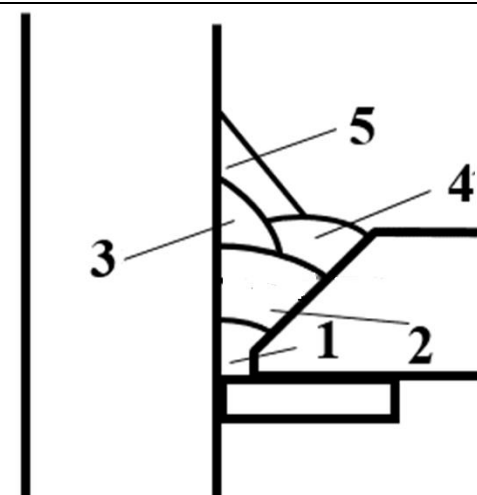
Varianta B redukuje počet operací na 5. Snížení pracnosti o 29%.

7.1.2 1/2V svary s podložkou

Tato svarová příprava se vyskytuje na spojení stojin s pásnicemi. Svar má horší přístupnost protože svařovací hubice se dostává do kolize s pásnicí. Varianta A pro ruční svařování má kořenovou mezeru 3-4 mm a úhel rozevření 50°. Varianta B má užší kořenovou mezeru o 1 mm a úhel rozevření je upraven na 40°.

10 ½V-svar s podložkou a překryvným koutovým svarem	
Varianta A	Varianta B (pro robotické svařování)
Housenková skladba pro svar 10 ½V s podložkou a koutovým svarem	
Postup svařování (poloha svařování – PA,PB)	
<ol style="list-style-type: none"> 1. Zavaření kořenové housenky 2. Zavaření první výplňové housenky 3. Zavaření druhé výplňové housenky 4. Zavaření krycí housenky 5. Zavaření koutového svaru 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Zavaření kořenové housenky 2. Zavaření výplňové housenky 3. Zavaření krycí housenky 4. Zavaření koutového svaru
Pracnost 100%	Pracnost 80%

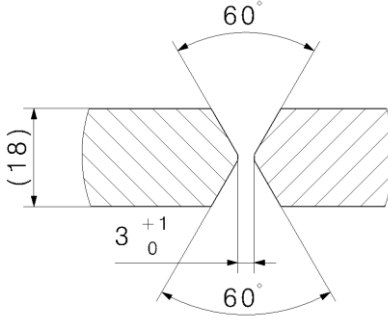
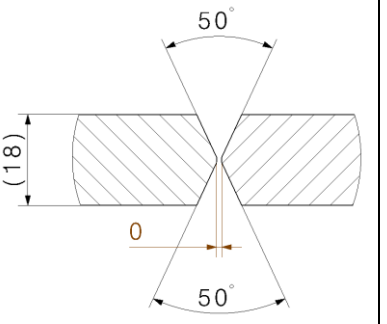
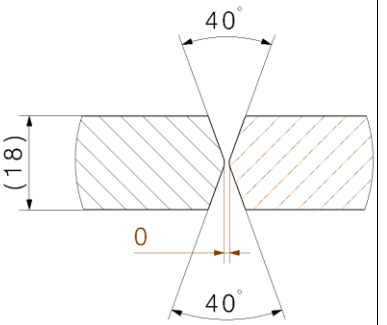
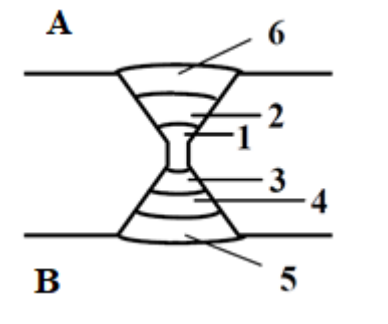
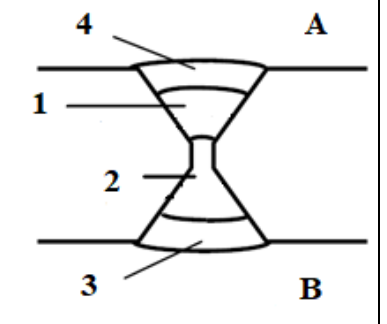
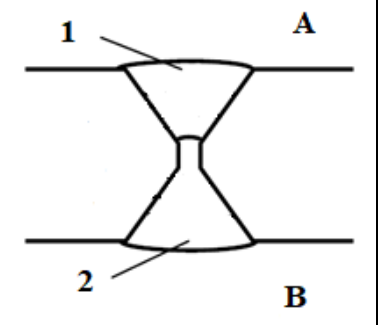
Varianta B redukuje počet operací na 5. Snížení pracnosti o 20%.

12 ½V-svar s podložkou a překryvným koutovým svarem	
Varianta A	Varianta B (pro robotické svařování)
	
Housnková skladba pro svar 12 ½V s podložkou a koutovým svarem	
	
Postup svařování (poloha svařování – PA,PB)	
<ol style="list-style-type: none"> 1. Zavaření kořenové housenky 2. Zavaření první výplňové housenky 3. Zavaření druhé výplňové housenky 4. Zavaření třetí výplňové housenky 5. Zavaření krycí housenky 6. Zavaření koutového svaru 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Zavaření kořenové housenky 2. Zavaření první výplňové housenky 3. Zavaření druhé výplňové housenky 4. Zavaření krycí housenky 5. Zavaření koutového svaru
Pracnost 100%	Pracnost 83%

Varianta B redukuje počet operací na 5. Snížení pracnosti o 17%.

