

**ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI**  
**FAKULTA STROJNÍ**

**Studijní program:** N0715A270014 - Materiálové inženýrství a výrobní technologie

**Studijní specializace:** N0715A270014S00 - Materiálové inženýrství a výrobní technologie

**DIPLOMOVÁ PRÁCE**

**Robotické svařování svorníků metodou SRM**

**Autor:** Bc. Štěpán CEMPÍREK

**Vedoucí práce:** Prof. Dr. Ing. Antonín Kříž, IWE.

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. Štěpán CEMPÍREK**  
Osobní číslo: **S19N0234P**  
Studijní program: **N0715A270014 Materiálové inženýrství a výrobní technologie**  
Studijní obor: **Materiálové inženýrství a výrobní technologie**  
Téma práce: **Robotické svařování svorníků metodou SRM**  
Zadávající katedra: **Katedra materiálu a strojírenské metalurgie**

### Zásady pro vypracování

1. Svařování svorníků u vysokopevných ocelí
2. Úvod do metody SRM a vybraného typu obloukového svařování
3. Rozbor automatizovaného svařování
4. Vliv jednotlivých svařovacích parametrů na výsledný svarový spoj
5. Praktické svaření svorníků – optimalizace svařovacích parametrů
6. Vyhodnocení kvality provedeného svaru
7. Diskuse výsledků a závěr

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

Seznam doporučené literatury:

TARN, T., CHEN, S., CHEN, X., *Robotic Welding, Intelligence and Automation RWIA'2014*. Cham., Springer International Publishing. 2015. ISBN 978-3-319-18997-0

Soyer.de., 2020. SRM. [online] Dostupné z :<https://www.soyer.de/gb/content/products/srm>

OLSON, D., FULAY, Pradeep, P., WRIGHT, Wendelin, J., *ASM HANDBOOK Welding, brazing, and soldering (Vol. 6)*. Metals Park, OH: ASM International, 1993. ISBN 10: 0871703823

*Svařování – Obloukové přivařování svorníků z kovoových materiálů.*, Norma ČSN EN ISO 14555,

Vedoucí diplomové práce: **Prof. Dr. Ing. Antonín Kříž, IWE**  
Katedra materiálu a strojírenské metalurgie

Konzultant diplomové práce: **Ing. Petr Vála**

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

V Plzni dne 6. října 2020

## **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

# ANOTAČNÍ LIST DIPLOMOVÉ PRÁCE

<b>AUTOR</b>	Příjmení Cempírek	Jméno Štěpán	
<b>STUDIJNÍ PROGRAM</b>	N0715A270014 - Materiálové inženýrství a výrobní technologie		
<b>VEDOUcí PRÁCE</b>	Příjmení (včetně titulů) Prof. Dr. Ing. Kříž, IWE.	Jméno Antonín	
<b>PRACOVÍŠTĚ</b>	ZČU - FST - KMM		
<b>DRUH PRÁCE</b>	<b>DIPLOMOVÁ</b>	<del><b>BAKALÁŘSKÁ</b></del>	Nehodící se škrtněte
<b>NÁZEV PRÁCE</b>	Robotické svařování svorníků metodou SRM		

<b>FAKULTA</b>	strojní	<b>KATEDRA</b>	KMM	<b>ROK ODEVZD.</b>	2021
----------------	---------	----------------	-----	--------------------	------

## POČET STRAN (A4 a ekvivalentů A4)

<b>CELKEM</b>	111	<b>TEXTOVÁ ČÁST</b>	100	<b>GRAFICKÁ ČÁST</b>	11
---------------	-----	---------------------	-----	----------------------	----

<p style="text-align: center;"><b>STRUČNÝ POPIS (MAX 10 ŘÁDEK)</b></p> <p><b>ZAMĚŘENÍ, TÉMA, CÍL POZNATKY A PŘÍNOSY</b></p>	<p>Práce se zabývá robotickým přivařováním svorníků metodou SRM. V teoretické části jsou popsány základní metody svorníkového přivařování spolu s metodou SRM a vysokopevnými ocelmi. V experimentální části je popsáno programování svařovacího robota a dále, jakým způsobem byly odladěny svařovací podmínky. Na zhotovených spojích bylo provedeno vizuální a makroskopické testování s vyhodnocením jakosti spojů.</p>
<p style="text-align: center;"><b>KLÍČOVÁ SLOVA</b></p> <p style="text-align: center;"><b>ZPRAVIDLA JEDNOSLOVNÉ POJMY, KTERÉ VYSTIHUJÍ PODSTATU PRÁCE</b></p>	<p>Metoda SRM, zdvihové přivařování svorníků, programování svařovacích robotů, robotické svařování, navařování čepů, optimalizace svařovacích parametrů, moderní způsoby svařování</p>

## SUMMARY OF DIPLOMA SHEET

<b>AUTHOR</b>	Surname Cempírek	Name Štěpán	
<b>STUDY PROGRAMME</b>	N0715A270014 – Materials engineering and production technology		
<b>SUPERVISOR</b>	Surname (Inclusive of Degrees) Prof. Dr. Ing. Kříž, IWE.	Name Antonín	
<b>INSTITUTION</b>	ZČU - FST - KKm		
<b>TYPE OF WORK</b>	<b>DIPLOMA</b>	<del><b>BACHELOR</b></del>	<b>Delete when not applicable</b>
<b>TITLE OF THE WORK</b>	Robotic welding of bolts by SRM method		

<b>FACULTY</b>	Mechanical Engineering	<b>DEPARTMENT</b>	KMM	<b>SUBMITTED IN</b>	2021
----------------	---------------------------	-------------------	-----	---------------------	------

### NUMBER OF PAGES (A4 and eq. A4)

<b>TOTALLY</b>	111	<b>TEXT PART</b>	100	<b>GRAPHICAL PART</b>	11
----------------	-----	------------------	-----	-----------------------	----

<b>BRIEF DESCRIPTION TOPIC, GOAL, RESULTS AND CONTRIBUTIONS</b>	The work deals with robotic welding of bolts by SRM method. The theoretical part describes the basic methods of bolt welding together with the SRM method and high-strength steels. The experimental part describes the programming of the welding robot and how the welding conditions were tuned. Visual and macroscopic testing was performed on the made joints including the evaluation of the quality of the joints.
<b>KEY WORDS</b>	SRM method, stroke welding of studs, programming of welding robots, robotic welding, welding of bolts, optimization of welding parameters, modern welding methods

## **Poděkování**

Rád bych touto cestou poděkoval vedoucímu diplomové práce Prof. Dr. Ing. Antonínu Křížovi, IWE, za poskytnutý nekonvenční náhled, jak řešit řadu situací velice funkčním způsobem.

Děkuji také kolegům z oddělení robotizace ve firmě Schäfer-Menk. Konkrétně konzultantovi diplomové práce Ing. Petru Válovi, IWE a také Petru Kuchyňkovi za uvedení do problematiky programování svařovacích robotů. Rád bych také poděkoval kolegům z oddělení technologie, zejména Jiřímu Vackovi za mnoho postřehů, které se ukázaly velmi užitečnými.

Největší poděkování patří mé matce MUDr. Věře Cempírkové, která mě podporovala během celého studia, a to jak lidsky, tak finančně.

Děkuji rovněž společnosti Schäfer-Menk, že poskytla prostor pro realizaci této diplomové práce.

## Obsah

Použité zkratky .....	13
1. Úvod do metody SRM a vybraného typu obloukového svařování .....	15
1.1. Přivařování svorníků.....	15
1.1.1. Značení metody a její názvy v mezinárodních jazycích .....	15
1.1.2. Definice svorníku .....	15
1.1.3. Využití svorníků v průmyslu.....	15
1.2. Fundamenty svorníkového přivařování .....	15
1.2.1. Materiály – druhy kovů, jež lze touto metodou spojovat.....	15
1.2.2. Polarita a proudy .....	16
1.2.3. Rozdělení a některá specifika.....	16
1.2.4. Příprava svarové plochy .....	17
1.2.5. Výchozí povrchová úprava svorníku.....	17
1.3. Základní metody svorníkového přivařování.....	17
1.3.1. Zdvihové přivařování svorníků .....	17
1.3.2. Kondenzátorové přivařování svorníků s hrotovým zapalováním .....	19
1.3.3. Výhody a nevýhody .....	20
1.3.4. Online kalkulačka pro výpočet únosnosti svorníkového spoje .....	21
1.4. SRM - Schweißen in Radialsymmetrischem Magnetfeld.....	23
1.4.1. Původ metody.....	23
1.4.2. Značení metody a její význam v češtině .....	23
1.4.3. Průběh a specifika metody .....	23
1.4.4. Používané zdroje proudu.....	27
1.4.5. Výhody metody SRM vůči běžným způsobům zdvihového přivařování svorníků 27	
1.4.6. Srovnatelné technologie od jiných výrobců .....	28
2. Svařování svorníků u vysokopevných ocelí.....	29
2.1. Úvod do vysokopevných ocelí a jejich svařování .....	29
2.2. Vysokopevné oceli .....	29
2.2.1. Jemnozrné vysokopevné oceli.....	29
2.2.2. Mechanismus zpevnění a výroba .....	30
2.2.3. S960QL – Materiálové hledisko .....	30



2.2.4.	Uhlíkový ekvivalent a vliv vodíku na mechanické vlastnosti při svařování vysoce pevných ocelí.....	31
2.2.5.	S960QL – Praktické hledisko.....	32
2.2.6.	Další typy vysokopevných ocelí používaných ve firmě Schäfer-Menk.....	33
2.2.7.	Atest, neboli inspekční certifikát 3.1.....	33
2.3.	Svařování vysokopevných ocelí s použitím keramického kroužku.....	33
2.3.1.	Vliv keramického kroužku.....	34
2.4.	Průvodní jevy svařování svorníků vysokopevných ocelí.....	34
3.	Rozbor robotického svařování.....	34
3.1.	Úvod do současné robotizace a důvody aplikace robotů celosvětově v roce 2020/2021	34
3.1.1.	Hustota robotizace jako měřítko adopce robotických technologií.....	35
3.1.2.	Korektní terminologie, vzhledem k výrazu robot.....	35
3.1.3.	Svařování, jakožto interdisciplinární obor.....	35
3.1.4.	Úvod do nejnovějších současných světových trendů a metod.....	35
3.2.	Přechod od svářeče k robotu.....	36
3.2.1.	Výhody a nevýhody těchto dvou přístupů ke svařování.....	36
3.2.2.	Zaznamenané proměnné během svařovacího procesu.....	36
3.2.3.	Vizuální snímání lázně.....	37
3.2.4.	Senzory, smysly svařovacího robota.....	37
3.2.5.	Dotykový senzor (touch sensing).....	37
3.2.6.	Zvukové snímání v současnosti a vize do budoucnosti.....	38
3.2.7.	Spektrum jako zpětná vazba.....	38
3.2.8.	Multi-senzorové snímání.....	38
3.3.	Základní procesy robotického přivařování svorníků.....	39
4.	Programování svařovacích robotů.....	39
4.1.	Úvod a srovnání softwaru na programování robotů s CAD softwarem.....	39
4.1.1.	Další možné softwary umožňující programování svařovacích robotů.....	39
4.1.2.	Svařování, jakožto zvláštní proces znesnadňující používání programovacího softwaru	39
4.1.3.	Počítačové rozhraní.....	40
4.2.	Databáze a datové knihovny.....	40
4.2.1.	Vstupní parametry (Input).....	40
4.2.2.	Výstupní parametry (Output).....	40
4.3.	Roboplan – popis osvojení softwaru pro programování robotů.....	40

4.3.1.	Úvod do programu používaného při vytváření této práce .....	40
4.3.2.	Offline programování .....	40
4.3.3.	Základní předpoklad úspěšného programování.....	41
4.3.4.	Nepřítomnost tlačítka zpět .....	41
4.3.5.	Typy souborů, jež je nutné znát pro práci se softwarem Roboplan .....	41
4.3.6.	Významná role os při vytváření programu pro robot.....	42
4.3.7.	Dráhy, klíčový prvek celého softwaru .....	42
4.3.8.	Simulace pohybů robota .....	42
4.3.9.	Posouvání os.....	43
4.3.10.	Posuv .....	43
4.3.11.	Tvorba drah manuálně .....	43
4.3.12.	Ikony drah.....	44
4.3.13.	Užitečné funkce .....	44
4.3.14.	Praktická tvorba drah (automatická).....	44
4.3.15.	Body a dosažitelnost .....	45
4.3.16.	Dosažitelnost prakticky .....	45
5.	Vliv jednotlivých svařovacích parametrů na výsledný svarový spoj.....	45
5.1.	Vnesené teplo .....	45
5.2.	Velikost zanoření.....	45
5.3.	Elektrické napětí .....	46
5.4.	Doba - rychlost .....	46
5.5.	Elektrický proud .....	46
5.6.	SRM proud .....	47
5.7.	Rušivé faktory.....	47
6.	Praktická část.....	48
7.	Přehled norem .....	48
7.1.	Požadavky na personál během přivařování svorníků .....	48
7.2.	Normy jako jeden z ukazatelů kvality prováděného svařování .....	48
7.3.	Základní norma pro svorníkové svařování ČSN EN ISO 14 555.....	49
8.	SRM hlava, nástavec umožňující přivařování čepů .....	49
8.1.	Typy koncových nástavců robota .....	49
9.	Podavač čepů umožňující správné natočení svorníku.....	50
9.1.	Mechanismus nastavující čep správným směrem.....	51
10.	Třídíčka čepů jako příklad, jak fungují dílčí části robota.....	52

10.1.	Třídíčka čepů .....	52
10.2.	Senzor přítomnosti čepu .....	53
10.3.	Manuální ovladač dílčích prvků třídíčky .....	54
10.4.	Arduino, jako most mezi programováním, elektrotechnikou a strojírenstvím .....	55
11.	Svařovací přípravky používané ve výrobních závodech .....	55
11.1.	Přípravky většího typu, vzhledem k jejich hmotnosti a objemu .....	55
11.2.	Speciální svařovací přípravky, vzhledem k jejich jednoúčelovosti .....	56
11.3.	Drobné upínací dílce a přípravky .....	56
12.	WPS – svařovací postupy, reps. specifikace .....	56
13.	Termokřídly a předeřev .....	60
14.	Použité čepy .....	61
14.1.	Druhy .....	61
14.2.	Rozdíl mezi čepy pro ruční a robotické svařování .....	61
14.3.	Vnitropodnikové úpravy .....	62
14.4.	Charakteristiky vybraného čepu .....	62
14.5.	Výroba čepů .....	64
15.	Praktické vlivy okrajové podmínky „Úprava povrchu“ .....	65
15.1.	Vliv nedestruktivního testování .....	65
15.2.	Vliv způsobu obrobení .....	65
15.3.	Korozní degradace .....	66
15.4.	Očištěný povrch jako nejlepší výchozí stav pro přivaření svorníků .....	66
15.5.	Opravy nekvality svorníkového spoje a možná ochrana pomocí prvků z 3D tiskárny 67	
16.	Hodnoty prvních pěti fundamentálních parametrů během experimentu .....	68
16.1.	Vliv hodnoty zanoření na kvalitu svaru .....	68
16.1.1.	Zkoušení hodnoty vysunutí jednoduchým způsobem .....	68
16.2.	Rychlost svařovacího procesu a praktická ukázka jejího vlivu .....	69
16.2.1.	Rychlost prakticky .....	69
16.3.	Akustické projevy .....	70
16.4.	Množství plynu .....	70
16.4.1.	Praktický vliv množství plynu .....	70
16.5.	Dostatečná velikost zdvihu pro zapálení oblouku .....	71
17.	Testování parametru proud a SRM proud .....	71
17.1.	Specifikace vytvořených vzorků .....	71

17.2.	Specifikace použitého robota .....	72
17.3.	Robotické pracoviště v reálné výrobě .....	73
17.4.	Ochranný plyn Corgon 18 .....	75
17.5.	Svařovací polohy zvolené pro tento experiment .....	75
17.6.	Příprava svařování předcházející samotné přivaření čepů .....	76
17.6.1.	Problém uzemnění .....	76
17.6.2.	Řešení problematičkého uzemnění .....	77
17.6.3.	Nebezpečí úrazu elektrickým proudem .....	77
17.7.	Kleštiny a keramický sprej .....	78
18.	Průběh svařování – Praktické přivaření čepů .....	80
19.	Vizuální testování zhotovených svarových spojů .....	80
19.1.	Vizuální kontrola .....	80
19.2.	Experimentální hodnoty u vzorků .....	81
19.3.	Ovladač robota .....	81
19.4.	Vyhodnocení vizuální kontroly .....	82
19.4.1.	Vzorky 1a, 1d, 2e .....	82
19.4.2.	Vzorek 1b .....	82
19.4.3.	Vzorek 1e .....	82
19.4.4.	Vzorky 1c a 2c .....	83
19.4.5.	Vzorky 2a a 2b .....	83
19.4.6.	Vzorky 2d a 2e .....	83
19.4.7.	Vzorky 3a, 3b, 3c, 3d .....	84
19.4.8.	Vzorky 3e, 4a, 4b, 4c, 4d, 4e .....	84
20.	Makroskopická zkouška .....	85
20.1.	Příprava vzorků .....	86
20.1.1.	Praktické nařezání dvaceti vzorků na pásové pile .....	86
20.1.2.	Broušení vzorků na stolní talířové brusce .....	86
20.1.3.	Leptání vzorků v kyselině .....	87
20.2.	Vyhodnocení makrostruktury .....	88
20.2.1.	Vzorek 1a .....	88
20.2.2.	Vzorek 1b .....	88
20.2.3.	Vzorek 1c .....	89
20.2.4.	Vzorek 1d .....	89
20.2.5.	Vzorek 1e .....	89