7.1.3 X svary

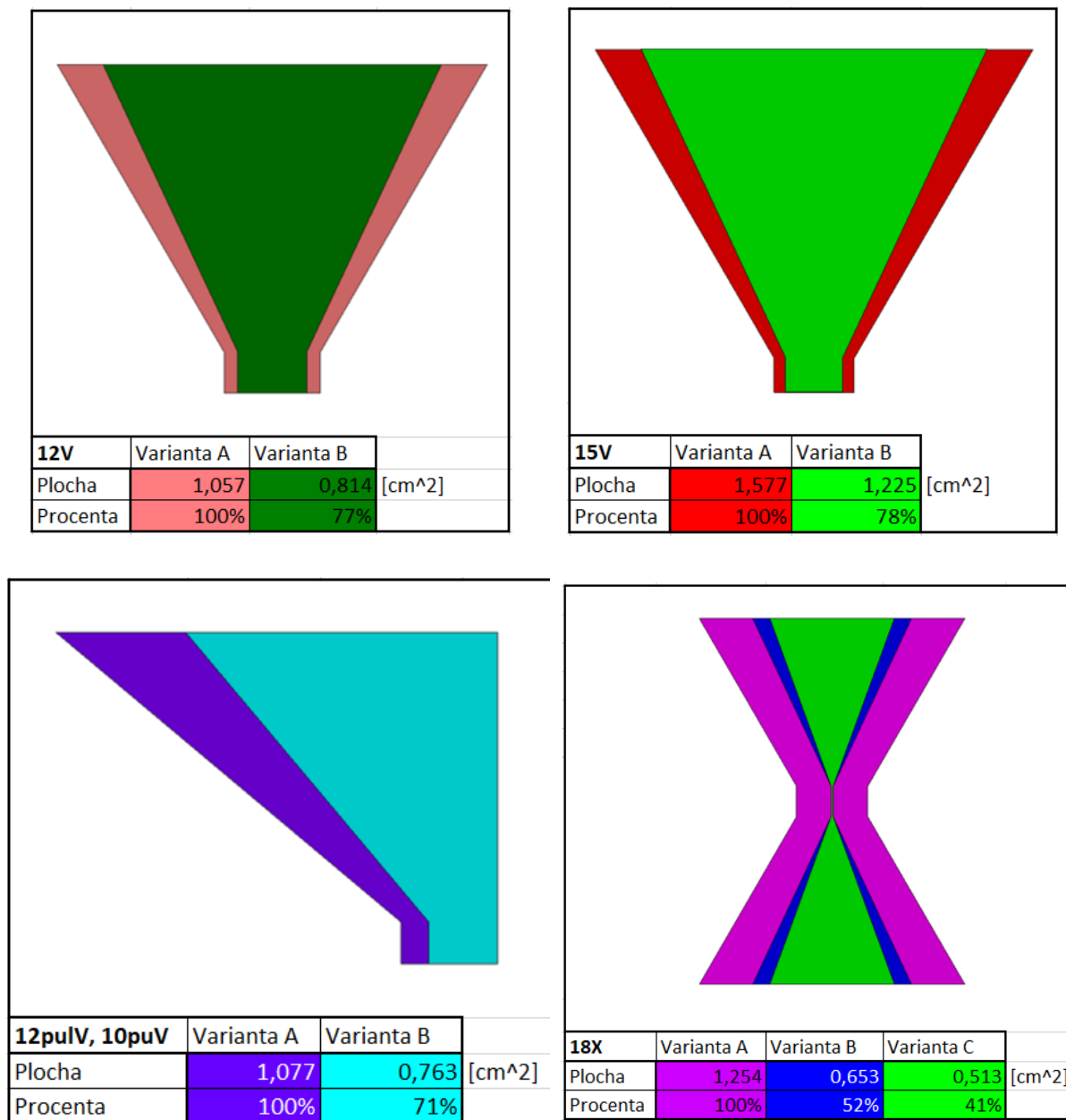
Tyto svary se vyskytují v pásech. Pro tento typ svaru je zapotřebí oboustranný přístup ke svaru. Varianta A je původní svarovou přípravou pro ruční svařování, kde je široká mezera pro kořen svaru a úhel rozevření je roven 60°. Na úpravu pro robotické svařování byla svarová příprava zvolena bez mezery a úhel rozevření byl zredukován na 50°. Varianta C potom redukuje úhel rozevření až na 40°.

18X-svar		
Varianta A	Varianta B (pro rob. Svař.)	Varianta C (pro rob. Svař.)
		
Housenková skladba		
		
Postup svařování pro svar 18X (poloha PA)		
<ol style="list-style-type: none"> 1. Zavaření kořenové housenky ze strany A 2. Zavaření výplně ze strany A 3. Drážkování kořene 4. Zavaření kořene ze strany B 5. Zavaření výplně ze strany B 6. Zavaření krycí housenky ze strany B 7. Zavaření krycí housenky 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Zavaření kořenové housenky ze strany A 2. Drážkování kořene 3. Zavaření kořene ze strany B 4. Zavaření krycí housenky ze strany B 5. Zavaření krycí housenky ze strany A 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Zavaření housenky ze strany B 2. Zavaření housenky ze strany A
Pracnost 100%	Pracnost 71%	Pracnost 29%

Varianta B redukuje počet operací na 5. Snížení pracnosti o 29%. Varianta C snižuje pracnost o 71%.

7.2 Porovnání ploch příčného řezu svarů

Byly porovnány plochy příčných řezů svarů CAD modelu, vytvořeného v softwaru Catia. Jedná se o přibližný výpočet, který nebere v potaz například drážkování a převýšení svaru. Porovnání bylo zpracováno graficky a procentuálně na obr. 21.



Obr. 21 – Porovnání ploch upravených svarů

7.3 Příprava vzorků

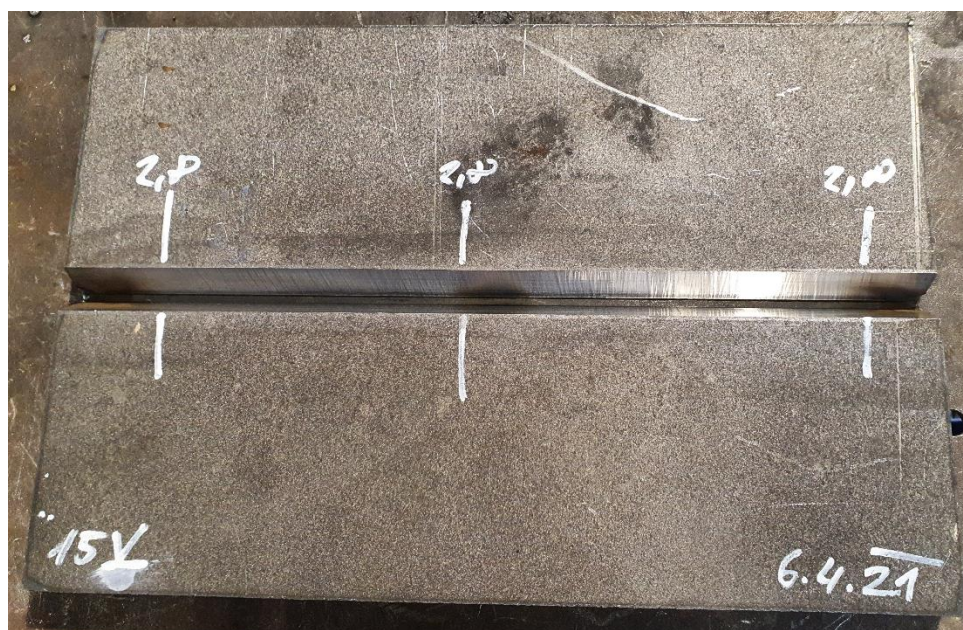
Vzorky pro svařování byly vyrobeny z tabulového plechu S355NL. Základní tvar byl vypálen pomocí laseru. Svarová příprava byla vyrobena frézováním pomocí válcové frézy na CNC obráběcím centru. Vzorky byly vyrobeny dle výkresové dokumentace. Chemické složení materiálu a hodnota CEV je v tabulce 5, které je přímo z certifikačního listu výrobce.

Dle hodnoty CEV, která je pod 0,45 hm.%, množství uhlíku, které je pod 0,2 hm.% a tloušťky dílce, není nutné provádět žádná speciální opatření (viz. kapitola 2.4.1).