20.2.6.	Vzorek 2a.....	89
20.2.7.	Vzorek 2b .....	89
20.2.8.	Vzorek 2c.....	89
20.2.9.	Vzorek 2d .....	89
20.2.10.	Vzorek 2e.....	89
20.2.11.	Vzorek 3a.....	89
20.2.12.	Vzorek 3b .....	90
20.2.13.	Vzorek 3c.....	90
20.2.14.	Vzorek 3d .....	90
20.2.15.	Vzorek 3e.....	90
20.2.16.	Vzorek 4a.....	90
20.2.17.	Vzorek 4b .....	90
20.2.18.	Vzorek 4c.....	90
20.2.19.	Vzorek 4d .....	90
20.2.20.	Vzorek 4e.....	90
	Diskuse výsledků a závěr .....	91
	Použité zdroje .....	93
	Seznam obrázků .....	97
	Seznam tabulek .....	99
	Seznam příloh.....	100
	Příloha .....	101

## Použité zkratky

Označení	Legenda
A	ampér, jednotka proudu
AI	Umělá inteligence (z anglického artificial intelligence)
API	Programovací rozhraní (advanced programming interface)
B	Magnetická indukce (veličina)
CAD	počítačem podporované konstruování (z anglického computer-aided design)
CDSW	Capacitor discharge stud welding
CO <sub>2</sub>	Oxid uhličitý
CET	Carbon Equivalent Value – evropský
CEV	Carbon Equivalent Value - mezinárodní
ČR	Česká Republika
ČSN	Česká státní norma
E	Intenzita elektrického pole(veličina)
EN	Evropská norma
F	Síla (veličina)
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Oxid železitý
HSS	Vysoce pevné oceli
I	elektrický proud (veličina)
IRWT/S	Technologie/systém inteligentního robotického svařování
IWME	Inteligentní výrobní svařovací inženýrství
IWMT/S	Technologie/systém inteligentní svařovací výroby
ISO	Mezinárodní organizace pro standardizaci
kJ	kilojoule (jednotka energie)
MARC	Magnetický rotační oblouk
MIG/MAG	Svařování v ochranné atmosféře tavící se elektrodou
mm	milimetr
ms	milisekunda

MT	Zkoušení magnetickou metodou práškovou (Magnetic particle testing)
N	newton
PA	Poloha svařování vodorovná shora (vanová)
PC	Poloha svařování vodorovná (příčná)
PE	Poloha svařování vodorovná nad hlavou
PHG	Ruční programovatelné zařízení (ovladač)
resp.	respektive
QL	Kalená a popouštěná ocel s obzvláště dobrou houževnatostí za studena
SRM	Svařování svorníků v radiálně symetrickém magnetickém poli
SW	Stud welding
TIG	Svařování netavicí se wolframovou elektrodou v inertním plynu
TOO	Tepelně ovlivněná oblast
UV	ultrafialové
WNr.	Číslo materiálu v materiálových listech
WPQR	Kvalifikace postupu svařování
WPS	Svařovací postup

# 1. Úvod do metody SRM a vybraného typu obloukového svařování

## 1.1. Přivařování svorníků

### 1.1.1. Značení metody a její názvy v mezinárodních jazycích

Přivařování svorníků, případně čepů, je český ekvivalent pro německé označení *Lichtbogenbolzenschweißen*. V ČR se také používá německého výrazu Bolzen a to v kontextu nastřelování bolznů, přivařování bolznů a podobně. Někdy bývá metoda označována jako výbojové svařování. Tento termín označení se používal dříve. V anglickém jazyce jde o metodu „stud welding“ a označuje se zkratkou SW, pro nalezení dalších pramenů lze hledat i pojem „stud arc welding“. V němčině lze tuto metodu najít pod zmiňovaným výrazem „Bolzenschweißen“ nebo přesněji jako „Lichtbogenbolzenschweißen“. Tento způsob svařování se řadí mezi nekonvenční a dle normy ČSN EN ISO 4063 nese číselné označení jako svařovací metoda 78 – přivařování svorníků obloukem. Jednotlivé blíže určující způsoby této metody jsou dle normy označeny trojčíslicím začínajícím právě tímto číslem. Například metoda 783 – zdvihové přivařování svorníků s keramickým kroužkem nebo v ochranném plynu. [1][2][3]

Příbuzným typem svařování, který má s touto metodou hodně společného, je odtavovací stykové svařování, číselného označení 24.

### 1.1.2. Definice svorníku

Pojem svorník zahrnuje více menších kovových dílců. Těmi jsou šrouby, kolíky, matice, drobné závitové tyče, závěsy a například i elektrické kontakty. Cílem je vytvořit trvanlivý spoj mezi svorníkem a větším konstrukčním dílem, jinými slovy základním kovovým materiálem, případně podkladovým materiálem. [2][4]

### 1.1.3. Využití svorníků v průmyslu

Svorníků se využívá v automobilovém průmyslu, ve velké míře také při stavbě lodí, elektro-technickém průmyslu, ve velké míře při stavbě elektráren, i obecně ve stavebnictví. Ve firmě Schäfer-Menk, zabývající se výrobou nápravových jeřábů, slouží svorníky k uchycení kabeláže, hydraulických rozvodů, rozvaděčů a krytů na těchto autojeřábech. [1][4]

## 1.2. Fundamenty svorníkového přivařování

### 1.2.1. Materiály – druhy kovů, jež lze touto metodou spojovat

Metodami svorníkového svařování mohou být spojovány rozdílné typy materiálů. Mezi ně patří oceli, hliníkové slitiny, mosaz a další slitiny na bázi mědi. Z tohoto hlediska je metoda číslo 78 metodou velice univerzální.

Z ocelí jsou to oceli uhlíkové i oceli korozivzdorné. Nízkouhlíkové oceli přitom nevyžadují předehřev, ani dohřev. Oceli s obsahem C nad 0,25% vyžadují předehřívání za účelem zamezení praskání svarového spoje. V technologickém postupu může být nařízen i dohřev.

Dalším materiálem, u kterého se využívá metody 78 je hliník. A to jako základního materiálu, tak i materiálu svorníku. Jedná se vždy o slitinu hliníku, nikoliv o čistý hliník.



Svorníkovým přivařováním lze svařovat i měď a její slitiny. Navíc má měď v této metodě další důležitou roli. Tou je možnost její aplikace jako povlakové vrstvy. Toto bude vysvětleno v kapitole 1.2.5.

### 1.2.2. Polarita a proudy

Přivaření začne zapálením oblouku mezi čelní plochou svorníku a základním materiálem. Tím se oba díly nataví a poté se spojí. Zjednodušeně lze technologii popsat jako svařování elektrickým obloukem, a to bez použití přídavného materiálu. Svorník má zde funkci elektrody. Při čemž u ocelí je svorník zapojen jako záporná elektroda a je použit zdroj stejnosměrného proudu. U hliníku a jeho slitin je použit také stejnosměrný proud, ale elektroda je zapojena jako kladný pól. [4] Je zapojena jako kladný pól ze stejného důvodu jako se tomu děje u metody TIG (141).

*Tip:* Během svařování je obecně výhodné použít silné kabely.

Tedy pokud není k dispozici zdroj střídavého proudu a je třeba čistit povrch od vrstvy oxidů.

V průběhu svařování dochází ke snížení příkonu poskytovaného svařovacím zdrojem. Je to dáno ztrátami pramenícími z odporu materiálu přívodního kabelu, jeho délky a jeho zahřívání. S ohledem na to by při větším množství přivařovaných svorníků, měly být použity kabely silnějšího průměru. Použití silného kabelu způsobí menší energetické ztráty. Toto je dáno tím, že větší plocha průřezu zajistí elektronům snazší průchod obvodem. Tato skutečnost vede k menšímu počtu kolizí elektronu generujícím teplo a tímto i ke snížení odporu a energetické ztráty. [5]

Pro úvod do problematiky této metody je přiložen Obrázek 1. Z něj je patrný základ svorníkového přivařování. Tím je myšleno svorník, oblouk a natavení podkladového materiálu.



Obrázek 1: Přivařování svorníků názorně [6]

### 1.2.3. Rozdělení a některá specifika

Pro přivařování svorníků existují dva způsoby svorníkového svařování, vzhledem k jejich povaze, které se dále dělí na jednotlivé konkrétní metody. Jde o zdvihové přivařování svorníků (z německého Bolzenschweissen mit Hubzündung) a přivařování svorníků s hrotovým zapalováním (Spitzenzündung). Německé názvy jsou uvedeny z toho důvodu, že v německé literatuře lze o přivařování svorníku, a tedy i těchto způsobech, najít největší množství informací. Každá z metod přivařování svorníků vyžaduje specifický, většinou jednoúčelový, svařovací zdroj.

Ke zdroji jsou nutné ovládací přístroje a příslušenství. Charakteristickým znakem přivařování svorníků je velmi krátká doba hoření oblouku. Ta se pohybuje od 0,5 ms do 3000 ms. Nese s sebou tedy velkou rychlost ohřátí a hlavně ochlazení. Typickými rozměry svorníků pro jednotlivé metody je hranice 8 mm průměru, již mohou maximálně nabývat svorníky při hrotovém zapalování. U zdvihového přivařování lze svařovat až svorníky o průměru 25 mm.[3][4][7]

Lze použít i menší stejnosměrné svařovací zdroje vhodné pro přivařování svorníků. Mohou totiž být zapojeny paralelně, za účelem vytvoření nutného rozsahu svařovacího proudu.[5]

#### 1.2.4. Příprava svarové plochy

Pro zhotovení jakostních svarů je vyžadována určitá příprava svarové plochy. Základem je očistit základní materiál v místě, kde bude vytvářen svar. Je třeba odstranit možné nečistoty, jakými jsou barva, silná koroze, oleje, případně povrchové úpravy, jako například pozinkování nebo eloxování u hliníku. Způsob odstranění těchto kontaminací povrchu je třeba upravit každé situaci. Pokud jde o výrobky z masivní konstrukční oceli, může být vhodné broušení. Na druhou stranu může, například u tenkostěnných hliníkových materiálů, tento způsob čištění vést k jejich poškození či destrukci. Konkrétně důsledkem snížení průřezu základního materiálu. K čištění hliníkových slitin lze využít například nekovového pěnového kotouče [5]

Odmaštění lze provádět příslušnými rozpouštědly (organickými nebo anorganickými).

#### 1.2.5. Výchozí povrchová úprava svorníku

Vhodná povrchová úprava svorníku před jeho přivařováním je pomědění. Svorníky se poměďují ze stejného důvodu jako například svařovací drát u metody MIG/MAG. Tím důvodem je, že po nanesení vrstvy mědi oblouk jednodušeji zažehne,lepší se elektrická vodivost a odolnost svorníku vůči korozi.

### 1.3. Základní metody svorníkového přivařování

Výhodou přivařování svorníků je, že lze přivařovat automaticky s použitím speciálních svařovacích hlav nebo svařovacích pistolí. Právě ve svařovací hlavě je svorník během svařovacího procesu usazen. [7]

#### 1.3.1. Zdvihové přivařování svorníků

Dle ČSN EN ISO 4063 nese metoda číselné označení 783 – Zdvihové přivařování svorníků s keramickým kroužkem nebo v ochranném plynu.

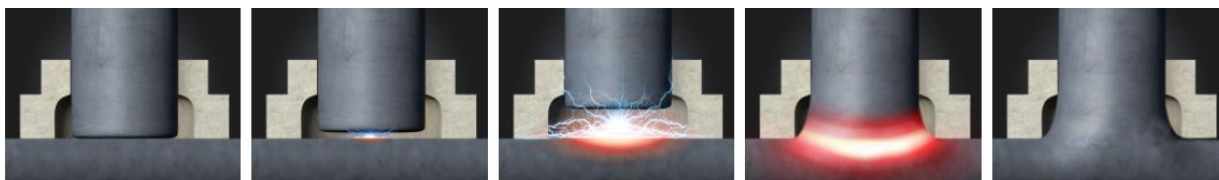
Při zdvihovém přivařování svorníků je oblouk zapálen takzvaným taženým obloukem. Oblouk se vytvoří zkratem svařovacího obvodu a zvednutím čepu (po zapnutí svařovacího proudu), jak je patrné na obrázku (Obrázek 2). Při spojení svařovacího obvodu a z počátku oddalování čepu se na jeho špičce nejprve vytvoří takzvaný pomocný (resp. pilotní) oblouk. Ten má výrazně menší hodnotu proudu a pomůže vznícení hlavního oblouku. Natáhnutím oblouku dojde k natavení svorníku a základního materiálu pod ním. Po stanovené době je svorník přitisknut malou silou (do 100 N) do roztavené lázně a průtok proudu je ukončen.[2][7][8][9]

Na obrázku (Obrázek 2) je také patrný světle šedou barvou znázorněný ochranný keramický kroužek. Ten slouží k ochranně svarové lázně, tedy k ochraně před vznikem pórů ve svarovém kovu i základním materiálu, v důsledku kontaminací vzdušným kyslíkem, vodíkem a dusíkem. Dusík je problematický i z toho důvodu, že sloučením se železem vytváří nitrid, který zpříčiňuje křehkost a stárnutí svarového spoje. Kroužek dále svarovou lázeň tvaruje a stabilizuje

oblouk. Hořící oblouk vzhledem k velké teplotě a tlaku vytlačí vzdušnou atmosféru mimo kroužek. Lze tedy konstatovat, že kroužky zde mají podobnou funkci jako ochranná atmosféra. Tyto kroužky je nutné skladovat v suchém prostředí, případně je po navlhnutí přesušit podobně jako svařovací elektrody při metodě 111. Ochranné kroužky jsou na jedno použití a po použití je nutné je ze svorníku odstranit, za účelem provedení kontroly jakosti svarového spoje. [2][5][8]

Keramický kroužek na svorníku a jeho typickou paprskovitou oxidací od žáru ukazuje Obrázek 3. Paprskovitá oxidace je způsobena únikem plynů větracími otvory, které lze spatřit na obrázcích (Obrázek 3 a Obrázek 5). Tyto unikající (vyfukované) plyny mají svoji důležitou funkci. Brání výše uvedené oxidaci svarového kovu vzdušným kyslíkem uvnitř dutiny kroužku.

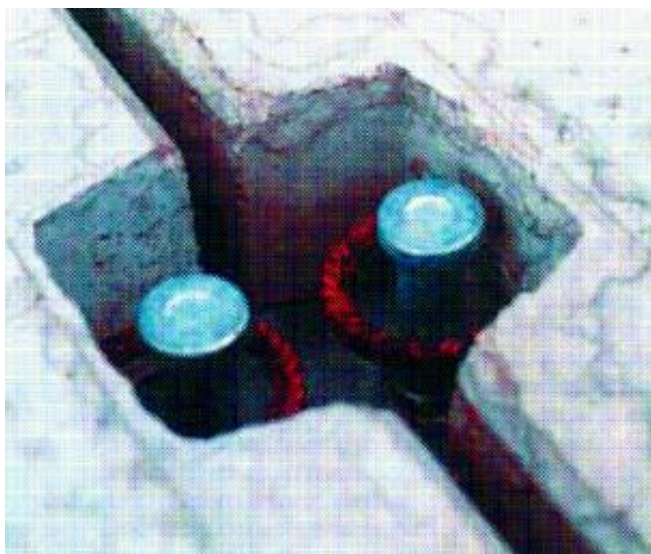
Zajímavou ukázkou využití této technologie, kromě mnohačetných aplikací ve strojírenství, najdeme i ve stavebnictví. Jde o přivaření svorníků ve formě trnů za účelem vytvoření spřažené železo-betonové konstrukce. Ukázka je na přiloženém obrázku (Obrázek 4). [2]



Obrázek 2 : Zapálení odtážením [10]

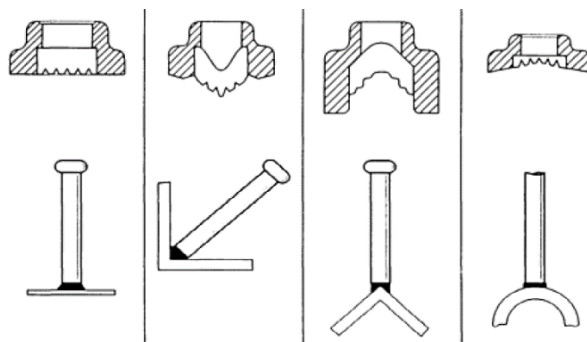


Obrázek 3: Keramický kroužek [8]



Obrázek 4: Spřahovací trn [2]

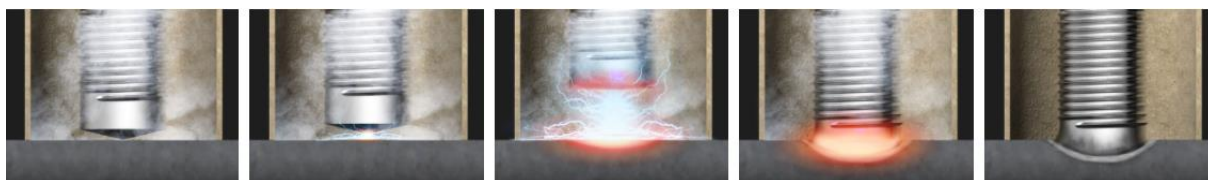
Kroužků existují různé tvarové a velikostní typy. Jsou tvarované, aby byly adekvátní k různým profilům podkladového materiálu. Profily jako hřeben, pravý úhel, nebo trubka (resp. kruhově zaoblený profil). Schémata profilů a příslušných kroužků poskytuje Obrázek 5.[5]



Obrázek 5: Tvarové kroužky [5]

Jiným způsobem ochrany roztaveného kovu je zabránění oxidaci pomocí ochranné atmosféry. Ochranný plyn omezuje vznik pórů, tím, že vytlačuje vzdušnou atmosféru z okolí plynu a také působí povrchovým napětím na průvar. Nejčastěji je používán směsný plyn Ar + CO<sub>2</sub> o obsahu 82 % Ar a 18 % CO<sub>2</sub>. Tato směs je běžně označována jako corgon, ale i dalšími obchodními názvy. V tomto konkrétním případě Corgon 18. Corgon má přiřazenou světle zelenou identifikační barvu. Jako ochranný plyn lze použít v odůvodněném případě i čistý argon (Ar). Čistý argon má na hrdle lahví také zelenou, ale na rozdíl od corgonu, tmavě zelenou barvu. U silnějších svorníků o průměru do 25 mm dosahuje proud od 800 A do 2600 A. Právě vysoká hodnota proudu, spolu s velmi krátkým svařovacím časem je jedna z hlavních odlišností této metody. Je to na první pohled znatelný rozdíl mezi přivařováním svorníků a ostatními způsoby svařování využívajícími elektrický oblouk. O corgonu a dalších ochranných plynech pojednává norma ČSN EN ISO 14175 – „Svařovací materiály - Plyny a jejich směsi pro tavné svařování a příbuzné procesy“. [8][9][12]

Obrázek 6 poskytuje názornou ilustraci jednotlivých kroků tohoto způsobu. Je na něm zřetelný ochranný plyn v trysce, oblouk a následně hotový svar.



Obrázek 6: Svorníkové svařování s ochranným plynem [11]

### 1.3.2. Kondenzátorové přivařování svorníků s hrotovým zapalováním

Tento způsob lze najít také pod označením přivařování svorníků s kondenzátorovým výbojem. V anglickém jazyce pod pojmem „capacitor discharge stud welding“ a oficiální zkratkou CDSW. A v němčině jako „Bolzenschweißen mit Spitzenzündung“. Číselné označení této svařovací metody je 786 (opět dle normy ČSN EN ISO 4063). [2][4][13]

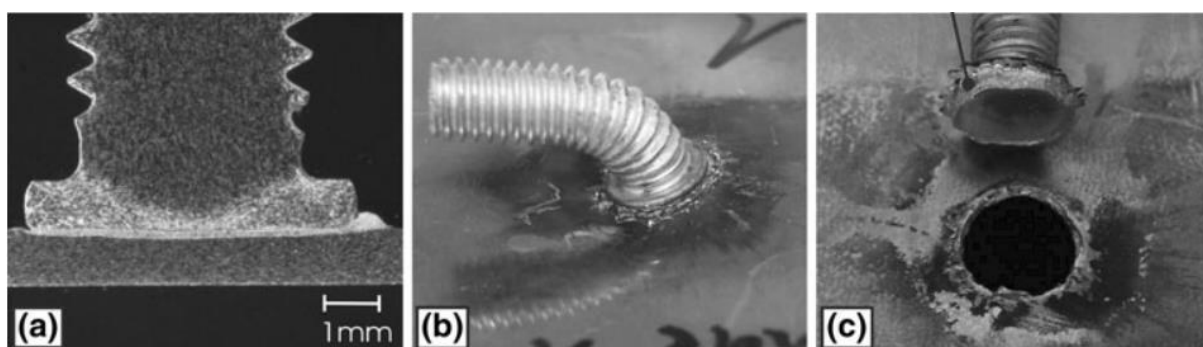
Při tomto způsobu je na straně svorníku, která má být přivařena, pevně rozměrově definovaná část, označovaná jako špička. Při přiložení špičky svorníku na výrobek a sepnutí obvodu se postupně špička proudem nataví, až umožní zažehnutí oblouku. Zdrojem proudu je kondenzátorová baterie. Svařovací čas tohoto způsobu je řádově v jednotkách ms a svařovací proud může být i 10 000 A. Obou těchto hodnot je docíleno rychlým vybitím kondenzátorů. U této



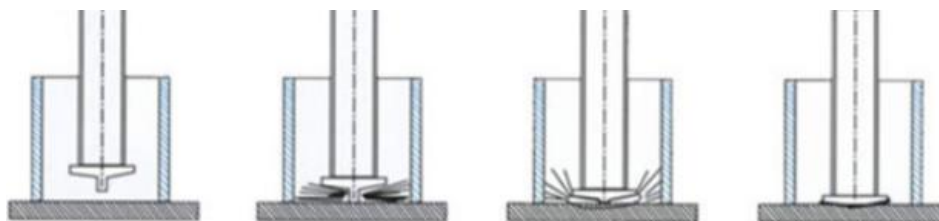
technologie není používán ochranný plyn ani keramický kroužek. Je tomu tak z toho důvodu, že celý proces probíhá v řádu milisekund, konkrétně od 1 do 6 ms. Opět, stejně jako u zdvihového přivařování svorníků, je použit stejnosměrný proud. [2][4][13]

Výhodou kondenzátorového způsobu je, že dochází k malému tepelnému ovlivnění základního materiálu, což lze hodnotit z přiloženého snímku (Obrázek 7). To je způsobeno tím, že teplo do něj stačí proniknout jen v malé míře. Lze jím proto přivařovat svorníky i na materiály tenčí než 1 mm. Přivařování tímto způsobem ilustruje Obrázek 8. Materiálem, pro který je technologie s hrotovým zapalováním primárním způsobem přivařování svorníků, je hliník (resp. slitiny hliníku). [2][4][13]

Proces zapálení hrotu se lze rychle naučit, stačí pouze na zařízení nastavit průměr přivařovacího čepu.



Obrázek 7: a) Makro snímek, b) Jednorázový ohyb, c) Vícečetný ohyb [14]



Obrázek 8: Zapálení roztavením špičky [13]

### 1.3.3. Výhody a nevýhody

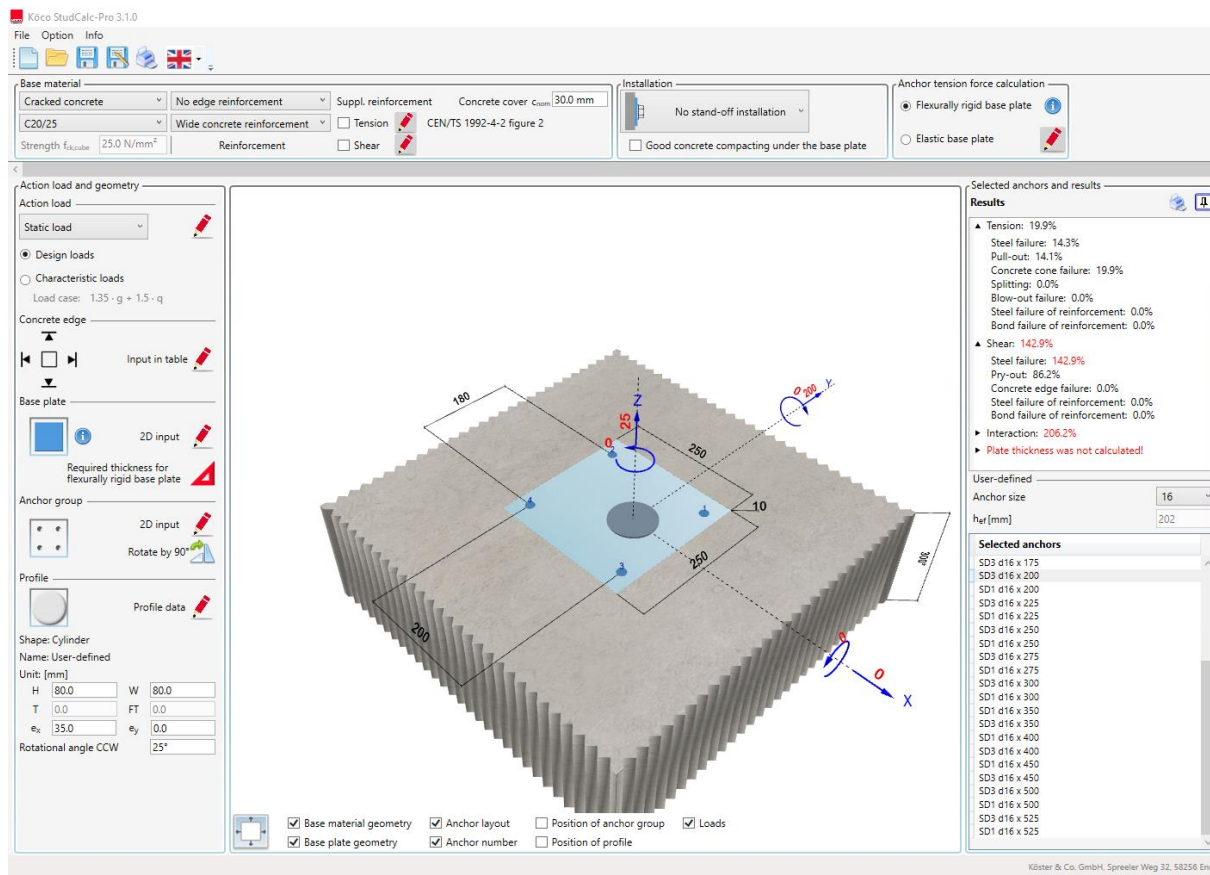
Hlavní výhodou vůči klasickým metodám připevňování svorníků je u jejich přivařování nesrovnatelně vyšší produktivita. Do základního materiálu se nemusí vrtat díra, vyřezávat závit a následně zašroubovat samotný svorník. Bez ohledu na to, že právě například u velmi tenkých materiálů by mohlo být případné zvětšení šířky, v důsledku šroubových spojů, nežádoucí. S tím souvisí také to, že není třeba přístupnost z druhé strany základního materiálu, například právě za účelem našroubování matice. Postačující jednostranná přístupnost je pro řadu aplikací rozhodujícím kritériem pro výběr této spojovací metody. Dále nahrazuje operace případného děrování a nýtování. Vůči šroubovému spoji má také jednu zásadní přednost a tou je těsnost. U neautomatizovaného přivařování svorníků jsou požadavky na kvalifikaci pracovníků obsluhy minimální. Zároveň automatizace tohoto procesu není náročná. Další předností této technologie je možnost takto spojovat kombinace různých materiálů. Například železo a hliník a podobně. Nezanedbatelnou výhodou je také minimální tepelné ovlivnění základního materiálu. A to se

týká kromě změn mechanických vlastností (minimální napětí), geometrických (žádná deformace) i změn vizuálních. Při svařování svorníků popisovanými metodami nedochází, případně dochází jen k minimálnímu vzniku takzvaných (typicky duhových) „žihacích barev“. Na opačné straně plechu nejsou známky po svařování. Toho se daří dosahovat i u vysokolegovaných a povlakem potažených plechů. Další výhodou této technologie jsou v neposlední řadě žádné, nebo jen velmi drobné problémy s korozí. [2][8][15]

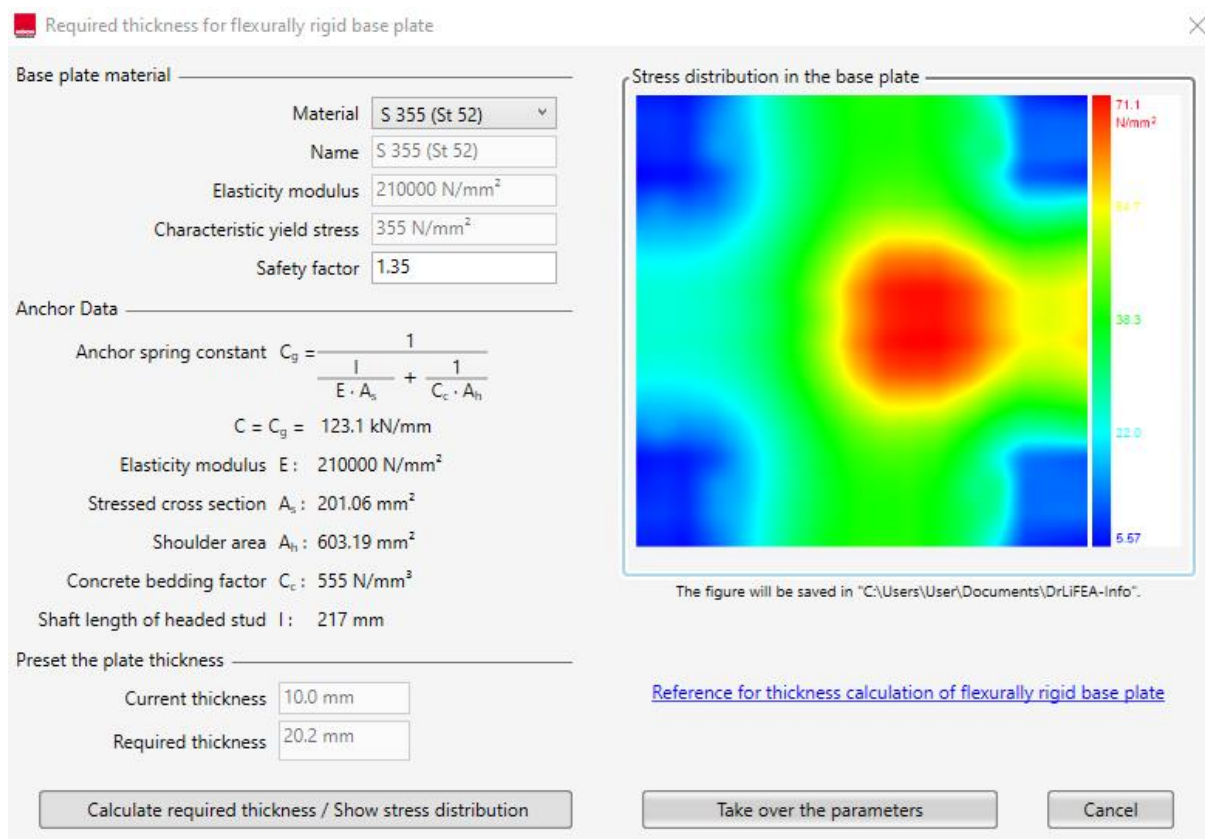
Jako nevýhodu lze považovat, že lze přivařovat svorníky pouze v kolmé poloze. Toto lze ale řešit například návarem na základní materiál, jeho zbroušením na požadovaný sklon a následně přivaření svorníku v žádoucí poloze. Případně pomocí zmiňovaných tvarových keramických kroužků. Nevýhodou kondenzátorového přivařování svorníků je, že tímto způsobem lze přivařovat svorníky pouze do průměru 8 mm. Zdvihovým přivařováním svorníků lze přivařovat i větší průměry, ale je zde zase výrazně větší vnesené teplo. To plyne z řádově vyšší doby průchodu proudu a tím vyšší hodnoty do svarového spoje vnesené energie (kJ) u této technologie. [1][2][9][13]

#### 1.3.4. Online kalkulačka pro výpočet únosnosti svorníkového spoje

Při vypracovávání této práce byl nalezen jeden velice zajímavý program související se svorníky. Jde o program Köco StudCalc-Pro. Je bezplatně ke stažení zde: <https://koeco.net/industrial-fastening-technologies/bemessungssoftware-studcalc/>. Program počítá stříhové napětí, napětí v krutu, tahu a únavu. Počítá je pro desku s přivařenými svorníky zapuštěnými do betonu, na níž je přidělaný volitelný profil. Například válcový, nebo I profil. U toho se pak klasickým způsobem (ve 3 osách tah/tlak a krut) doplní očekávané zatížení. Poté kliknutím na tlačítko tiskárny (preview and print of design results) lze vygenerovat šesti stránkový protokol, ve kterém je sepsáno vše, co jste do programu vložil/vložila (typ oceli, bezpečnostní koeficient, rozměry, umístění, směr a hodnota zatížení, druh zatížení, typ betonu, délka svorníků atd.) a poté výsledky, které program na základě těchto vložených dat vypočítal. Screenshot programu je na přiloženém obrázku (Obrázek 9). Na to, že je program freeware (bezplatný software), je překvapující možnost barevné simulace rozložení napětí v ukotvené desce. Program sám poté do počítá její požadovanou tloušťku jako na obrázku (Obrázek 10).



Obrázek 9: Kalkulačka svorníků Kóco StudCalc-Pro [16]



Obrázek 10: Simulace rozložení napětí [16]

## 1.4. SRM - Schweißen in Radialsymmetrischem Magnetfeld

### 1.4.1. Původ metody

Svařovací metoda se zkratkou SRM byla vyvinuta a patentována německým výrobcem specializujícím se na svařovací techniku firmou Soyer. Jejím základem je využívání radiálně symetrického magnetického pole. Jde o novou technologii, jež byla komerčně nabízena od roku 2007 a dodávána pouze jedinou společností, právě firmou Soyer GmbH.