EN ISO 9001 : TÜV NORD: 04100930144 EN ISO 14001: TÜV NORD: 04104030144 BS OHSAS 18001: TÜV NORD: 04116030144	Customer's e-mail:																				
B01/Výrobek, Product, Erzeugnis, Produit, B08/Počet ks, No. of pieces, Stückzahl B09-B11/Rozměry, Dimensions, Maße B12/Teor. hmot., Th. mass, Th. Masse, Masse th.		B02/ Označení oceli, Steel designation, Stahlbezeichnung, Désignation de l'acier		B03/ Dodací podmínky, Terms of Delivery, Lieferbedingungen, Conditions de livraison																	
20-2000-3000 mm		S355NL		EN 10025-3/2019 EN 10029 A/N EN 10163-2 Tř. A Podsk. 3																	
10 362 kg		+N																			
11 plechů		B04/Stav výrobku při dodání, Product delivery condition, Lieferzustand des Erzeugnisses, Etat de livraison																			
B08		B05/ Referenční zprac., Reference treatment of simplex, Referenzbehandlung, Traitement de référence des échantillons																			
B14/Tavba č. Heat No. Schmelze Nr. No. de la coulée	C70	B08/Počet ks No. of pieces Stückzahl No. No. de pièces	C00/Identifik. Identifizierung Identification	C01	C02	C03 [°C]	C10	C11 Type	C13 Type	C11 [MPa]	C12	C13 [%]	C02	C03[°C]	C40,C41	C42	C43				
Zkouška tahem, Tensile test, Zugversuchkeit, Essai de traction																					
Zkouška rázem v ohybu [J], Impact test [J], Kerbschlagversuchkeit [J], Essai de résilience [J]																					
30573	Y	8	546058	A	T	20	P	ReH	A5	393	535	31.4	L	-50	KV ₂	10	139	141	182	154	
30574	Y	3	546060	A	T	20	P	ReH	A5	388	528	30.5	L	-50	KV ₂	10	169	182	182	178	
C71-C92/ Chemické složení [%]																					
Tavba	C	Mn	Si	P	S	Cu	Ni	Cr	Mo	V	Ti	Al	N	Nb	CEV						
30573	0.173	1.400	0.350	0.015	0.002	0.011	0.050	0.025	0.005	0.004	0.002	0.036	0.005	0.014	0.42						
30574	0.171	1.390	0.330	0.012	0.002	0.012	0.050	0.026	0.005	0.003	0.002	0.028	0.006	0.014	0.41						

Tabulka 5 – Inspekční certifikát pro materiál P20, S355NL

Nastehování zkušebních plechů bylo provedeno s pomocí univerzálních svěrek a dorazů na svařovacím stole. Výsledná svarová příprava byla připravena v tolerancích dle výkresů v příloze. Příklad nastehovaného vzorku pro svar 15-V na podložku je na obr. 22.



Obr. 22 – Nastehovaný vzorek svaru 15X s měřením svarové mezery

7.4 Svařování vzorků

Pro zavaření vzorků byl použit šestiosý svařovací robot QIROX QRC 350 (obr. 23) se zdrojem QINEO PULSE 601 (obr. 24) od firmy CLOOS Schweißtechnik GmbH. Vzorky byly zavařeny metodou 135 dle EN ISO 4063, impulzním svařovacím procesem za použití napěťového senzoru pro dohledávání svarové drážky. Jako přídatný materiál byl použit drát $\varnothing 1$ mm od firmy ESAB - EN ISO 14341-A- G 42 3 M21 3Si1 (viz. příloha). Jako ochranný plyn byl použit směsný plyn M21, který obsahuje 82%Ar + 18%CO₂. Naprogramování svařovacího procesu proběhlo na programovací konzole PHG (obr. 25) pomocí programovacího jazyku CAROLA (Cloos **A**dvanced **R**obot **L**anguage).

	Počet os:	6
	Váha:	235 [kg]
	Pracovní rozsah:	$\varnothing 4470$ mm
	Nástroj:	Svařovací hořák MRW509
	Přesnost najíždění:	$\pm 0,1$ mm
	Aplikace:	Svařování MIG/MAG Svařování plazmou Řezání plazmou Řezání kyslíkem
<p><i>Obr. 23 - Svařovací robot QIROX QRC 350 [15]</i></p>		

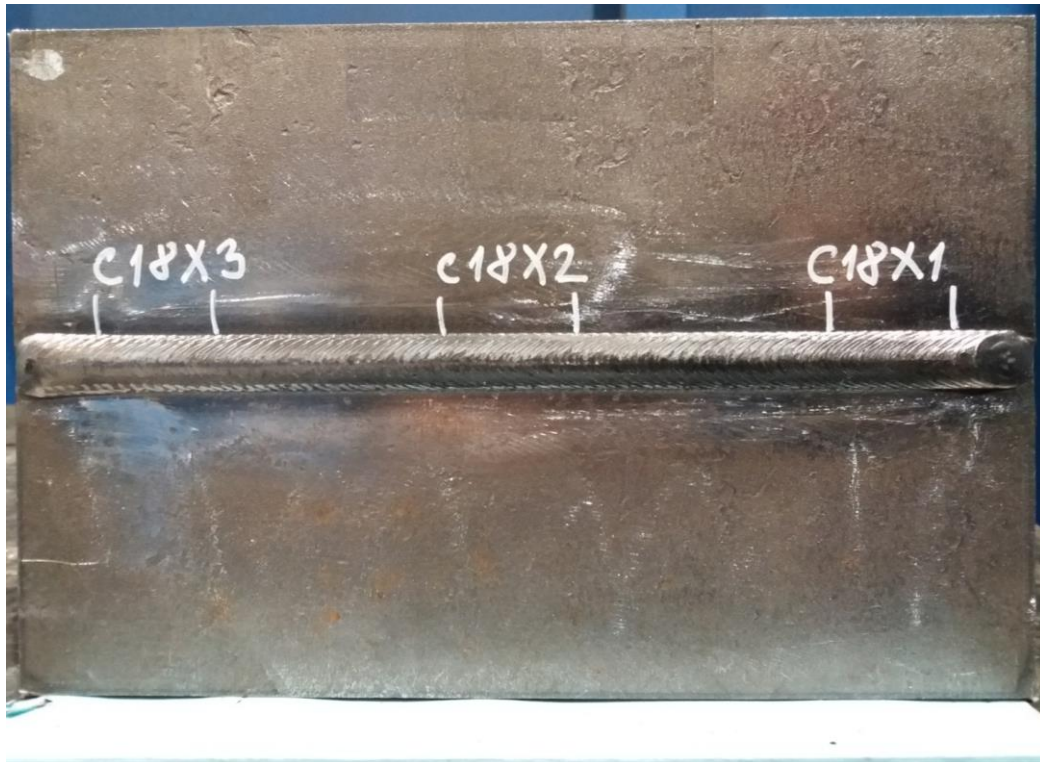
	Svařovací proud:	40 – 600 [A]
	Proud při zatěžovateli 100%	465 [A]
	Váha:	234 [kg]
	Průměr svařovacího drátu:	0,8 – 2,0 mm
	Metody svařování:	MIG/MAG TIG Ruční elektroda
<p><i>Obr. 24 - Svařovací zdroj QINEO PULSE 601 [23]</i></p>		



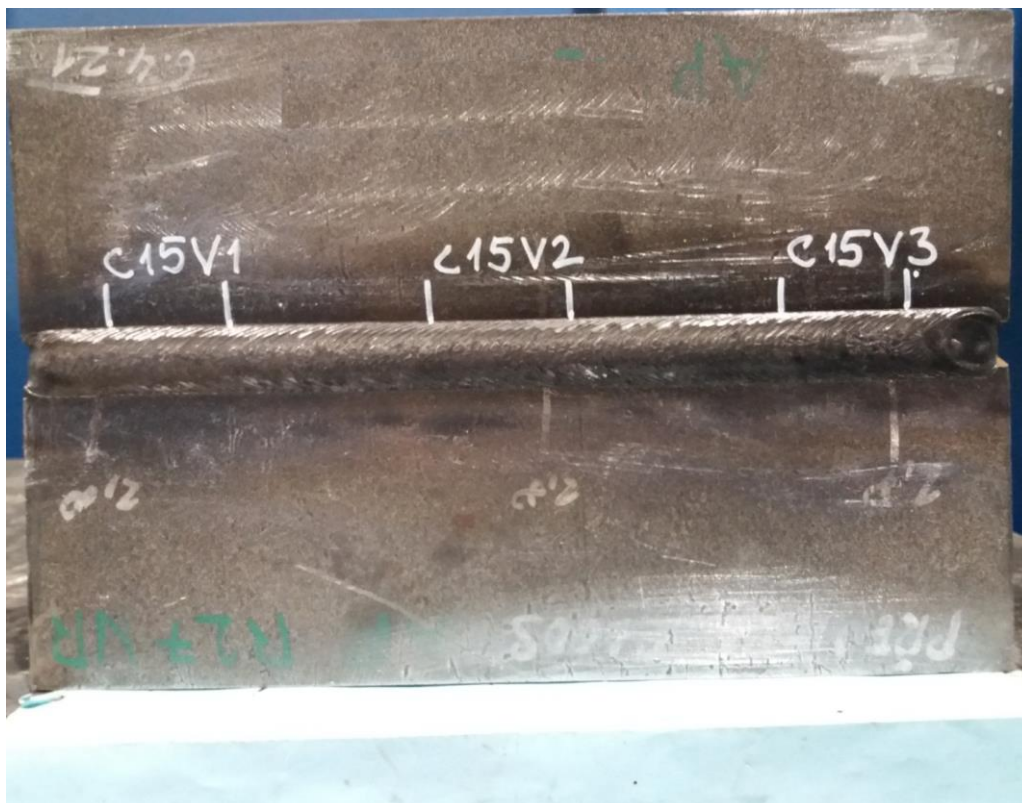
Obr. 25 – Programovací konzola PHG [21]



Obr. 26 – Průběh svařování vzorku 18X





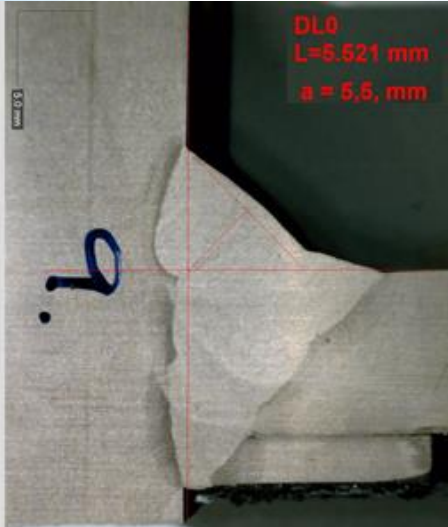
Obr. 27 – Robotem svaření vzorek svaru 18X s vyznačenými místy rozřezů



Obr. 28 – Robotem svaření vzorek svaru 15V s vyznačenými místy rozřezů

7.5 Vyhodnocení vzorků

Zavařené vzorky (příklad na obr. 27, 28) byly podrobeny magnetické zkoušce dle ČSN EN ISO 17638 a ČSN EN 23278 a vizuální prohlídce dle ČSN EN ISO 17637 a ČSN EN 5817-B. Poté následovalo rozřezání na 3 místech pro vyhodnocení makrosnímků, velikosti TOO a měření tvrdosti. Publikování hodnot nebylo ze strany Škoda Transportation a.s. dovoleno.

Typ svaru	Makroskopický snímek řezu svaru	MT	VT	Tvrđost HV 10	Velikost TOO
12V, varianta B		Bez indikací	Vyhovující	vyhovující	15% menší oproti variantě A
15V, varianta B		Bez indikací	Vyhovující	vyhovující	15% menší oproti variantě A
10puIV, varianta B		Bez indikací	Vyhovující	vyhovující	15% menší oproti variantě A

Typ svaru	Makroskopický snímek řezu svaru	MT	VT	Tvrдость HV 10	Velikost TOO
12pulV, varianta B		Bez indikací	Vyhovující	vyhovující	15% menší oproti variantě A
18X, varianta B		Bez indikací	Vyhovující	vyhovující	20% menší oproti variantě A
18X, varianta C		Bez indikací	Vyhovující	vyhovující	25% menší oproti variantě A

7.5.1 Vnesené teplo

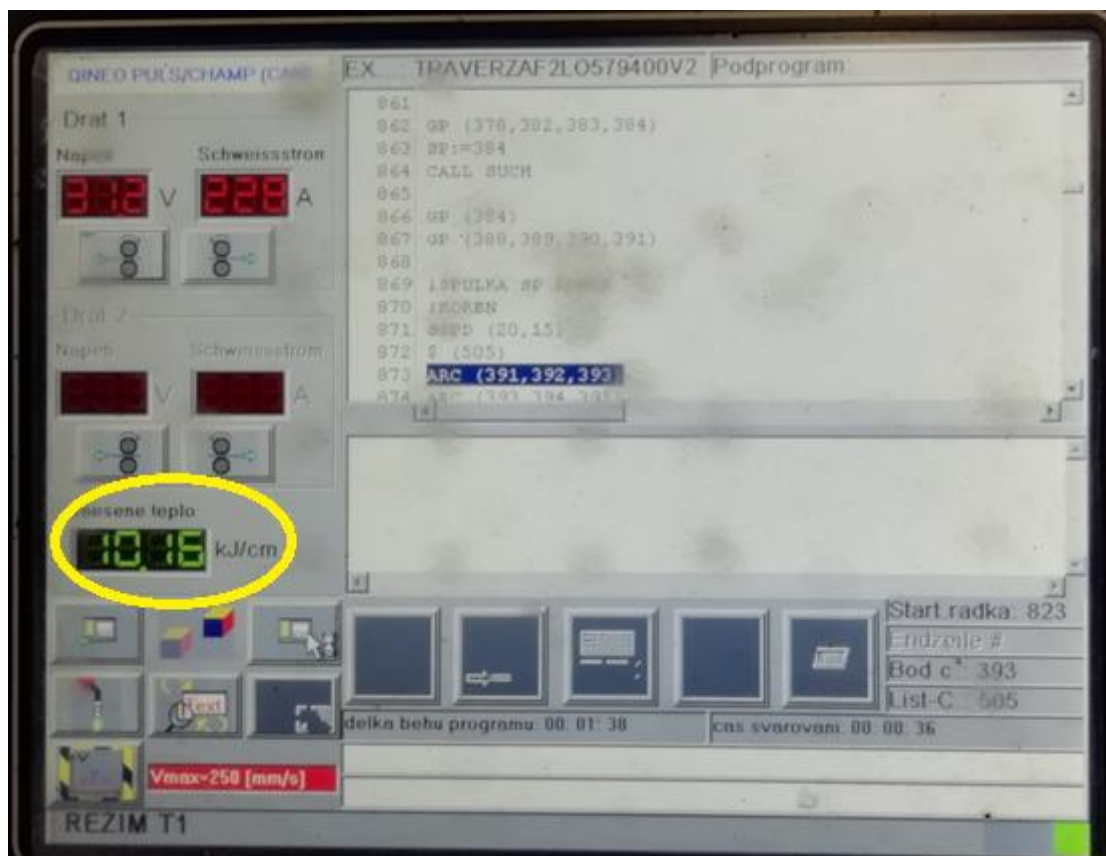
Vnesené teplo v případě ručního svařování bylo vypočítáno na základě středních hodnot svařovacího proudu, napětí a svařovací rychlosti z dokumentů WPS Škoda Transportation. Přesné hodnoty svařovacích parametrů nebyly ze strany Škoda Transportation dovoleny publikovat. Výpočet byl proveden podle vzorce č. 2. Vnesené teplo pro robotické svařování bylo přímo odečítáno z programovací konzole během svařování (viz. obr. 29).