### 1.4.2. Značení metody a její význam v češtině

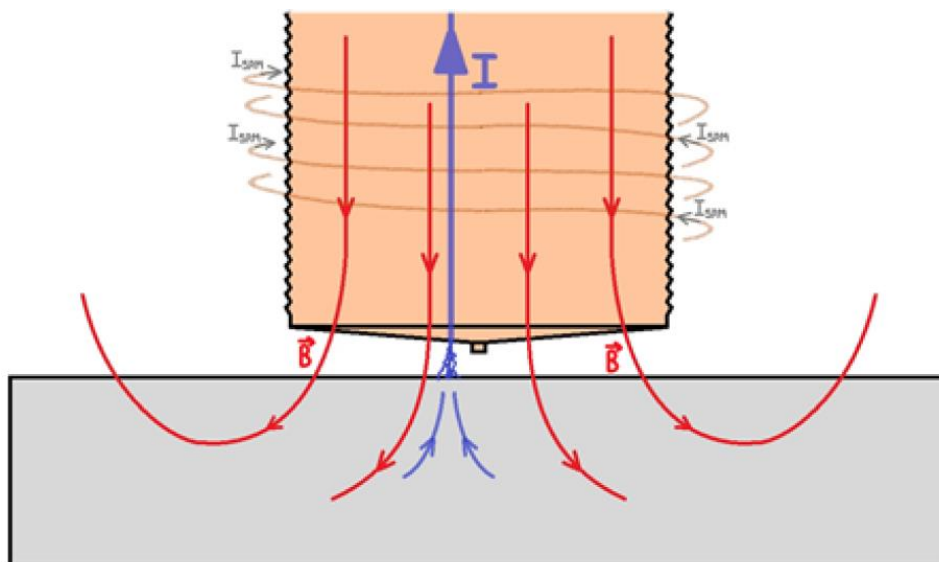
Zkratka SRM vychází z německého označení **S**chweißen in **R**adialsymmetrischem **M**agnetfeld. V literatuře psané česky k této metodě nejsou v době psaní této práce žádné zdroje. Proto i překlady některých cizojazyčných názvů nemusí být takové, pod kterými budou v budoucnu k nalezení v pramenech zabývající se touto metodou (dojde k vhodnějšímu přeložení). Česky se tato metoda nazývá jako svařování svorníků v radiálně symetrickém magnetickém poli. Číselné označení metody je 783, shodně jako označení běžného zdvihového přivařování svorníků.

### 1.4.3. Průběh a specifika metody

Svařování probíhá téměř shodně jako u zmiňované klasické metody zdvihového přivařování svorníků elektrickým obloukem. Svorník se dotkne podkladového materiálu, uzavře se obvod a spustí se tok pomocného proudu. Proces pokračuje zvednutím svorníku o několik milimetrů, což vede ke zformování „hlavního“ oblouku. V tuto chvíli přichází řada na cívku, jejíž vinutí obklopuje svorník a jež poskytuje malý proud zhruba 0,2 A ( $I_{SRM}$ ). Tato cívka je zabudována



ve svařovací pistoli (resp. hlavě) pro tuto metodu. Indukuje magnetické pole ( $B$ ) mezi svorníkem a základním materiálem. Směr magnetického pole, tedy magnetických indukčních čar, vychází ze směru proudu v cívice. Určuje se pomocí pravidla pravé ruky. Pro větší názornost je k dispozici Obrázek 11. [17]



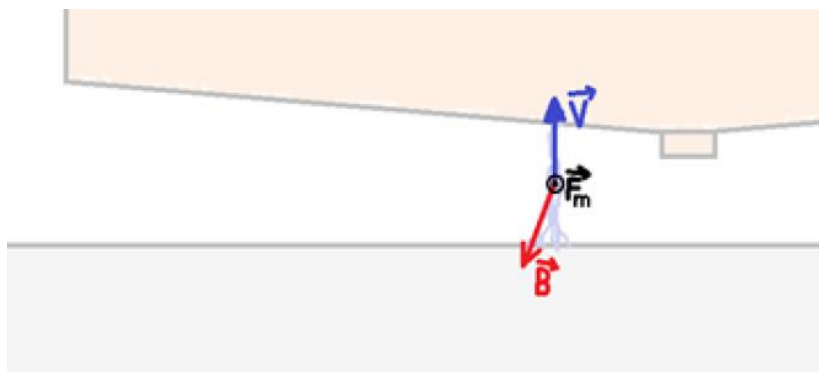
Obrázek 11 : Elektromagnetický jev provázející metodu SRM [17]

Proud o hodnotě 500-900 A proudí s výpomocí magnetického pole mezi svorníkem a podkladovým materiálem. Oba povrchy se rychle nataví. Magnetické pole ovlivňuje oblouk silou na základě Lorentzova zákona. Obrázek 12 tento vztah zobrazuje. Je z něj patrné, že na náboj (zde oblouk) v elektromagnetickém poli působí určitá síla ( $F$ ). Její velikost je, mimo jiné, závislá na  $E$  (intenzitě elektrického pole) a  $B$  (hodnotě magnetické indukce). Písmeno  $q$  v rovnici značí elektrický náboj. [17]

$$\vec{F} = q \cdot \vec{E} + q \cdot \vec{v} \times \vec{B}$$

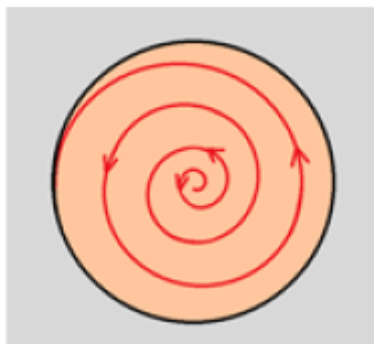
Obrázek 12: Lorentzův zákon [17]

Toto způsobí, že elektrony o vektoru rychlosti  $-\mathbf{v}$  jsou ovlivněny magnetickou silou a sledují kruhovou dráhu. Obrázek 13 znázorňuje blíže tento dílčí proces. [17]



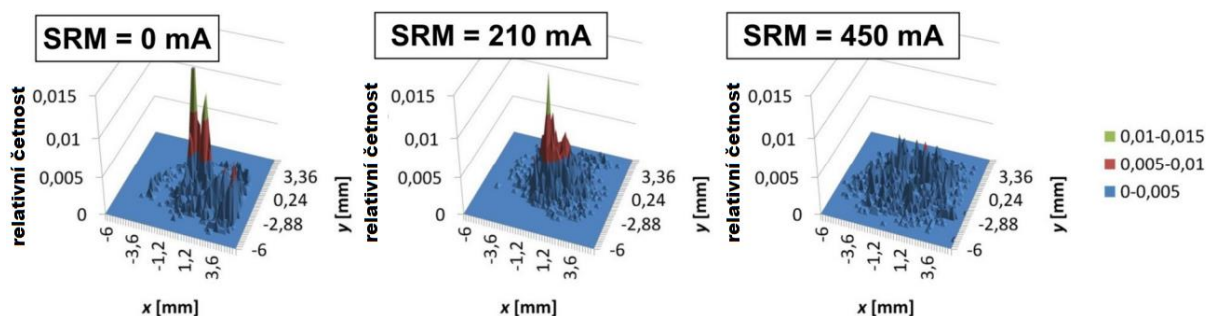
Obrázek 13: Elektron v magnetickém poli [17]

Dle výrobce (Soyer) u této metody ale nevzniká u oblouku tato klasická kruhová dráha, avšak dráha spirálová. To způsobí výhodný jev, kterým je zahřátí všech bodů na ploše stejnoměrně. Spirála vzniká rotací oblouku kolem osy svorníku. [17]



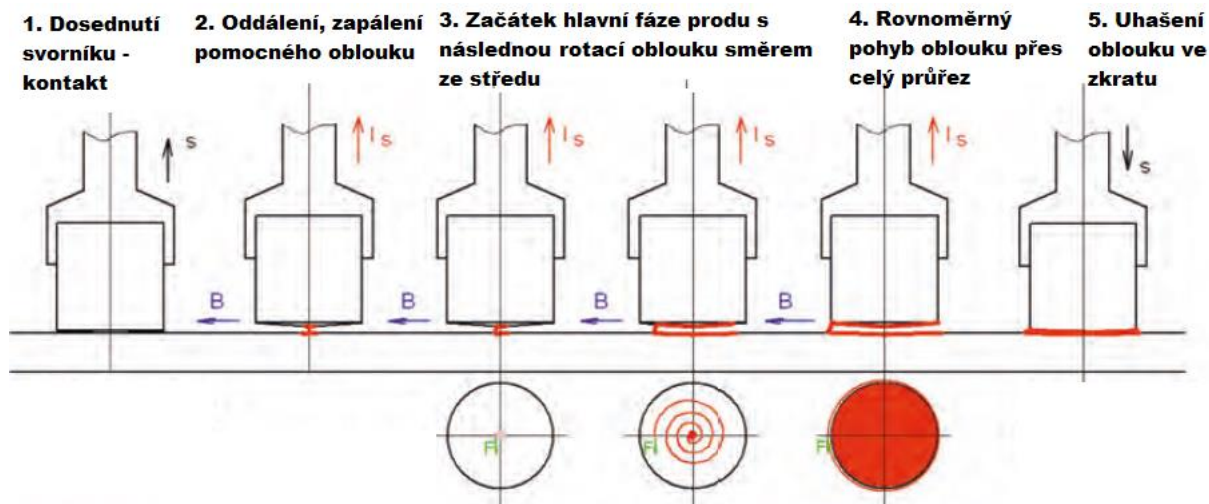
Obrázek 14: Spirálový vzor oblouku během svařování SRM [17]

S rostoucím proudem  $I_{SRM}$  v cívce dochází k rovnoměrnějšímu rozdělení svařovacího oblouku podél jeho průřezu. Jak ukazuje obrázek (Obrázek 15), bez použití SRM cívky je velká část proudu soustředěna na malou část celkového průřezu oblouku. Při použití SRM se tento poměr zlepšuje, až při určité hodnotě  $I_{SRM}$  (v mA) je proudové rozložení výrazně rovnoměrné.



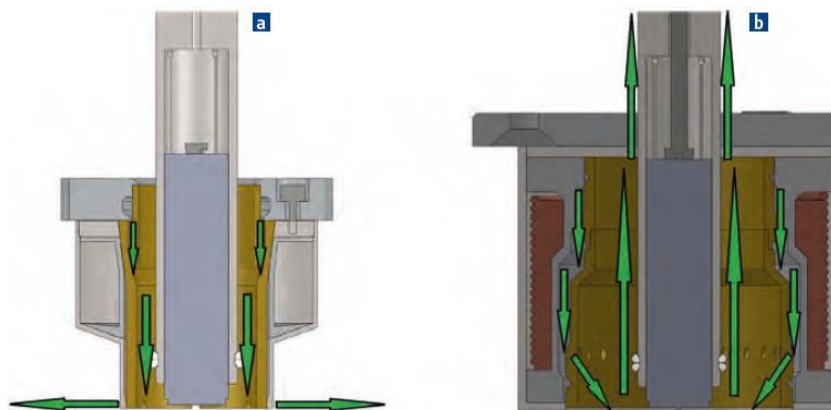
Obrázek 15: Rozvržení relativní četnosti svařovacího oblouku podél průřezu pro různé hodnoty SRM proudu [18]

Graficky shrnuje celý proces s jednotlivými kroky, z nichž některé byly detailněji probrány výše, Obrázek 16.



Obrázek 16: Průběh metody SRM [19]

Dalším přítomným faktorem při metodě SRM je ochranný plyn. Ten je přiváděn svařovací pistolí (resp. hlavou), obklopuje svařovací zónu, usměrňuje svařovací lázeň, kontroluje rozstřík a brání oxidaci svarového kovu. Dle průměru přivařovaného svorníku se rozlišují dva koncepty odvodu plynu. Oba graficky znázorňuje Obrázek 17. Na levé straně obrázku je malé kompaktní zařízení pro průměry čepů do M12. Vpravo lze vidět zařízení pro přivařování čepů velikosti M16. Šipky označují směr proudění plynu a je patrné, že je toto proudění u jednotlivých typů vedeno jinak.[17][19]



Obrázek 17: Rozdílné způsoby odvodu plynu ze svařovací hlavy [19]

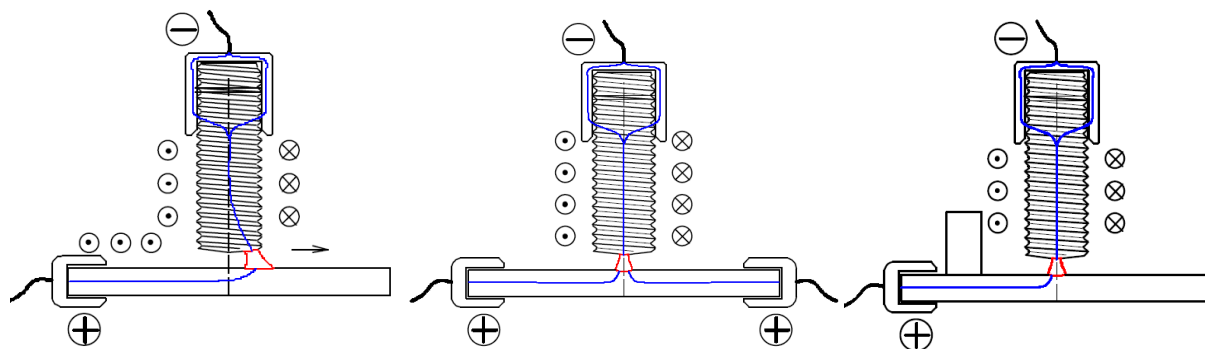
Ve chvíli, kdy jsou nahřáty oba povrchy stejně, je svorník opět posunut do nižší pozice a dotkne se natavené protistrany. Po několika milisekundách spoj utuhne. [17]

#### 1.4.4. Používané zdroje proudu

Jako svařovací zdroje u této metody se používají univerzální invertorové zdroje od firmy Soyer, použitelné i pro jiné svařovací metody jako TIG a obalená elektroda.

#### 1.4.5. Výhody metody SRM vůči běžným způsobům zdvihového přivařování svorníků

Kromě toho, že téměř nedochází k rozstříku, má SRM i další výhody. Metoda svým principem *zabraňuje foukání oblouku*, které u jiných metod může vést k nežádoucímu vyboulení svaru. Schéma foukání oblouku při přivařování svorníků poskytuje Obrázek 18. Každý vodič, jímž prochází elektrický proud, kolem sebe indukuje kruhové magnetické pole. Směr proudu je od kladné elektrody (+) k záporné elektrodě (-). Tečky a křížky značí směr magnetických indukčních čar (tečka směrem ke čtenáři, křížek směrem do papíru). Vodiče svírají pravý úhel, což způsobí zahuštění magnetických siločar na vnitřní straně sevřeného úhlu. Zatímco na straně nesvírající pravý úhel dojde k rozšíření siločar, jinými slovy dojde ke snížení jejich hustoty. Následně se oblouk pohne do oblasti s nižší hustotou. Směr, kam se oblouk vychýlí, ukazuje na projednávaném obrázku (Obrázek 18 - vlevo) šipka.

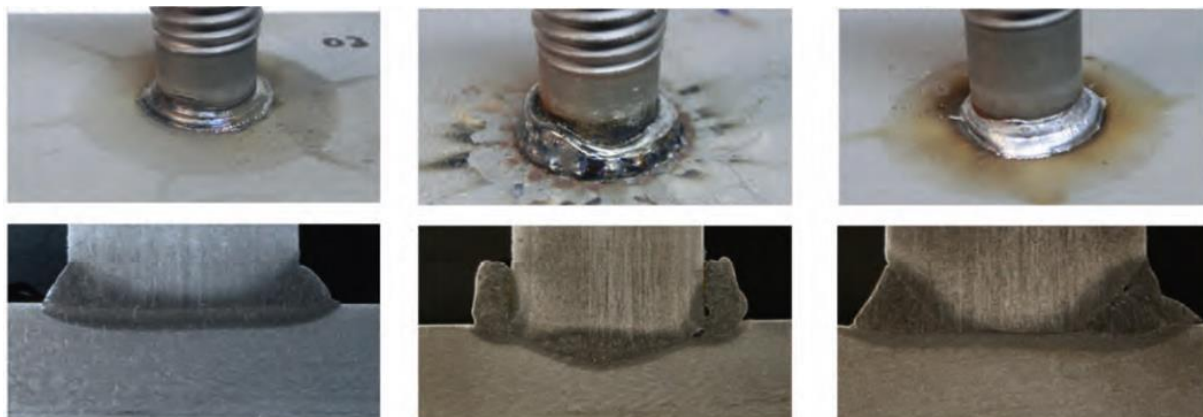


Obrázek 18: Foukání oblouku – vlevo foukání; uprostřed vyrovnání symetrickým uzemněním; vpravo oprava feritickou vyrovnávací hmotou [18]

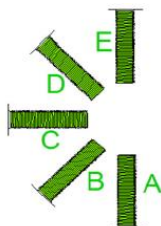
Tento jev se označuje jako foukání oblouku a lze mu předcházet různými způsoby. Například použitím *symetrického uzemnění*, zprava i zleva, nedojde k foukání oblouku směrem vpravo, jako je patrné na obrázku (Obrázek 18- uprostřed). Dalším způsobem opravy nevhodně vychýleného magnetického pole je jeho regulace přidáním objemového feritického materiálu (Obrázek 18 - vpravo). U metody SRM k tomuto nedochází, neboť magnetické pole cívky, zmiňované na obrázku (Obrázek 11), je kolmé na magnetické pole vodiče (základního materiálu i svorníku). To vede ve stabilnímu oblouku bez foukání.

Dále výhodou této metody je, že také *minimalizuje distorzi* výrobku (podkladového materiálu). Ve srovnání s klasickým zdvihovým přivařováním svorníků ještě více *omezuje hloubku závaru* (penetrace), což lze opět pozorovat na obrázku (Obrázek 19). Mezi kladné jevy této metody patří také výrazná úspora energie. Zásadní důležitost má fakt, že svary zhotovené touto metodou jsou stabilní i při větších průměrech, například M16. Toho je docíleno vysokou rovnoměrností natavení svarových ploch, opět zachyceno na obrázku (Obrázek 19). Je třeba zmínit, že svařování touto metodou je obecně velmi čistý proces. Bráno právě z hlediska rozstříku a čistoty povrchů po svařování, rovněž patrné z obrázku (Obrázek 19). Dále také nedochází, nebo dochází pouze k minimálnímu, vyboulení svaru. Toto také ilustruje přiložený obrázek (Obrázek 19). Vyboulení svaru se považuje za projev horší kvality, případně nekvality. Podobně je tomu

tak u podříznutí svaru, kterému aktivně zabraňuje druh zmiňovaného magnetického pole v kombinaci s ochranným plynem. Tuto metodu lze použít pro všechny svařovací polohy. Kromě polohy PA například i pro polohy PC a PE (nad hlavou) viz. Obrázek 20 . SRM nepřichází ani o výhody klasických metod přivařování svorníků, jako je malá tepelně ovlivněná oblast a s tím související nepřítomnost zákalu na opačné straně plechu. Zásadní výhodou je rychlost spojování dílců touto metodou ve srovnání s jinými technologiemi (šrouby), i ve srovnání s klasickým zdvihovým přivařováním. [18][19]



Obrázek 19: Porovnání metod-vlevo SRM; uprostřed keramický kroužek; vpravo ochranný plyn [18]



Obrázek 20: Svařovací polohy při přivařování svorníků [18]

#### 1.4.6. Srovnatelné technologie od jiných výrobců

Svařování svorníků rotačním magnetickým polem je nový patentovaný obor, proto se s touto technologií u jiných výrobců svařovacího zařízení téměř nelze setkat. Jediná nalezená zmínka o využití magnetizmu a rotačního oblouku byla nalezena u společnosti HBS. Jde o technologii výrobcem nazvanou MARC (podobně jako SRM u Soyer). MARC je zkratka pro „magnetic rotating arc“, čili *magnetický rotační oblouk*. A tato společnost ho využívá pro přivařování svorníků, konkrétně matic. Obrázek 21 opět graficky znázorňuje průběh a je patrné, že jde rovněž o velice zajímavou technologii, u které se nabízí na první pohled řada možných využití.





Obrázek 21: MARC [20]

## 2. Svařování svorníků u vysokopevných ocelí

### 2.1. Úvod do vysokopevných ocelí a jejich svařování

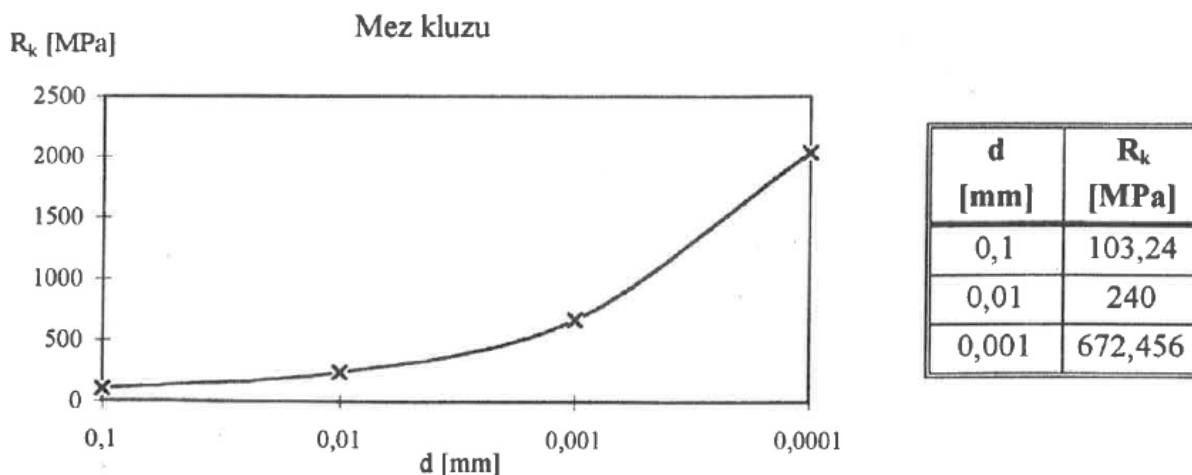
Svařování svorníků u vysokopevných ocelí (HSS = High Strength Steel) je oblast, o které není dostupné ucelené pojednání, nebo jej alespoň nebylo možné dohledat. Ukázalo se proto jako nutné tuto oblast rozdělit na více dílčích částí, o nichž již lze informace najít. Budou probrány v této kapitole a jde o děje jako difúze vodíku materiálem a s ní související nutnost předehřevu, výskyt zbytkových napětí, lokální zakalení podkladového materiálu a další jevy vyskytující se při svařování svorníků u vysokopevných ocelí.

### 2.2. Vysokopevné oceli

V této kapitole bude podrobně řešena problematika materiálového inženýrství. Bude kladen důraz na vliv legujících prvků a na mechanismy uvnitř materiálu, které vedou k různým vnějším projevům, jako například ke zvýšení meze kluzu.

#### 2.2.1. Jemnozrné vysokopevné oceli

Ve firmě Schäfer Menk se využívají jemnozrné vysokopevné oceli. Tyto oceli nesou označení S690QL, S960QL, S1100QL a podobně. Písmena QL označují, že jde o ocel kalenou a popouštěnou (Q), s obzvláště dobrou houževnatostí za studena (L). Písmeno L značí, dle normy ČSN EN ISO 10025-6, zkušební teplotu pro měření vrubové houževnatosti – 40 °C. Obecně jde o oceli s mezí kluzu mezi 355 a 1300 MPa. Zde je třeba zdůraznit, že ocel S355 se již nepovažuje za běžnou konstrukční ocel. Na druhé straně jsou oceli „běžné“, jejichž typickým zástupcem je ocel S235JR, dle ČSN ocel 11375. Zkratka JR zde označuje, že materiál vyhovuje zkoušce lomové houževnatosti při teplotě 20°C. Číslo 235 v názvu udává mez kluzu, stejně jako u jemnozrných ocelí například číslo 690. Zde je vidět, že jemnozrné oceli ve srovnání s běžnými dosahují několikanásobně lepších pevnostních vlastností. Tato jejich vlastnost je výhodná vzhledem k možnosti jejich pomocí zredukovat celkovou hmotnost konstrukce. Jemnozrnnost také zlepšuje trvanlivost a vrubovou houževnatost, která je dále zlepšena použitím materiálu se zvýšenou houževnatostí za nízkých teplot (L,  $L_{-60}$  °C). Mechanismus snížení přechodové teploty spočívá v tom, že zjemnění zrna umožní snazší pohyb dislokacím. Pro srovnání, pokud by se dislokace nemohly pohybovat, materiál by se choval křehce. Důvodem, proč je jemnozrný materiál výhodný z hlediska pevnosti je, že velké množství hranic zrn působí jako překážka pro dislokace. Hranice zrn takto vedou k umožnění napětí a deformační energie. Tento jev popisuje Hall-Patchův vztah a je zobrazen na přiloženém obrázku (Obrázek 22: Závislost hodnoty meze kluzu na velikosti zrna u nízkouhlíkové oceli ČSN 411375).



Obrázek 22: Závislost hodnoty meze kluzu na velikosti zrna u nízkouhlíkové oceli ČSN 411375 [1]

### 2.2.2. Mechanismus zpevnění a výroba

Vysoce pevné oceli využívají téměř všech dostupných mechanismů zpevnění. Těmi jsou substituční zpevnění, intersticiální zpevnění tuhého roztoku distorzí mřížky, již zmiňované zjemnění zrna, precipitační zpevnění karbidy a dislokačního zpevnění materiálu. Tyto oceli jsou vyráběny řízeným válcováním s přísnou kontrolou podmínek, jakými jsou teplota, čas a velikost úběru. Mnohonásobné válcování vede k omezení rekrystalizace pomocí jemných karbidů, které deformačně indukují. Jemné karbidy legujících prvků brání růstu zrn. Po válcování následuje ještě normalizační žíhání a zušlechťování. Jemnější zrno vytvořené termomechanickým válcováním také zlepšuje prokalitelnost. To vychází ze skutečnosti, že naopak na růst velkých martenzitických desek se spotřebuje dostupná energie rychleji, což znamená, že hrubozrnný materiál bude méně prokalitelný.

Jako kalicí médium se při výrobě těchto ocelí používá voda. Oceli s mezí kluzu nad 1100MPa pak představují vrchol vývoje vysokopevných ocelí.

### 2.2.3. S960QL – Materiálové hledisko

Jako příklad chemického složení daných ocelí byla zvolena ocel S960QL, dle materiálových listů materiál číslo (WNR.) 1.8933. Jde o jemnozrnnou konstrukční ocel s vyšší hodnotou meze kluzu dle EN 10025-6. Strukturně se jedná o nízkouhlíkový martenzit. Z tabulky chemického složení (Tabulka 1) je patrný poměrně velký obsah **molybdenu**. Ten zpevňuje tuhý roztok tím, že snižuje ztrátu pevnosti za vyšších teplot, jako například v tomto případě při popouštění. Tato skutečnost pramení z toho, že molybden brání vzniku perlitu, a naopak podporuje vznik pevnější bainitické struktury, která je zde přítomna vedle martenzitu. Důležitou funkcí molybdenu je také to, že zpomaluje kinetiku rekrystalizace a tím působí na zjemnění zrna. Materiál dále zpevňují také další prvky jako například **chrom**, který způsobuje sekundární precipitaci komplexních karbidů. Přítomný je zde také **nikl**, který příznivě působí na houževnatost. Za zmínku stojí i **bor**, který vytvrzuje ocel již při velmi malých koncentracích a zvyšuje její tuhost. Dalším přítomným prvkem je **mangan**. Vyšší poměr manganu a uhlíku znamená vyšší přechodovou teplotu. Mangan zvyšuje tuhost materiálu a tím i její elasticitu. Tato souvislost vychází z tahového diagramu. Mangan lze také pro jeho vlastnosti považovat za levnou náhradu niklu. Nízký obsah uhlíku je zde určující pro výslednou strukturu martenzitu. Martenzit při takto nízkém obsahu uhlíku je jehlicovitý (laťkový). Tento typ martenzitu je pevnější a houževnatější než martenzit deskový (vzniklý dvojčatěním).

C <sup>*)</sup> (max %)	Si <sup>*)</sup> (max %)	Mn <sup>*)</sup> (max %)	P (max %)	S (max %)	Cr <sup>*)</sup> (max %)	Cu <sup>*)</sup> (max %)	Ni <sup>*)</sup> (max %)	Mo <sup>*)</sup> (max %)	B <sup>*)</sup> (max %)
0.20	0.50	1.60	0.020	0.010	0.80	0.3	2.0	0.70	0.005

Tabulka 1: Chemické složení (pánevni analýza) oceli S960QL [21]

#### 2.2.4. Uhlíkový ekvivalent a vliv vodíku na mechanické vlastnosti při svařování vysoce pevných ocelí

Faktorem, jež má také zásadní vliv na možnosti a průběh svařování, je uhlíkový ekvivalent dané oceli. Hodnota uhlíkového ekvivalentu určuje hlavně nutnou teplotu předehřevu daného výrobku. Předehřev slouží k potlačení vlivu vodíku difundujícího základním materiálem, jinými slovy dojde k odstranění vlhkosti. Vodík vede ke snížení pevnosti materiálu a může způsobit i lom. Děje se tak z toho důvodu, že atomy vodíku jsou malé velikosti (nejmenší atomy vůbec) a snadno se pohybují skrz materiál. V místě materiálové vady, například trhliny, se poté tyto malé atomy slučují do molekul. Molekuly a shluky molekul mají výrazně větší objem, než jednotlivé atomy a uvnitř trhliny jejich rostoucí objem („nafukování“) může způsobit až vznik křehkého lomu. Vodík lze dobře odstranit právě zahřátím materiálu na vyšší teplotu. Dalším srovnatelně důležitým důvodem předehřátí okolí svaru je, aby se svar po vytvoření neochlazoval příliš rychle. Rychlé ochlazování by ve svaru vedlo ke vzniku nežádoucí zálčné struktury.

Uhlíkový ekvivalent je udáván v procentech.

Na obrázku (Obrázek 23) je uveden uhlíkový ekvivalent vybrané oceli S960QL a dva hlavní vzorce pro jeho určení. Těmi jsou uhlíkový ekvivalent typu CEV a uhlíkový ekvivalent CET. CEV je daný mezinárodními svářečskými organizacemi a CET největším výrobcem oceli v Evropě.

Tloušťka (mm)	4.0 - 34.9
CET(CEV)	0.38 (0.58)

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

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

Obrázek 23: Uhlíkový ekvivalent oceli S960QL [21]

Praktickou zkušeností, kterou uvádí další výrobce oceli S960QL, je reálná hodnota předehřevu. Jeden výrobce uvádí teplotu předehřevu dle rovnice „teplota předehřevu = tloušťka plechu \* 10“. Například 10 mm \* 10 = 100 °C. Maximální teplota předehřevu je stanovena na 200 °C. Jiný výrobce poskytuje tabulku viz. Obrázek 24. Další výrobce zmiňuje, že také záleží na teplotě okolí (prostředí), kde je svařování prováděno a tím i teplotě, na kterou se plech vyrovná. Pokud je teplota okolí pod 5 °C, je vhodné předehřát svařovanou oblast alespoň „na vložku“, tím je myšlena teplota podobná teplotě u lidského těla. [22]





## - Tabulka předehřevů platná pro Liebherr

## Minimální předehřev před svařováním [°C]:

Mindest - Vorwärmung vor und während der Schweißung [°C]:

Tloušťka plechu [mm] Blechdicke [mm]	do 8	od 8 do 10	od 10 do 12	od 12 do 15	od 15 do 20	od 20 do 25	od 25 do 30	od 30 do 35	nad 35
S235 J2 G3; S275 J2 G3 S355 M; S355 J2 G3	≥15					120			
S700 MC	≥15			-					
S690, S770,	≥15	80		120					
S890, S960	≥15	80		120					
S1060, S1100, S1300	20	80		120					

Maximální mezihouseňkové teploty:

 $t \leq 12 \text{ mm}$ 

150°C

 $t > 12 \text{ mm}$ 

200°C

Čas  $t_{8/5}$  (čas chladnutí z 800°C na 500°C): $5s \leq t_{8/5} \leq 17s$ 

(S690, S700, S770)

 $5s \leq t_{8/5} \leq 10s$ 

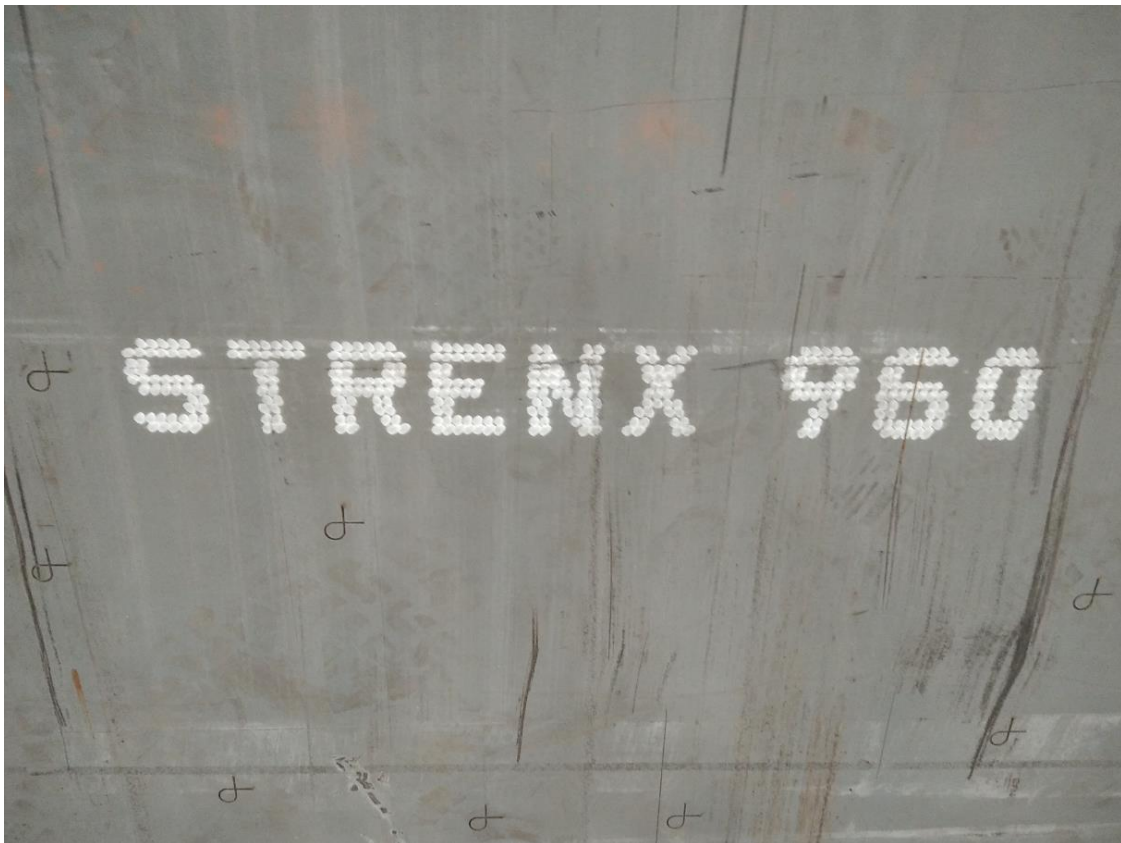
(S890, S960, S1100)

Obrázek 24: Tabulka předehřevů jeřábů firmy Liebherr

## 2.2.5. S960QL – Praktické hledisko

Pro svařování je důležité normativní označení ISO/TR 15608. Jde o rozdělení kovových materiálů pro svařování na základě takzvaného technického reportu (TR). Dle tohoto způsobu třídění je ocel S960QL vedena v podskupině 3.2, což jsou zušlechťené oceli se zaručenou mezí kluzu nad 690 N/mm<sup>2</sup>. Na tuto normu se odvolávají další normy, u svařování svorníků například norma ČSN EN ISO 14555. Odkazují na ni například při hodnocení svařitelnosti.