$$Q_s = \eta \frac{U \cdot I}{10^3 \cdot v_s} [kJ \cdot mm^{-1}]$$

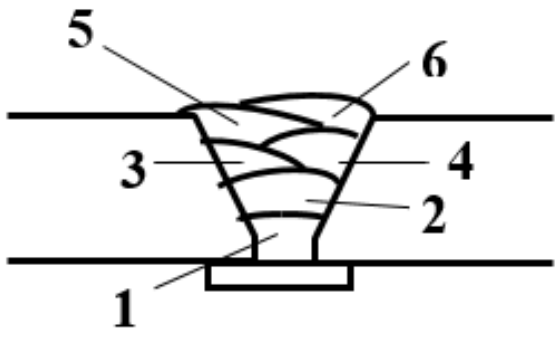
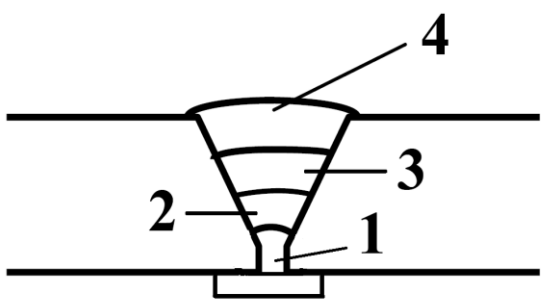
Vzorec 2 – Výpočet Q_s při svařování [5]

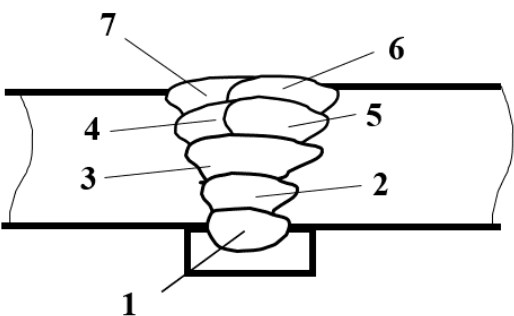
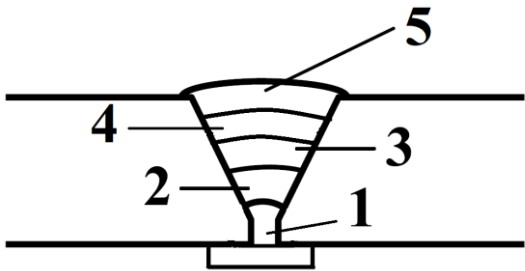
Veličina	Hodnota	Jednotka
U	napětí	[V]
I	proud	[A]
μ	koeficient účinnosti	[-]
v_s	svařovací rychlost	[mm/s]
Q_s	vnesené teplo	[kJ/mm]

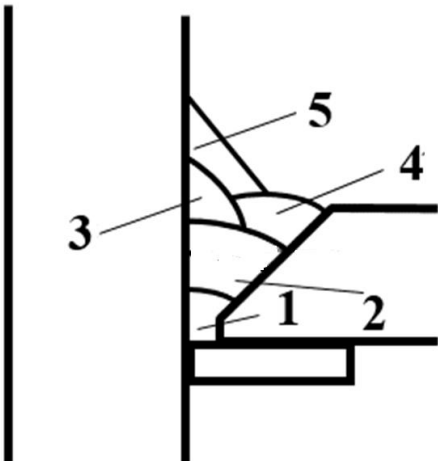
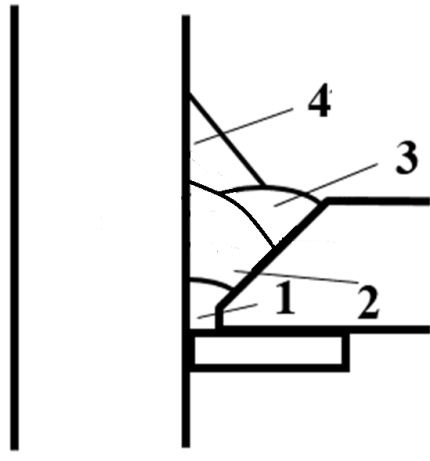
Koeficient účinnosti pro metodu svařování 135 se pohybuje v rozmezí 0,66 - 0,75. Pro výpočet byla zvolena střední hodnota účinnosti 0,7. [5]

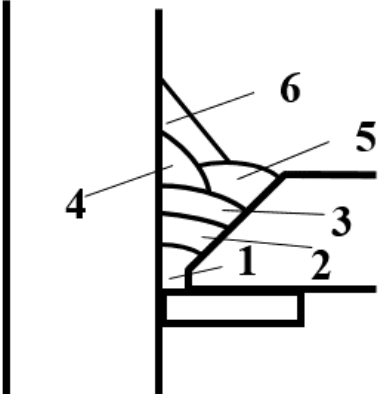
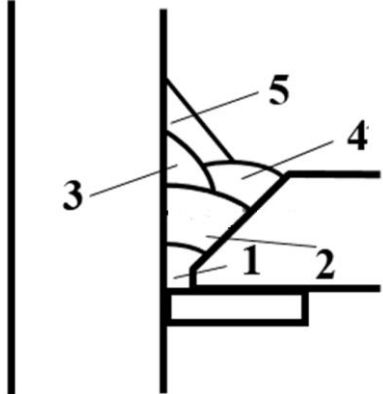