Dodavatelé plechů své výrobky označují firemním značením, jako je patrné na přiložené fotografii (Obrázek 25), pořizené uvnitř závodu. Na fotografii jsou také vidět vypálené značky na pozicích, kam poté přijdou svorníky při ručním přivařování.



Obrázek 25: Plech S960QL s popisem od výrobce

### 2.2.6. Další typy vysokopevných ocelí používaných ve firmě Schäfer-Menk

Vedle ocelí typu QL, u kterých jsou hlavním spouštěčem jemnozrnosti precipitáty a následné kalení a popouštění, existuje ještě další používaný typ vysokopevných ocelí. Jde o oceli typu MC, které mají strukturu zjemněnou pomocí termomechanického válcování. Křížením dislokací se vytvářejí místa, ze kterých mohou vznikat zrna. [1]

### 2.2.7. Atest, neboli inspekční certifikát 3.1

K ocelím výrobce poskytuje inspekční certifikáty 3.1 (atesty). Na nich jsou uvedeny zkoušky materiálu a chemické složení. U vrubové houževnatosti jsou to zpravidla tři hodnoty a poté hodnota průměrná. K těmto hodnotám je uvedena teplota, při které byla zkouška provedena. Na inspekčním certifikátu oceli dodavatel uvádí také výsledky zkoušek pevnosti, tažnost a velikost zrna s odkazem na příslušnou normu. Důležité je také číslo tavby, které se kontroluje například s pevností, houževnatostí a materiálem. Číslo tavby je jeden ze základních identifikátorů dodaného materiálu. Inspekční certifikát oceli S960QL označení WELDOX 960 je k dispozici v příloze (Příloha 1).

## 2.3. Svařování vysokopevných ocelí s použitím keramického kroužku

Svařování svorníků u vysokopevných ocelí je již poměrně hluboce specifikovaná oblast. Tuto oblast lze ještě, za účelem zjištění relevantních informací, dále fragmentovat. Jednou z těchto podoblastí je svorníkové svařování těchto ocelí s použitím keramického kroužku. O této metodě samotné již bylo pojednáno v kapitole 1.3

*Zdvihové přivařování svorníků.* Z tohoto důvodu zde již bude probrána pouze v kontextu jejího použití u vysokopevných ocelí. Bude zde rovněž naznačena hlavní problematika svařování vysoce pevných ocelí z dalších směrů, které nebyly probrány v předchozí kapitole.

### **2.3.1. Vliv keramického kroužku**

Keramický kroužek zadržuje vzniklé plyny, fungující zde jako ochranný plyn. Avšak uvnitř kroužku vznikají turbulence, které mohou způsobit kontaminaci svarové lázně vodíkem (ze vzduchu).

## **2.4. Průvodní jevy svařování svorníků vysokopevných ocelí**

Dalším jevem, který může nastat je vznik zákalné struktury v tepelně ovlivněné oblasti (TOO), tedy lokálnímu zakalení v okolí svaru. To se děje v důsledku zde přítomného prudkého ochlazení. Opět možností, jak zabránit vzniku zákalných struktur je aplikace předehřevu. Kromě vzniku zákalné struktury mohou vznikat také zbytková (reziduální) napětí v základním materiálu. Z tohoto důvodu hrozí u svařování vysokopevných ocelí riziko a náchylnost na vznik vodíkových trhlin.

Zbytková napětí souvisejí s možnou martenzitickou a bainitickou transformací. Řešením by mohlo být například zvýšení zbytkového austenitu, které by svou relativně nízkou tvrdostí a pevností mohl tlumit vrubový účinek jehlic martenzitu. Toto se ale samozřejmě v případě svařování drobných dílů, jakými jsou svorníky těžko aplikuje. Řešením je tedy opět předehřev a případně dohřev.

## **3. Rozbor robotického svařování**

### **3.1. Úvod do současné robotizace a důvody aplikace robotů celosvětově v roce 2020/2021**

Aplikace robotů sebou nese jistou sociální kontroverzi. Hlavně s ohledem na zánik určitých pracovních míst. Z pohledu na reálný vliv nasazení průmyslových robotů ve výrobě vyplývá fakt, že přestože některé typy pracovních míst zaniknou, jiná naopak vzniknou. Bude vyšší poptávka po nových typech dovedností pro nově vznikající pracovní pozice. Jde především o místa obsluhy robotů a jejich programátory, v neposlední řadě také programátory samotných speciálních softwarů na jejich nastavení.[1]

V posledních letech nastala v České Republice situace, která dosud neměla obdoby. Bylo nabízeno více pracovních míst než lidí, kteří by je mohli obsadit. A to u některých profesí až více než v desetinásobku. Takto tomu bylo nejen v ČR, ale dokonce také v USA. Zde v roce 2018 Americký Úřad pro statistiku práce uvedl, že je poprvé více nabídek práce než pracovníků, kteří by mohli tato volná místa zaplnit. Lze tedy předpokládat, že se v budoucnu stále více firem přikloní k uplatnění robotů. [23][24]

Je třeba také zmínit skutečnost, že ve prospěch robotů celosvětově, a hlavně v rozvinutých regionech, sehrává roli snaha udržet výrobní závody na jejich území. Řada závodů se totiž již přesunula nebo ještě může přesunout do oblastí s nižšími mzdami. Z toho pramení hlavní výzva současné robotizace. Ideálně by robotizace měla pomoci k dosažení vyšší kvality při nižších výrobních cenách a za druhé zvýšit produktivitu. [25]

Investice do robota se může zdát jako příliš velká položka. Pokud se ale najde vhodná činnost, kterou lze provádět pomocí robota, může být závěr překvapivý. Jednoduše porovnáním roční superhrubé mzdy pracovníka a ceny robota. Nehledě na další výhody, které robot oproti člověku má. Práce i o víkendu, případně nepřetržitě, a ještě jedna zásadní v současné době odhalená výhoda. Roboty nejsou ohroženy, aspoň tedy biologickými, viry a infekcemi. Je velká řada průmyslových závodů po celém světě, které by potřebovaly, ale nemohou vyrábět vzhledem k zaměstnancům v karanténě. Koronavirus by tedy mohl působit jako impulz pro větší robotizaci strojírenských a dalších průmyslových podniků. A to nyní i ve firmách, kde se robotizace odkládala, neboť krizové situace v historii vždy vedly k technickému pokroku. [26]

Kromě toho, že roboty samy nejsou ohroženy biologickými viry, na druhé straně tyto viry ani nepřenašejí. Vzhledem k aktuální situaci (pandemie Covid 19 v roce 2020/2021), která vytváří tlak na určité sociální distancování a omezení počtu pracovníků, kteří mohou fyzicky navštěvovat své pracoviště, se využití robotů jeví jako racionální volba. Roboti mohou proto být vhodní zejména na práce, které z domova dělat nelze. Takovouto práci je například právě průmyslové svařování.

### 3.1.1. Hustota robotizace jako měřítko adopce robotických technologií

Evropa zabírá první příčku v hustotě robotů na světě. Jinak tato vlastnost bývá označována jako robotická denzita, či hustota robotizace. Počítá se jako počet robotů na 10 000 zaměstnanců, konkrétně ve zpracovatelském průmyslu. Pokud jde o konkrétní odvětví s největším množstvím robotů, je to automobilový průmysl. Druhou příčku s 12 000 roboty v Evropě drží kovo zpracující strojírenský průmysl. Do něj se řadí i firma Schäfer-Menk, která umožnila vznik této práce a v jejichž prostorech bude vykonána praktická část a probíhají konzultace se specialisty z oblasti svařování a robotizace. [23][27]

### 3.1.2. Korektní terminologie, vzhledem k výrazu robot

Při zpracovávání práce o robotech je třeba hned na úvod říct aspoň stručně něco o terminologii. Většinou se lze setkat s pojmem robot v takzvané jazykově životné formě. Například „Koupili jsme si robota na vytírání.“. Takhle to však není správně vyjádřené. Životné skloňování, tedy robot, roboti je správně používáno pouze při popisování humanoidních autonomních robotů. Patrně z toho důvodu, že působí jako něco téměř živého. Na druhou stranu průmyslové roboty jsou stroje, a proto se využívá neživotné formy skloňování.

### 3.1.3. Svařování, jakožto interdisciplinární obor

Soudobé svařování, jakožto věda, souvisí s mnoha dalšími vědními disciplínami. Zabíhá do materiálového inženýrství, elektrotechniky, mechaniky (výpočty únosností), kontroly a měření (metrologie) a nově také do oblasti informačních technologií (programování robotů, CAD a simulační softwary různých procesů a dějů).[1][27]

### 3.1.4. Úvod do nejnovějších současných světových trendů a metod

V současné době je největší neexperimentálně aplikovanou novinkou v robotickém svařování takzvaná technologie/systém inteligentní svařovací výroby (IWMT/S). Dalšími již používanými metodami je technologie/systém inteligentního robotického svařování (IRWT/S) a inteligentní svařovací výrobní inženýrství (IWME). Největší novinkou obecně je, zatím jen ve vývojové fázi, autonomní robotické svařování. Výše několikrát zmíněné inteligentní znamená napodobující chování a reakce lidského mozku, smyslů a simulující pohyby těla (především horních končetin). Jde tedy o určitý (zatím neautonomní) typ umělé inteligence (AI). [27]

Dále se v této práci nachází řada metod robotické svařování. Některé se již běžně používají i v řadě podniků v České Republice. Velké množství ze zmíněných metod jsou však nejnovější světové trendy. Proto se s nimi zatím moc často setkat nelze, vzhledem k jejich vysoké pořizovací ceně. Další faktor, kromě zásadní ceny, je i možná nízká informovanost odborné veřejnosti o tom, že takovéto způsoby a možnosti v robotickém svařování již byly vyvinuty. Ta pramení z toho, že tyto systémy stále nejsou na trhu běžně dostupné.

## 3.2. Přejchod od svářeče k robotu

### 3.2.1. Výhody a nevýhody těchto dvou přístupů ke svařování

Mezi výhody robotického svařování patří zejména vysoká produktivita a s ní související nižší náklady. Samozřejmě bráno z dlouhodobého hlediska, kdy se firmě vrátí investice do robota. Dalším důvodem, proč firmy investují do robotického svařování je nedostatek kvalifikovaných pracovníků na trhu práce. Výhodou robotického svařování je také vysoká reprodukovatelnost, jinými slovy kvalita jednotlivých svařenců je srovnatelná. Naopak mezi největší výhody ručního svařování patří schopnost se adaptovat praktickým situacím. Toho dosahuje pomocí pozorování vzhledu svarové housenky, svarové lázně a její dynamiky a zohledněním pozice svarového spoje. Dále svářeč s ohledem na svá pozorování dokáže zároveň upravit svařovací parametry, aby dosáhl co nejkvalitnějšího výsledku.[27][29]

Výhody, jimiž disponuje svářeč lze určitým způsobem napodobit i při robotickém svařování. Děje se tak ve třech krocích. Nejprve je třeba snímat a získávat data ze svařování při jeho průběhu. Dále je třeba určit charakteristické vlastnosti svařovacího procesu. Jako poslední musí být přítomný mozku podobný program, který předchodí dva kroky spojuje do souvislostí a vyvozuje z nich důsledky. Jinými slovy program, který na základě informací rozhodne, co se bude dít dále. Lze konstatovat, že napodobuje uvažování a zkušenosti svářeče.[27]

### 3.2.2. Zaznamenané proměnné během svařovacího procesu

O průběhu svařování lze zjistit širokou řadu informací. Lze je rozdělit podle čtyř následujících oddílů.[27]

1. Informace o pohybu: Svařovací rychlost (běžně v cm/min)  
Cesta-chyba cesty  
Pozice-chyba pozice  
Dílčí pohyb hořáku (gesto)
2. Informace ze zorného pole: Viditelnost oblouku  
Viditelnost lázně  
Viditelnost svaru
3. Informace o oblouku: Spektrum oblouku  
Materiální spektrum  
Intenzita oblouku
4. Informace o procesu: Složení plynu  
Zvuky-vibrace  
Rozložení teplot (teplotní pole)  
Svařovací napětí

### 3.2.3. Vizuální snímání lázně

Stejně jako je pro svářeče pro kontrolu a usměrňování svaru nejdůležitějším smyslem jeho zrak, je v nejmodernějších svařovacích robotech snaha toto napodobit. Lidské oko vnímá vlnové délky od 390 do 770 nanometrů. Zde je opět výhoda na straně technologie. Kamery dokážou snímat výrazně širší rozpětí, které může zahrnovat i infračervené, ultrafialové a rentgenové záření.[27][30]

Snímání obrazu pomocí různých kamer s čočkami je základní součástí takzvaného strojového vidění. Dalším krokem je převedení snímků do takové digitální formy, která může být zpracována počítačem. Poté počítač získaná data zpracuje a vyvodí na jejich základě určitý typ akce.[30]

### 3.2.4. Senzory, smysly svařovacího robota

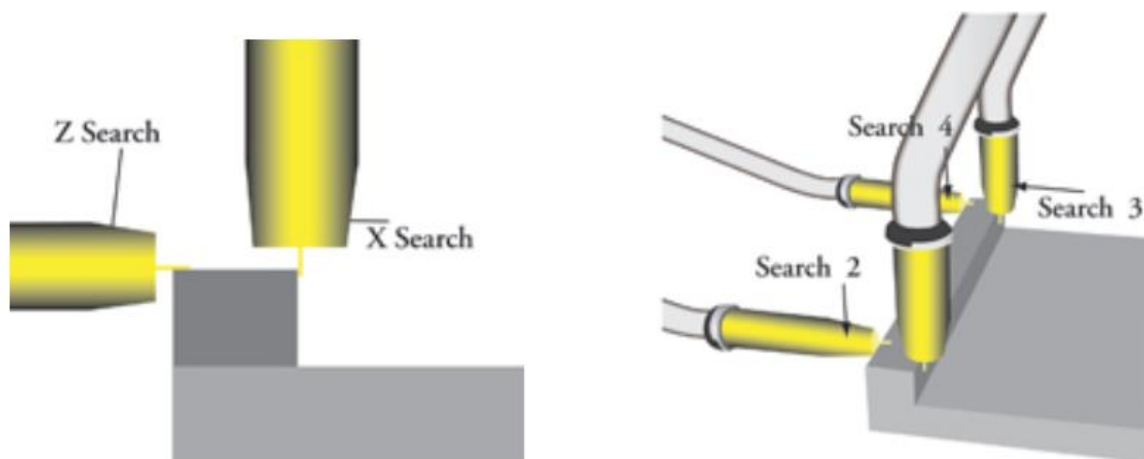
Dalším způsobem jakým se robot může orientovat v prostoru (zda je na správném místě), jsou senzory. U robotického svařování je často využíváno takzvané vnímání dotykem. Slouží k potvrzení, že se robot nachází na správném místě na výrobku. [29]

### 3.2.5. Dotykový senzor (touch sensing)

Jde o určení polohy dotekem. Využívá se k tomu elektrický kontakt svařovací elektrody, nebo trysky se součástí. Tento proces bývá, vzhledem k tomu, jak působí, označován jako „ořukání“. Při něm si robot opatří data a upraví svoji následující dráhu. Doteky probíhají tedy před tím, než robot začne svařovat. Na obrázku (Obrázek 26) jsou znázorněny tyto doteky pomocí svařovací elektrody.[31]

Ve firmě Schäfer-Menk se využívá kontaktu svařovací trysky, které se ukázalo jako praktičtější vzhledem k tomu, že elektroda, resp. drát se při dotyku ohybal.

Na obrázku (Obrázek 26) jsou znázorněny doteky ve směru osy X a osy Z. Pro úplné určení pozice by ještě připadal v úvahu dotek ve směru osy Y, tedy z čelní strany.