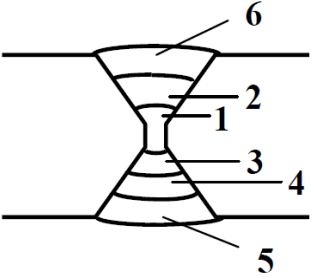
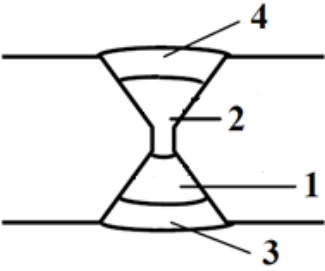
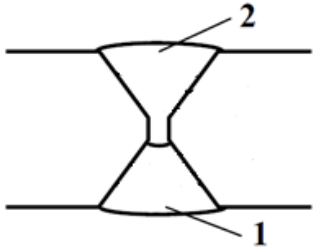
Obr. 29 – Programovací konzole PHG, zobrazení aktuálního vneseného tepla

Housenková skladba pro svar 12V s podložkou	
Varianta A	Varianta B (pro robotické svařování)
	
Vnesené teplo Q_s [kJ/mm]	
1. 1,02 2. 0,79 3. 0,81 4. 0,77 5. 0,76 6. 0,78	1. 1,05 2. 1,12 3. 1,15 4. 1,09
Celkem: 4,9	Celkem: 4,4
100%	90%

Housenková skladba pro svar 15V s podložkou	
Varianta A	Varianta B (pro robotické svařování)
	
Vnesené teplo Q_s [kJ/mm]	
1. 0,86 2. 0,81 3. 0,79 4. 0,71 5. 0,80 6. 0,78 7. 0,77	1. 1,06 2. 1,11 3. 1,15 4. 0,91 5. 0,9
Celkem: 5,5	Celkem: 5,1
100%	93%

Housenková skladba pro svar 10 ½V s podložkou	
Varianta A	Varianta B (pro robotické svařování)
	
Vnesené teplo Q_s [kJ/mm]	
1. 0,72 2. 0,78 3. 0,77 4. 0,80 5. 0,92	1. 1,06 2. 1,07 3. 1,01 4. 0,91
Celkem: 4,0	Celkem: 4,1
100%	103%

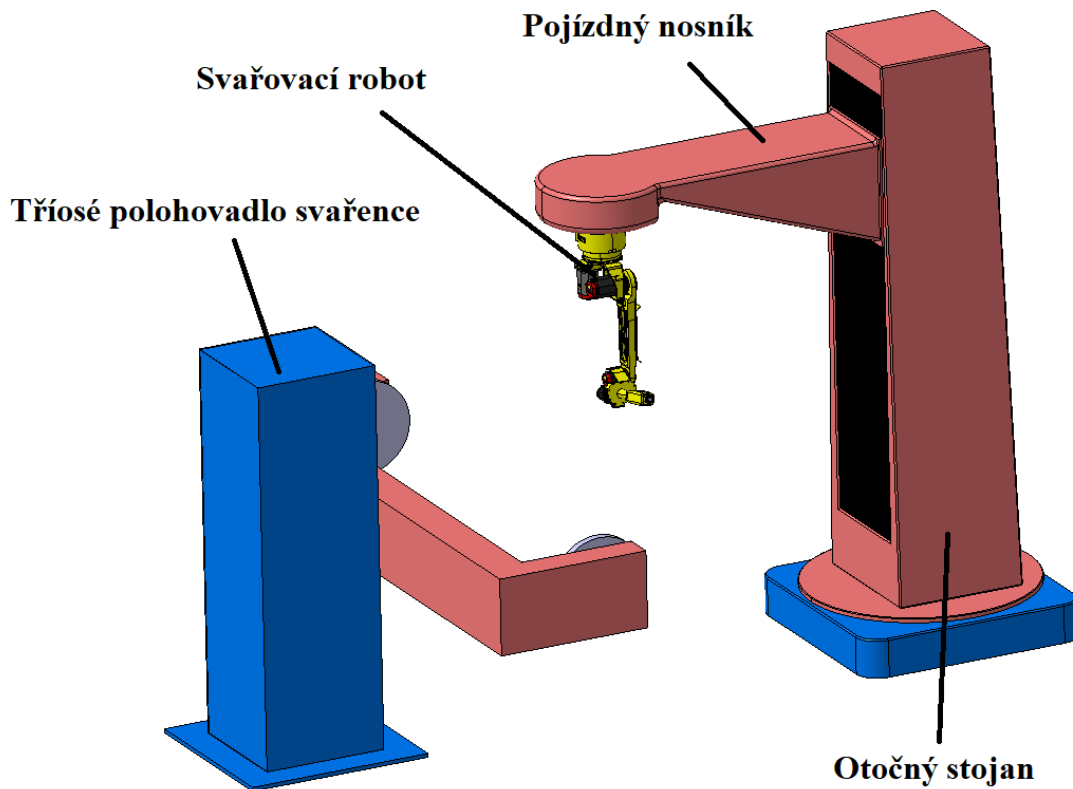
Housenková skladba pro svar 12 ½V s podložkou	
Varianta A	Varianta B (pro robotické svařování)
	
Vnesené teplo Q_s [kJ/mm]	
1. 0,76 2. 0,77 3. 0,75 4. 0,81 5. 0,88 6. 0,90	1. 1,06 2. 1,07 3. 0,85 4. 1,02 5. 0,90
Celkem: 4,9	Celkem: 4,9
100%	100%

Housenková skladba pro svar 18X		
Varianta A	Varianta B (pro rob. svař.)	Varianta C (pro rob. svař.)
		
Vnesené teplo Q_s [kJ/mm]		
1. 0,59 2. 0,63 3. 0,60 4. 0,60 5. 1,59 6. 1,56	1. 1,15 2. 1,38 3. 0,78 4. 0,79	1. 1,25 2. 1,32
celkem: 5,6	celkem: 4,1	celkem: 2,6
100%	73%	46%

7.6 Návrh robotického svařovacího pracoviště

Z analýzy procesu svařování podsestav rámu podvozku – podélníku a příčnicku (více vrstvé svařování, svařování ze všech stran) – vyplývá vhodná konfigurace zařízení pro robotizované svařování těchto podsestav.

Schéma svařovacího zařízení, které je vhodné pro svařování svařenců typu podélník a příčník, obsahuje šestiosého robota se dvěma externími osami. Jedna osa je rotační v základně stojanu a druhá je vertikální pro horizontální posuv pojízdného nosníku. Třiosé polohovadlo svařence se dvěma otočnými osami a jednou lineární osou pro vertikální zdvih s nosností 2000 kg (viz. obr. 30) je umístěno naproti svařovacímu robotu. Dále je zařízení vybaveno senzorem pro posunutí svařovacích drah pomocí dotyku a také napětovým senzorem pro sledování svarové spáry během svařování.



Obr. 30 – Model robotického pracoviště pro svařování podélníku a příčnicku

8 Diskuze výsledků

Pomocí robotického svařování byly svařeny vzorky vybraných svarů s upravenou svarovou přípravou. Kvalita vzorků byla hodnocena magnetickou zkouškou, vizuální zkouškou, makro výbrusem a měřením tvrdosti. Kvalita svařených vzorků byla vyhovující.

Svar 12V byl svařen v jedné upravené variantě s kořenovou mezerou 2-3 mm a s úhlem rozevření 50°. Upravená varianta byla svařena pomocí čtyř svarových housenek, čímž byly oproti původní variantě uspořeny dvě svarové housenky, což snížilo pracnost svaru o 33%. Porovnáním ploch s původní variantou bylo uspořeno 23% svarového kovu. Vnesené teplo bylo zredukováno o 10%.

Svar 15V byl svařen v jedné upravené variantě, a to kořenovou mezerou 2-3 mm a s úhlem rozevření 50°. Upravená varianta byla svařena pomocí pěti svarových housenek. Oproti původní variantě byly uspořeny dvě svarové housenky a překrytí svaru bylo provedeno pouze z jedné housenky. Tím se pracnost svaru snížila o 29%. Porovnáním ploch s původní variantou je varianta B uspořila 22% svarového kovu. Vnesené teplo bylo zredukováno o 7%.

U ½V svarů byla kořenová mezera zredukována na 2-3 mm a úhel rozevření na 40°, který je mimo rozsah doporučených svarových příprav. U obou upravených variant byla uspořena jedna výplňová housenka. Pracnost svaru byla snížena o 20%. Plošná úspora upravených variant je 29%. Množství vneseného tepla bylo s neupravenými variantami shodné.

Svar 18X byl svařen ve dvou upravených variantách bez svarové mezery. Varianta B s úhlem rozevření 50° byla svařena celkem na čtyři housenky a postup obsahoval i drážkování po zavaření prvního kořenové housenky. Oproti původní variantě se jedná o úsporu dvou svarových housenek. Pracnost svaru je o 29% nižší. Varianta C s úhlem rozevření 40°, který je mimo rozsah doporučených svarových příprav, byla svařena pouze dvěma svarovými housenkami a bez drážkování kořene. V porovnání s původní variantou se jedná o úsporu čtyř svarových housenek a bez potřeby drážkování kořene svaru. Tím byla pracnost snížena o 71%. Porovnáním ploch s původní svarovou přípravou je varianta B úspornější o 48% a varianta C o 59%. Vnesená tepla upravených svarů jsou pro variantu B redukována o 27% a pro variantu C až o 54%.

Úspora vzniká také při obrábění detailů, protože u upravených svarových příprav je odebíráno méně základního materiálu.

Deformace vzorků nebyly měřeny. Lze ale předpokládat, že podle hodnoty vyplňovaného svarového kovu a vnesených tepel, budou deformace svařence menší. Tím by také mohlo dojít k úspoře pracnosti v operaci rovnání. Do problematiky deformací při svařování, ale vstupuje hodně faktorů, kam patří vnitřní pnutí základního materiálu, stehování svařence, upnutí svařence do přípravku, volba předehřevu, pokládka svarových housenek, proces chladnutí svařence a podobně.

Návrh robotického svařovacího pracoviště pro svařování příčnicku rámu kolejového vozidla obsahuje tříosé polohovadlo svařence s nosností 2000 kg a rozměry dle náčrtu. Pracoviště je vybaveno šestiosým svařovacím robotem, zavěšeným základnou nahoru, na otočném sloupci s vertikálním pojezdem. Pro korekci svařovacích drah je zařízení vybaveno dotykovým senzorem, který slouží k určení polohy začátku svaru před svařováním a napětovým senzorem, který udržuje správnou trajektorii během svařování.

Úspory upravených svarových příprav pro robotické svařování			
Typ svaru	Snížení pracnosti svaru [%]	Uspořené množství svarového kovu [%]	Redukce vneseného tepla [%]
12V, varianta B	33	23	10
15V, varianta B	29	22	7
10 ½V, varianta B	20	29	0
12 ½V, varianta B	20	29	0
18X, varianta B	29	48	27
18X, varianta C	71	59	54

Tabulka 6 – Úspory upravených svarových příprav pro robotické svařování

9 Závěr

Upravená svarová příprava vybraných svarů poskytuje dostatečnou kvalitu pro svařování rámu podvozků kolejových vozidel. Redukuje množství svarového kovu, počet potřebných svarových housenek, hodnotu vneseného tepla a velikost tepelně ovlivněné oblasti. Tím se snižuje pracnost jednotlivých celků. Dalším krokem je aplikace upravené svarové přípravy na skutečné dílce a odlazení procesu výroby. Pro pokračování úpravy svarových příprav by bylo vhodné zavařit vzorky větších tloušťek a vyzkoušet svar se strmým úkosem s užší kořenovou mezerou a také ½V-svary bez mezery s podloženým svarem. Robotické svařovací pracoviště, navržené v této práci, umožňuje svaření sestav podélníku a příčnicku. Díky pěti externím osám má velký rozsah dostupností a možnosti polohování svařence. Pro rozšíření robotizovaného svařování na celý rám podvozku je zapotřebí navrhnout jiné pracoviště, které by umožňovalo sestavení celého rámu a svaření spojení mezi podélníkem a příčnickem.

10 Seznam použitých zdrojů

- [1] HELLER, Petr a Josef DOSTÁL. *Kolejová vozidla II*. V Plzni: Západočeská univerzita, 2009. ISBN 9788070436417.
- [2] KOLÁŘ, Josef. *Teoretické základy konstrukce kolejových vozidel*. V Praze: České vysoké učení technické, 2009. ISBN 978-80-01-04262-5.
- [3] ČSN EN 15085-3: *Železniční aplikace - Svařování železničních kolejových vozidel a jejich částí - Část 3: Konstrukční požadavky*. Praha: Český normalizační institut, 2008.
- [4] ČSN EN ISO 2553: *Svařování a příbuzné procesy – Zobrazování na výkresech – Svarové spoje*. Praha: Český normalizační institut, 2020.
- [5] HRIVŇÁK, Ivan. *Zváranie a zvariteľnosť materiálov*. V Bratislave: Slovenská technická univerzita, 2009. Edícia vysokoškolských učebníc. ISBN 978-80-227-3167-6.
- [6] SINGH, Remesh. *Applied Welding Engineering: Processes, Codes and Standards, Third Edition: Welding automation*. United Kingdom: Elsevier, 2020. ISBN 978-0-12-821348-3.
- [7] KOVAŘÍK, Rudolf a František ČERNÝ. *Technologie svařování*. 2. vyd. Plzeň: Západočeská univerzita, 2000. ISBN 978-80-7082-697-3.
- [8] CHAYOUKHI, Slah, Zoubeir ZOUBEIR a Ali ZGHAL. Cost estimation of joints preparation for GMAW welding process using feature model. *Journal of materials processing technology*. 2008, **2008**(199), 10.
- [9] HOLUB, Lukáš. Certifikace výrobců kolejových vozidel. *MM Průmyslové spektrum* [online]. 2013, **2013**(4), 3 [cit. 2020-11-14]. Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/clanek/certifikace-vyrobcu-kolejovych-vozidel.html>
- [10] *White Paper on transport - Roadmap to a single European transport area - Towards a competitive and resource- efficient transport system*. Luxembourg, 2011, , 32. Dostupné z: doi:10.2832/30955
- [11] *KOLEJOVÁ VOZIDLA MAJÍ SLIBNOU BUDOUCNOST* [online]. [cit. 2021-5-27]. Dostupné z: <https://www.fs.cvut.cz/verejnost/pr-media/pribehy-z-ustavu/kolejova-vozidla-maji-slibnou-budoucnost/>
- [12] Bogie. *RailSystem* [online]. [cit. 2021-5-27]. Dostupné z: <http://www.railsystem.net/bogie/>
- [13] *Fakta a mýty o dotykovém vyhledávání při robotickém svařování* [online]. 2009 [cit. 2021-5-27]. Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/clanek/fakta-a-myty-o-dotykovem-vyhledavani-pri-robotickem-svarovani>
- [14] NIKU, Saeed B. *Introduction to robotics: analysis, control, applications*. 2020
- [15] *Technický list - Robot QRC 350 mechanics*. 2021.
- [16] CIESLAR, Stanislav. „Přidaná hodnota vytvořená evropským průmyslem ve svařování se pohybuje kolem 66 miliard eur ročně,“ [online]. 2019 [cit. 2021-5-27]. Dostupné z: <https://konstrukce.cz/svarovani-a-deleni-materialu/pridana-hodnota-vytvorena-evropskym-prumyslem-ve-svarovani-se-pohybuje-kolem-66-miliard-eur-rocne-245>