Obrázek 26: Dotykový senzor [31]

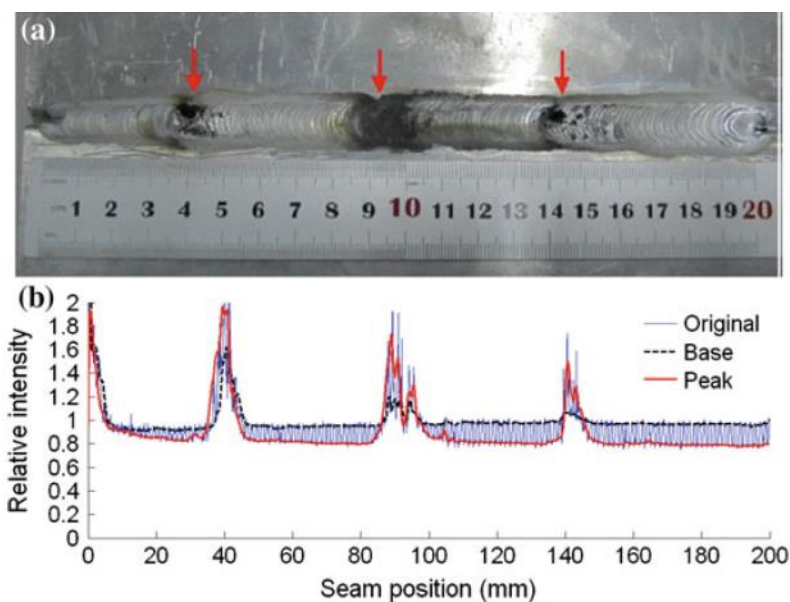
### 3.2.6. Zvukové snímání v současnosti a vize do budoucnosti

Mezi svářeči je obecně dobře známo, že o výsledku silně vypovídá i charakteristický zvuk při svařování. Tento zvuk je závislý na druhu svařovacího oblouku. Například u svařování pulzem je žádoucí, aby byl slyšet zvuk podobný bzučení. [32]

Tohoto nejspíše budou schopni svařovací roboty v budoucnu. Nyní, ohledně snímání zvuku, dokážou některé roboty rozpoznat, jestli svařování probíhá, nebo nikoliv. Z toho poté například vygenerovat graf, ze kterého lze zjistit, v jakém čase a při jakém napětí došlo k ukončení svařovacího oblouku.

### 3.2.7. Spektrum jako zpětná vazba

Elektrický oblouk převádí energii od zdroje k výrobku a při tom dochází k emitování spektra do okolí. V obloukovém spektru je obsažena řada informací ohledně dynamických svařovacích charakteristik a kvalitě svařování. Pomocí algoritmů lze poté extrahovat svařovací charakteristiky ze zaznamenaných informací o spektru. Příklad takového záznamu kvality svařování, kde je na ose y intenzita spektra a na ose x pozice části svarové housenky, poskytuje Obrázek 27. Z něj je zřetelné, že intenzita záření má vypovídající hodnotu ohledně jakosti svaru. Jednotlivé vrcholy grafu odrážejí místa s výskytem pórů. Na obrázku je kromě porozity patrná i oxidace. Ta je zde jen vedlejší, spektra neovlivňuje a je důsledkem neplnohodnotného odstranění oxidického filmu na povrchu materiálu (jde o materiál na bázi hliníku). Případně by oxidací mohla způsobit konzervace povrchu oleji. [27]



Obrázek 27: Intenzita vyzařovaného spektra v porovnání s kvalitou svaru [27]

### 3.2.8. Multi-senzorové snímání

Proběhly již i různé testy takzvaného multi-senzorového snímání. Jde o kombinaci různých přístupů ke snímání proměnných charakterizujících průběh svaru a jeho kvalitu. Například současné zaznamenávání intenzity proudu, napětí, snímání svarové lázně, zvukových vln vznikajících během svařování a emitovaného spektra. Z těchto testů vyšlo, že takováto kombinace zaznamenávaných proměnných může mít o svařovacím procesu vyšší vypovídající hodnotu. [27]



### 3.3. Základní procesy robotického přivařování svorníků

Při robotickém přivařování svorníků jde o to automatizovat několik procesů. Prvním z nich je umožnění automatického podávání svorníků, které jsou pro daný podavač speciálně navrženy. Druhým je samotné svařování a k němu příslušící zapálení a zhasnutí oblouku a vytvoření svaru. I další procesy jako pohyb robotického ramene má přivařování svorníků robotem na stejném principu jako ostatní metody robotického svařování. Za základní nutnosti lze považovat svařovací hlavu a robotickou ruku, resp. rameno, které se svařovací hlavou manipuluje.

## 4. Programování svařovacích robotů

### 4.1. Úvod a srovnání softwaru na programování robotů s CAD softwarem

Na rozdíl od jiných softwarů používaných ve strojírenství, jakými jsou hlavně CAD systémy, nebylo zatím o softwarech na programování svařovacích robotů napsáno mnoho materiálů. Proto ani není mezi odbornou veřejností příliš známo, co práce a tvorba v takových softwarech obnáší. Tato kapitola si klade za cíl popsat jeden software na programování robotů. Tím bude program Roboplan. Dále bude programování robotů posouzeno z pohledu někoho, kdo se řadu let věnoval právě modelování v CAD systému. Tedy z pohledu autora, z mého pohledu. Už pro úvod lze konstatovat, že je zde hned patrný rozdíl. U CAD systému vše ze začátku vypadá poměrně snadno a intuitivně a až při vytváření a úpravě skutečných modelů se objevují různé překážky. Ty jsou při „rekreačním“ používání CAD skryty a uživatel na ně nemusí nikdy narazit. Na druhou stranu software na programování robotů je něco úplně jiného a prakticky nezáleží na tom, jestli uživatel má zkušenosti s konstruováním v CAD. Spíše se zde zdá užitečné, nebo dokonce nutné, mít základní znalost jakéhokoliv druhu programování a určitý druh myšlení. Toto je konkrétněji popsáno v kapitole 4.3.3 - *Základní předpoklad úspěšného programování*.

#### 4.1.1. Další možné softwary umožňující programování svařovacích robotů

Je také vhodné zmínit, že stejně jako si jsou v základu podobné programy CAD od různých společností, patrně jinak tomu nebude ani zde. Softwary na programování robotů budou mít mnoho společného napříč poskytovateli těchto softwarů.

Kromě Roboplanu existují například softwary Almacam Weld, RoboDK, Verbotics Weld, RobotExpert a další.

Pro hlubší poznání oboru byly při přípravě této práce vyzkoušeny některé další softwary vedle primárního Roboplanu, který zde bude dále rozebírán. Tyto další softwary se odlišovaly hlavně v podporovaných funkcích, ale práce s nimi byla velice obdobná.

#### 4.1.2. Svařování, jakožto zvláštní proces znesnadňující používání programovacího softwaru

Svařování je zvláštní proces, jež má svá specifika. Proto pro vytváření programů pro svařovací roboty je nutná i určitá praktická znalost svařovacího procesu. Například jednou z takových znalostí je nutnost si vždy při programování uvědomovat směr gravitace. To pomůže například v tom, aby svar nestékal.



### 4.1.3. Počítačové rozhraní

Základní součástí svařovacího robotického systému je počítačové rozhraní, na kterém lze modelovat a nastavovat hlavní prvky robota. Prvky jako pohyby a svařovací rychlosti. Počítačové rozhraní, které je k tomuto nutné se nazývá API. Z anglického „Advanced Programming Interface“. [25]

## 4.2. Databáze a datové knihovny

Aby se nemusely všechny parametry nastavovat a optimalizovat od nuly, existují databáze, jinými slovy datové knihovny. V těchto databázích si lze vybrat z již vyladěných programů pro některé případy svařování. Zde mohou být vybrány počáteční podmínky, ochranný plyn a svařovací elektroda. [25]

### 4.2.1. Vstupní parametry (Input)

Je zde třeba zadat určitá data, dle kterých software vybere vhodná svařovací nastavení. Těmito uživatelem vkládanými daty jsou typ svaru (koutový nebo tupý), svařovací poloha a průměr elektrody (drátu, svorníku). Dále tloušťka plechu u tupých svarů a účinná tloušťka svaru u koutového svaru. [25]

### 4.2.2. Výstupní parametry (Output)

Výstupem z databází jsou svařovací parametry. Konkrétně velikost proudu a napětí, svařovací rychlost a počet svařovacích housenek, respektive vrstev (kořen, výplně, krycí vrstva). Pomocí těchto databází se výběr parametrů provede, vzhledem k zadaným datům, automaticky. Automaticky se může, ale nemusí, nastavit i průměr drátu. V tomto případě bude určující tloušťka součásti. [25]

## 4.3. Roboplan – popis osvojení softwaru pro programování robotů

### 4.3.1. Úvod do programu používaného při vytváření této práce

Stávající kapitola se zabývá programováním svařovacích robotů v softwaru Roboplan. Jde o software, který se na programování robotů používá ve firmě Schäfer-Menk. Ze „strojírenského“ programování je programování svařovacích robotů nejnáročnější. A to v porovnání například s programováním obráběcích strojů a programováním tvářecích strojů. [1]

Jak bylo nastíněno v kapitole 3.1.3 - Svařování, svařování se nově propojuje také s oblastí informačních technologií. To s sebou nese dodatečné požadavky na znalosti vyššího svářečského personálu. Je na místě očekávat, že v budoucnu tyto požadavky nevyjmí, naopak budou pravděpodobně nabírat na významnosti. Je tedy logické brát na tyto znalosti zřetel. O to se bude snažit tato kapitola a bude poměrně obsáhle probírat současné programování svařovacích robotů.

Tato kapitola se skládá z čistě praktických poznatků získaných při práci s tímto softwarem během přípravy této diplomové práce. Pro lepší přehlednost bylo ale rozhodnuto přiložit ji jako podkapitolu programování robotů.

### 4.3.2. Offline programování

Roboplan je software na takzvané offline programování. Při něm jde o to, že lze robot programovat bez potřeby u něj fyzicky stát. Dřívější systémy, a i některé méně sofistikované dnešní

softwaru robotů, totiž bylo možné programovat jen přímo na zařízení. Při offline programování tímto odpadá, jinak nutná, odstávka robota na jeho naprogramování. Během této odstávky nebylo možné vyrábět, je tedy patrné, že offline programování vede k vyšší produktivitě. Pro větší názornost lze uvést, že programování takto probíhá paralelně s běžící výrobou. [33]

#### 4.3.3. Základní předpoklad úspěšného programování

Pro práci s programy, a pro práci s počítači obecně, je vhodné mít nějakou představu o tom, jak počítač „myslí“, tedy co se uvnitř něj děje. Pro programování je toto naprosto zásadní potřeba, kterou je nutné znát. Tato znalost umožní zadávat příkazy vhodným způsobem a na druhou stranu i pochopit, co je za případnou chybovou hláškou.

V případě Roboplanu jde například o to, co se stane s programem poté, co jej programátor napíše. Takto hotový program (jde o typ bodového souboru), popisující proces pomocí stromu drah (klasický strom programu, v podstatě číselovaný „obsah“), je konvertován (převeden) na pohybové příkazy robota.

Další, možná jednou z nejdůležitějších, věcí při programování robotů (resp. jakékoli práci s počítačem) je čtení chybových hlášení. Když programátor na tuto činnost přistoupí a začne číst chybové hlášky, hodně se toho dozví, což vede k výrazné úspoře času.

#### 4.3.4. Nepřítomnost tlačítka zpět

Tento software neobsahuje tlačítko „Zpět“, případně „Vrátit zpět“. To je známé z mnoha různých počítačových aplikací (například Word). Přesto zde lze toto tlačítko, lépe řečeno jeho funkci, určitým způsobem napodobit. Dělá se to nastavením záložních kopií. V souboru RoboPlan.ini po otevření „options“ lze nastavit počet záložních kopií. Ty jsou pak uloženy jako název programu a písmeno abecedy (A...Z). Podobným takto nepřímým způsobem se dá, nejen v Roboplanu, vyřešit řada situací.

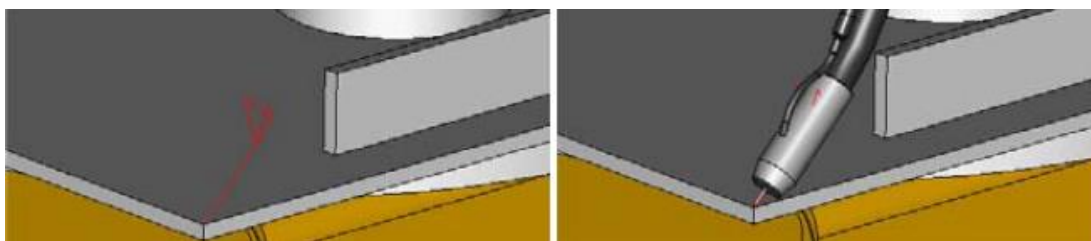
#### 4.3.5. Typy souborů, jež je nutné znát pro práci se softwarem Roboplan

Prvním krokem, který je v této aplikaci nutné provést, je přidání zařízení. Zařízení se ve formátu „,src“ vloží do aplikace. Soubor .src obsahuje model robota a pohyby, které může uskutečnit. Kalibrované zařízení má koncovku „,cal“. Soubory „,sip“ obsahují vyznačené polohy zařízení. Tyto soubory jsou k dispozici od výrobce robota. Zařízení včetně již specifických prvků, které jsou v každé výrobní společnosti jiné, se označuje jako pracoviště a jde o soubor „,hsf“. Poté je vložen CAD model ve formátu „,step“, což je základní formát těchto navrhovacích systémů. [34]

Podobně jako u CAD zde není výstupem jediný velký soubor. Je zde více menších vzájemně propojených souborů, které na sebe odkazují. V CAD například model sestavy obsahuje odkazy na jednotlivé dílčí komponenty. Stejně tak u Roboplanu lze uvést příklad, kdy soubor plánování pouze odkazuje na soubor zařízení (zařízení = reálně nainstalovaný robot). Je tedy dobré mít přehled o tom, kde v počítači, v jakých adresářích a složkách, se jednotlivé soubory nacházejí. A snažit se soubory nepřesouvat, protože se pak zbytečně musí dopisovat nové cesty k těmto přesunutým propojeným souborům.

#### 4.3.6. Významná role os při vytváření programu pro robot

Během robotického svařování jsou přítomny tři druhy os. Osy portálu, osy svařovacího přípravku a osy robota samotného. Logicky jsou osy portálu a osy přípravku souhrnně označeny jako externí osy. Robot má pak 6 vlastních interních os. Důležitou informací je aktuální hodnota os. Pořadí pohybu os se nazývá kinematický řetězec. Výsledkem je hořák v určitém bodě pravoúhlého systému souřadnic xyz a zároveň určené úhly hořáku. Jinými slovy bodem je dáno postavení hořáku. Další užitečnou informací je, že systém souřadnic přípravku se zobrazí jeho označením ve stromu programu. Souřadnicový systém svařence odpovídá CAD modelu. [34]



Obrázek 28: Charakteristické praporky určující sklon hořáku [34]

#### 4.3.7. Dráhy, klíčový prvek celého softwaru

V Roboplanu se pracuje s dráhami. Jsou různého druhu, hlavní jsou **svařovací dráhy**. Dále jsou to například dráhy měřicí. Dráhy jsou tvořeny body, ty jsou spojeny segmenty. Dráhy lze vytvořit i automaticky, kdy program sám odečte geometrii vloženého CAD modelu. U svařovací dráhy je přítom stanovena vzdálenost hořáku (stickout). Důležité je brát v potaz fakt, že robot nesmí dělat skoky. Jinak řečeno poslední bod jedné dráhy musí být stejný jako počáteční bod následující dráhy. Nenavazující dráhy lze spojit transferovou dráhou. Pro tu je charakteristické, že přítom robot vyjede do stanovené výšky, zde se přeorientuje a následně najede na další bod. Toto chování je často vidět při pozorování robota na vlastní oči. Mimo zmiňovaný způsob použití transferových drah lze také navazující dráhy spojit „ručně“. Označením posledního bodu jedné dráhy a sdružením s prvním bodem následující dráhy (v menu jako „Punkte zusammenfassen“). [34]

Dále je třeba ještě zmínit další užitečnou informaci a to, že i svary mají vlastní souřadnicové systémy nezávislé na celkovém souřadném systému svařence. [34]

Svařovací dráhy byly popsány v odstavci výše. Zásadní jsou ale také **dráhy měřicí**. Ty slouží ke korekci programu vůči realitě. Jde o to, že programátor určí bod stěny svařence, na který robot najíždí do chvíle, než zaregistruje kontakt. Poté je napsaný program upraven pro reálné prostředí. Tato funkce je přesně to, co bylo popisováno v kapitole 3.2.5 - *Dotykový senzor (touch sensing)*. [34]

Zde je opět patrný rozdíl významu určitých termínů pro někoho, kdo pracoval s CAD. Měření má v tomto softwaru odlišnou funkci než při konstruování výrobků například v programu Inventor.

#### 4.3.8. Simulace pohybů robota

Roboplan má i funkci simulačního softwaru. Nejde o simulaci typu Sysweld, která se věnuje analýze prostupu tepla materiálem, tepelným cyklům během svařování a celkové materiálově fyzikální analýze. U Roboplanu jde o simulaci pohybů robota během svařovacího procesu. Pomocí této simulace lze offline odhalit případné kolize robota s výrobkem, překročení dosahu

robotické ruky i překročení rychlostí, jakými se ruka může pohybovat. Kolidované prvky se během simulace vykreslí červeně a simulace se zastaví. [34]

Na druhou stranu lze ale také kolize vypnout pomocí jejich vyškrtnutí v dialogu. To se hodí například, pokud někdo vypracovává různé protokoly a potřebuje vědět pořadí drah, směr svařování a další. A to bez nutnosti být u robota fyzicky přítomný. Bez ohledu na to, že reálně toto stejně moc dobře nelze na živo pozorovat. Robot má kolem sebe kontrolní zónu, do níž se během svařování samozřejmě nesmí vstupovat. Nebylo by možné tedy stát v dostatečné blízkosti. Dále jsou pohyby robota rychlé a během výroby ho není vhodné zastavovat. Limitující je také pozorování oblouku samotného. Bez masky se to nedoporučuje a s maskou, bez znalosti, jaký svar bude následovat, lze těžko určit směr, zejména u kratších svarů. Protože svar je hotový dříve, než lze určit směr pohybu hořáku, nebo je z pozorovací vzdálenosti příliš malý. Zde se právě simulace ukázala jako velmi užitečná. Zmiňované kolize byly vypnuty proto, že by celou tuto simulaci komplikovaly a zároveň by v tomto konkrétním případě nepřinášely žádnou přidanou hodnotu.