- [17] Bogie. *RailSystem* [online]. [cit. 2021-5-27]. Dostupné z: <http://www.railsystem.net/bogie/>
- [18] *IGM Control K6* [online]. [cit. 2021-5-27]. Dostupné z: <https://www.igm-group.com/en/products/robotersteuerung-rce-k6#lg=1&slide=0>
- [19] KALOUS, Jan. *Přípravky pro svařování*. Skripta ZČU v Plzni
- [20] *IGM robot* [online]. 2021 [cit. 2021-5-27]. Dostupné z: <https://www.igm-group.com/en/products/roboterbaureihe-rte-400#lg=1&slide=1>
- [21] *Návod k programování: Quirox Controller*. 2010. Cloos Praha: Cloos Praha, 2010.
- [22] *Technický list - Robot QRC 350 mechanics*. 2021.
- [23] *QINEO – Produktübersicht*. Heiger, 2021.
- [24] *TAST. The Lincoln Electric Company* [online]. 2021 [cit. 2021-5-27]. Dostupné z: <https://www.lincolnelectric.com/es-es/support/process-and-theory/Pages/intelligent-robotic-detail.aspx>
- [25] *Laser sensor. The Lincoln Electric Company* [online]. 2021 [cit. 2021-5-27]. Dostupné z: <http://rovicor.com/en/products/vs-for-robots/sts-200-r/>
- [26] Lincoln Electric, Programming a robotic arm using a teach pendant. *Augmentus* [online]. [cit. 2021-5-28]. Dostupné z: <https://augmentus.tech/everything-you-need-to-know-about-industrial-and-collaborative-robot-programming/>
- [27] NOVOTNÝ, Karel. *Závěrečný projekt: Plošné a objemové tváření*. 1. vyd. Brno: Vysoké učení technické, 1987.

15 PŘÍLOHA č. 5

POZICE		NÁZEV DÍLU	ROZMĚRY	MATERIÁL	POČET
1		PLECH 02	300x100x18	S355NL	2 ks

Inc. No.	Popis změny / Description of Change	Proved/Issued	Schvál/Approv.	Dot./Date
Norma				
Podloží				
Materiál výroby / Raw Product				
Materiál / Material				
Typ				
Tech. Data / Const.				
Material Group				
Mass netto				
Mass brutto				
Group				
ISO 8015	EN ISO 13920 BF	Dimensi/Roughness	SFG kód	
ISO 2768mk	ŠN 01 4240-m	EN ISO 1302	SFG code	
EN ISO 9013-33		EN ISO 1302:2002	Vyrob. fáze	
			Prod. phase	
Vypracoval / Prepared	Jan POMAHAČ	Svářebný stávkář / Welding supervisor		
Provedl / Made		Svářebný stávkář / Welding supervisor		
Čekoval / Checked	Stan. PLAMINEK	Bonding supervisor		
Schvál / Approved		Pozn./ Note		
Provedení / Version				
Typ / Type				
Formát / Size	A3	Měř. / Scale	1:2	List / Sheet No. 1
				Listů / Sheets 1
Název: X_SVAR_50_STUPNU				
Title: Index				
Číslo výkresu / Drawing No. RS20				

17 PŘÍLOHA č. 7

ESAB Weld G3Si1

SFA/AWS A 5.18: ER 70S-6
EN ISO 14341A: G 3Si1

Použití:

Weld G3Si1 je poměděný drát z produkce společnosti ESAB určený pro svařování nelegovaných a nízko legovaných uhlík-manganových konstrukčních ocelí metodou MAG. Weld G3Si1 má širší chemické složení než naše prémiové dráty OK Autrod 12.51 a OK AristoRod 12.50, jeho svařovací vlastnosti se blíží možnostem těchto drátů. Typické použití tohoto drátu je při výrobě ocelových konstrukcí. Je vhodný pro svařování koutových a tupých svarů ve všech svařovacích polohách. Lze svařovat jak v atmosféře smíšeného plynu Ar/CO₂, tak i v čistém CO₂.

Vhodnost pro svařování, např.:

P/S 235 až P/S 420

Klasifikace, certifikace:

CE EN 13479

TUV 13038

DB 42.039.39

Ochranný plyn (EN ISO 14175):

M21, C1

Klasifikace svarového kovu:

EN ISO 14341-A G 38 2 C1 3Si1

EN ISO 14341-A G 42 3 M21 3Si1

Svařovací proud: $\square = (+)$

Typické chemické složení drátu (%):

C	Si	Mn
0,11	0,85	1,30

Polohy svařování:



Typické mechanické hodnoty čistého svarového kovu:

Podmínky	Stav	Plyn	R _{eL} MPa	R _m MPa	A ₄ (A ₅) %	Z %	KV (J) ^{°C}		
							+20	-20	-30
EN	TZ 0	M21	470	560	26	68	130	90	70
EN	TZ 0	C1	440	540	25	70	110	70	

Svařovací parametry a orientační výkonové hodnoty:

Ø d (mm)	Proud (A)	Napětí (V)	Výtěžnost svar. kovu g/100g drátu	Spotřeba plynu (l/min)	Rychlost podávání (m/min)	Výkon svařování (kg/h)
0,8	60 - 200	18 - 24	95	14	3,2 - 13,0	0,8 - 3,0
1,0	80 - 300	18 - 32	96	14	2,7 - 15,0	1,0 - 5,6
1,2	120 - 380	18 - 34	97	18	2,7 - 15,0	1,3 - 8,0