Při spuštění simulace z již hotového programu se provedou následující kroky. Vybrat cestu (resp. krok), od něhož má simulace začít. Přitom držet klávesu ctrl a kliknout na cestu, která má být v této simulaci poslední. Poté stačí stisknout tlačítko na spuštění přehrávání.

Uživatel při práci se softwarem na programování robotů také často narazí na zkratku TCP. Jde o zkratku anglických slov „Tool Center Point“, česky středový bod nástroje. Je to přesné pracovní místo hořáku. Jinými slovy jde o špičku elektrody.

#### **4.3.9. Posouvání os**

Při posouvání os v dialogu řízení os (menu os) je vidět určitý teoretický rozsah, kam až lze osu otočit, případně část robota posunout. Tento rozsah ale lze v plné míře využít jen v ideálním případě postavení ostatních os. Proto se lze většinou setkat s tím, že je rozsah omezen na určitý interval. Za tímto intervalem se nachází, matematicky řečeno, singularita. Tedy oblast, ve které v tomto případě prvek není definován.

#### **4.3.10. Posuv**

Malé/velké posunutí (inkrement) – kliknout do modrého pole názvu regulátoru (v dialogu os). Malý inkrement udává velikost posuvu pomocí šipek. Velký inkrement udává velikost posuvu při kliknutí vlevo nebo vpravo od posuvníku v boxu regulátoru.

#### **4.3.11. Tvorba drah manuálně**




Jedním ze způsobů vytvoření dráhy je zadání bodů manuálně. Na rozdíl od tohoto způsobu, lze ještě generovat dráhy automaticky, což bude přibliženo v kapitole 4.3.14 - *Praktická tvorba drah (automatická)*.

Již ale k tvorbě samotné. Pravým tlačítkem nová prázdná dráha. V dialogu os nový bod (pracovně nazván tlačítko). Nyní je třeba najet robotem do požadované polohy a kliknout na toto tlačítko. Toto vytvoří 2 body ve stejném místě. V dalším kroku je proto nutné posunout robotem na novou pozici, což odemkne tlačítko „vložit nový bod“.

### 4.3.12. Ikony drah

Dráhy a body obsahují různá grafická znázornění, jakési značky. Ty urychlují práci v tomto programu, nicméně je nutné vědět, co znamenají. V této podkapitole budou tyto značky rozebrány.

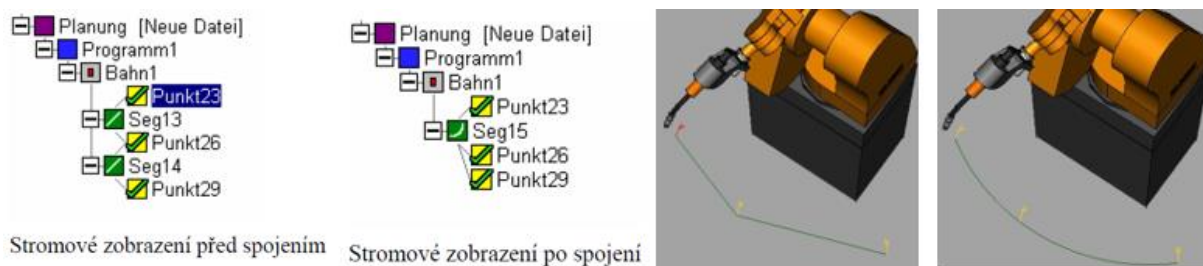
Souvislost drah je vyjádřena červenými šipkami ve stromu drah. Pokud toto programátor ví, lze pochopit již intuitivně, co jaká šipka znamená. Přesto jsou znaky níže uvedeny pro lepší názornost.

- dráha bez souvislostí 
- dráha související s dráhou ve stromu pod ní 
- dráha související s dráhou ve stromu nad ní 

### 4.3.13. Užitečné funkce

- Často využitelná bude také funkce označit dráhy podle typu (Bahn nach Typ markieren).
- Otočit dráhu kolem bodu – o určitý úhel ve stupních.
- Dráhy lze posouvat použitím tlačítka v liště nástrojů. Jde o posunutí nahoru a dolů ve stromu, které udává pořadí, v jakém jsou pak dráhy prováděny
- Dvojitě kliknutí na název bodu nastaví robot na hodnoty os uložené v tomto bodě.
- Někdy by mohla nastat situace, kdy je třeba nějakou existující dráhu rozdělit. To se provádí pomocí duplikování bodu a následným posunutím dráhy v prostoru.
- Za určitých okolností může být nutné vynechat některé naprogramované dráhy. To lze udělat vložením segmentu v kontextovém menu dráhy. Označí se jedna dráha a poté další. Vytvoří se segment (skok), který přemostí dráhy, které se nebudou používat. Zde je důležité uvědomovat si, že pořadí, v jakém se klikne na dráhy, je určující pro skutečné pořadí drah, jaké poté nastane. A to bez ohledu na umístění konkrétní dráhy ve stromu.

Dráhy je po zvolení několika bodů možné automaticky zaoblit, do tvaru pro robot výhodného. Toto demonstruje přiložený screenshot (Obrázek 29).



Obrázek 29: Automatická optimalizace dráhy [34]




### 4.3.14. Praktická tvorba drah (automatická)

Jak již bylo zmíněno v kapitole 4.3.7 - *Dráhy*, pro tvorbu drah lze využít automatické funkce programu. Při vytváření drah touto automatickou funkcí, odečítající jejich trajektorii z CAD modelu, je zde jedna užitečná klávesová zkratka. Spíše, než užitečná by možná bylo lépe říct nutná. Jde o klávesu „q“. Po jejím stisknutí se označí všechny body aktuálně označených prvků. Pokud je tedy zadána dráha, stisknutím klávesy q se označí všechny její body. Poté se již

pomocí dialogového okna pohybů robota snadno nastaví dosažitelnost těchto bodů robotem. Kdyby nebyly v dosahu robotické ruky, posune se manuálně s modelem robota do polohy, kde *dosažitelnost (reachability)* existuje.

#### 4.3.15. Body a dosažitelnost

Pro práci se softwarem na programování robotů jsou kromě drah důležité také body. Tato kapitola uvede základní fakta pro práci a seznámení s tím, jakou mají v tomto programu podobu.

Neaktivní bod lze identifikovat pomocí tohoto symbolu . Aktivuje se označením bodu a poté kliknutím na *dosažitelnost*. Načež se vlevo vedle stromového zobrazení objeví buď zelený háček , nebo červený křížek. Důležité je zde i pozadí čtverce. Oranžové pozadí, jako v tomto případě, říká, že pro bod dosud nebyly hodnoty os robota k dispozici. V případě zeleného pozadí by to znamenalo, že k dispozici již byly. Příkaz samotný se následně zadá kliknutím na *Převzít nové* v dialogu os. Následně se doporučuje vypnout *dosažitelnost*. Výsledkem je, že bod je aktivní . Pro shrnutí, zelený háček udává, že bod obsahuje hodnoty os.

#### 4.3.16. Dosažitelnost prakticky

Jak již bylo zmíněno v kapitole 4.3.3 - *Základní předpoklad úspěšného programování*, pro efektivní práci se softwarem na programování robota je vhodné vědět, co se uvnitř něj děje. Může nastat situace, že program neidentifikuje žádný možný způsob dosažitelnosti. Zde je třeba si uvědomit, že při počítání dosažitelnosti se vychází z aktuálního postavení robota. Jde o jakousi porovnávací polohu. Proto jejím přesunutím, tedy různým otáčením a posouváním robota pomocí dialogu, lze nalézt vhodnější postavení robota. Z tohoto vhodnějšího postavení už bude dosažitelnost možná. Pokud se tedy již tímto podařilo nastavit robot do dalšího bodu, souřadnice tohoto bodu slouží opět k výpočtu dosažitelnosti následujícího bodu.

Neplatná čísla bodů jsou zobrazena jako záporná. Například -1. Buď je zvoleno zobrazení názvů bodů nebo čísel bodů.

## 5. Vliv jednotlivých svařovacích parametrů na výsledný svarový spoj

Při robotickém přivařování svorníků, stejně jako u ostatních svařovacích metod, jsou svařovací parametry způsob, jak regulovat a řídit svařovací proces. V této kapitole budou uvedeny nejdůležitější parametry, z nichž většina bude poté prakticky nastavována a testována v praktické části této diplomové práce.

### 5.1. Vnesené teplo

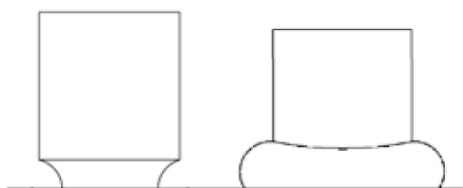
Pro získání požadované kvality je nutný dostatečný přísun energie do svarového spoje. Ten umožní natavení a vznik metalurgického spojení svorníku a podkladového materiálu. Velikost energie, kterou je nutno do spoje vnést, závisí na průměru svorníku. Obecně lze říct, že vnesené teplo se vzhledem k minimální době svařování jednoho svorníku během metody SRM obtížně určuje. Z tohoto důvodu se pro získání informací používají především ostatní parametry.

### 5.2. Velikost zanoření

Velikost zanoření svorníku, také označované jako vysunutí, udává, jakou bude mít svar velikost a tvar a obecně lze říct, že má velký podíl na tom, zda je svar OK nebo NOK. Je to délka části

svorníku, která je dostupná pro odtavení během svařovacího cyklu. Během svařování se svorník o tuto délku zkrátí. Délka zkrácení je specifická pro každý způsob přivařování svorníků elektrickým proudem. Konkrétně tato zkrácení (závislá na průměru) lze dohledat v příslušných tabulkách na internetu, nebo jsou poskytnuty výrobcem zařízení k této metodě.[5]

Vliv hodnoty zanoření na výsledný svar je patrný z přiloženého obrázku (Obrázek 30). Pokud je zanoření nastaveno na malou hodnotu, může dojít k vytvoření nedostatečně velkého svaru. To je případ znázorněný na levé straně obrázku (Obrázek 30). Pokud je nastavena vhodná hodnota, dojde k vytvoření svaru, který se vizuálně podobá svaru na pravé straně obrázku.



Obrázek 30: Zanoření čepu

### 5.3. Elektrické napětí

Dalším parametrem je napětí. Napětí svařovacího oblouku je funkcí jeho délky. Tato délka bývá označována jako zdvih (další informace o zdvihu lze nalézt v kapitole 1.3 o zdvihovém přivařování svorníků). V zásadě je to délka, o jakou se oddálí svorník umístěný ve svařovací hlavě od podkladového materiálu během zahájení svařovacího cyklu. Princip zdvihu je teoreticky popsán v kapitole 1.3. [5]

Se zvyšujícím se napětím roste poměr šířky svaru k hloubce závaru.

### 5.4. Doba - rychlost

Běžně užívanou proměnnou je také svařovací doba. Svařovací metoda 78 je v tomto ohledu ve srovnání s konvenčními metodami svařování elektrickým obloukem rozdílná. Celý proces přivařování svorníku trvá jednotky sekund a z toho jen řádově milisekundy oblouk aktivně hoří. V tomto případě je proto nutné nezaměřovat se v první řadě na dobu hoření oblouku, ale právě na dobu celého procesu, včetně například doby, po jaké robot odjíždí z místa svaru. Tyto zmínované časy totiž mají velký vliv na výsledek svařování, jak bude demonstrováno v praktické části. Delší svařovací doba povede k vyššímu propojení svařovaných dílů a může překlenout případné nedostatky, jako například méně kvalitní očištění povrchu.

### 5.5. Elektrický proud

Proud je dalším běžným svařovacím parametrem, který je společný pro celé odvětví svařování pomocí elektrického oblouku. Důvodem jeho použití je natavení základního a přídavného materiálu (zde čepu). Specifika typů proudů používaných při přivařování svorníků jsou popsána v dřívějších kapitolách (1.2.2; 1.3; 1.4.3). Hodnota proudu (velikost, respektive intenzita, [A]) se bere jako ustálená hodnota během doby hoření oblouku. Během vzplanutí oblouku a jeho zhasínání se hodnota proudu samozřejmě liší od hodnoty ustálené neboli hodnoty, která je nastavená na zdroji proudu.

Proud by měl být dostatečně vysoký, aby došlo k požadovanému průvaru a tím ke vzniku pevného spoje. Neměl by však být až příliš vysoký, neboť to může vést k degradaci základního materiálu a kleštiny svařovacího robota.

## **5.6. SRM proud**

Se zvyšujícím se SRM proudem dojde k rovnoměrnějšímu rozložení svařovacího oblouku po čele čepu. Tím dojde k rovnoměrnějšímu ohřátí této oblasti, což má na svarový spoj pozitivní efekt. Grafické znázornění je k dispozici jako Obrázek 15.

## **5.7. Rušivé faktory**

Určitým způsobem se k parametrům vztahují i takzvané „rušivé“ faktory, jež mohou během svařování svorníků nastat. Podobně jako nevhodně zvolené svařovací parametry, i tyto faktory vedou ke zhoršení kvality svarového spoje. Jde o následující druhy faktorů:

- Zhoršený stav kleštiny
- Kontaminace povrchu
- Nevhodný úhel



## 6. Praktická část

### Úvod

V této části diplomové práce budou popsány praktické aspekty přivaření svorníků robotem metodou SRM. Bude zde také snaha o to zachytit a popsat co nejvíce praktických situací, možných problémů a přidružených jevů při přivařování svorníků robotem. Půjde o situace, které v běžné literatuře k nahlédnutí nejsou a vychází spíše z denního provozního používání této metody než z laboratorního experimentování. Přesto velké množství informací obsažené v této části najde teoretické podložení v přechozích kapitolách, tedy v teoretické části.

V teoretické kapitole 3.1.3 (Svařování), bylo zmíněno, že kompetentnější znalost svařování vyžaduje mít přehled i o dalších přidružených disciplínách, které se svařováním ve velké míře souvisí. V této praktické části diplomové práce budou tedy řešeny i tyto další disciplíny, jako například programování, elektrotechnika a mechanika některých vybraných částí použitého svařovacího robota.

Programování robota bylo obsáhle zkoušeno (kapitola 4.3 - Roboplan) a lze je také považovat za praktickou věc. Bylo ale spíše vedlejším produktem souvisejícím, i když velmi významně, se samotným přivařování svorníků

Nejprve budou v této praktické části rozebrány základní normy, konstrukční prvky robota a svařovací přípravky, se kterými jsem se setkal a seznámil během vyhotovování této práce. Bude zde také přiložena WPS, tedy svařovací postup.

V další části praktického oddílu budou popsány použité čepy, pracoviště, robot a k nim přidružené věci.

V poslední části bude popsán proces vytvoření a vyhodnocení vzorků.

## 7. Přehled norem

Svařování se řadí mezi zvláštní procesy, které nestačí zkontrolovat až na konci, ale musí být kontrolovány i v průběhu vytváření svaru a také před svařováním samotným. Svařování dle norem ukazuje způsobilost výrobce a na příslušné aplikované normy je vhodné poukázat ve smlouvách se zákazníkem. Jejich použití značí určitý stupeň jakosti výrobků.

### 7.1. Požadavky na personál během přivařování svorníků

Během svařování je základním požadavkem mít dostatečně kvalifikovaný personál. Svářeči, resp. operátoři pro přivařování svorníků musí být kvalifikovaní dle normy ISO 14732:1998, 4.2.1 nebo 4.2.2. Pro obsluhu svařovacího robota, jakožto plně automatizovaného svařování, ale není nutný přímo svářeč. Postačuje proškolený operátor.

Svárečí inženýři zde mají stejnou roli jako u zbylých metod svařování. Tou je především, že na základě schválených WPQR vypracují pracovní postupy WPS.

### 7.2. Normy jako jeden z ukazatelů kvality prováděného svařování

Základní normou řešící kvalitu svařování je norma ČSN EN ISO 3834-2 – „Požadavky na jakost při tavném svařování kovových materiálů. Vyšší požadavky na jakost“. Vyšší požadavky na jakost zde znamená, že je třeba mít sestaven plán údržby jednotlivých komponent

zapojených do svařovacího procesu. Těmito komponentami jsou například třídící a podávací systém svorníků, vodiče, svorky a přípravky.

Další obecnější normou je norma o systému řízení kvality ČSN EN ISO 9001 :2016 – „*Systém managementu kvality*“. Kvalifikace touto normou v podstatě vypovídá o tom, že je ve firmě pořádek. Jinými slovy, že jsou zde řízené procesy, za které odpovídají konkrétní lidé.

### **7.3. Základní norma pro svorníkové svařování ČSN EN ISO 14 555**

Základní normou pokrývající přivařování svorníků je již zmiňovaná norma ČSN EN ISO 14555. Definuje pojmy z oblasti svařování svorníků, popisuje druhy nedestruktivního a destruktivního testování svařenců a popisuje vady, jež během této metody mohou vzniknout.

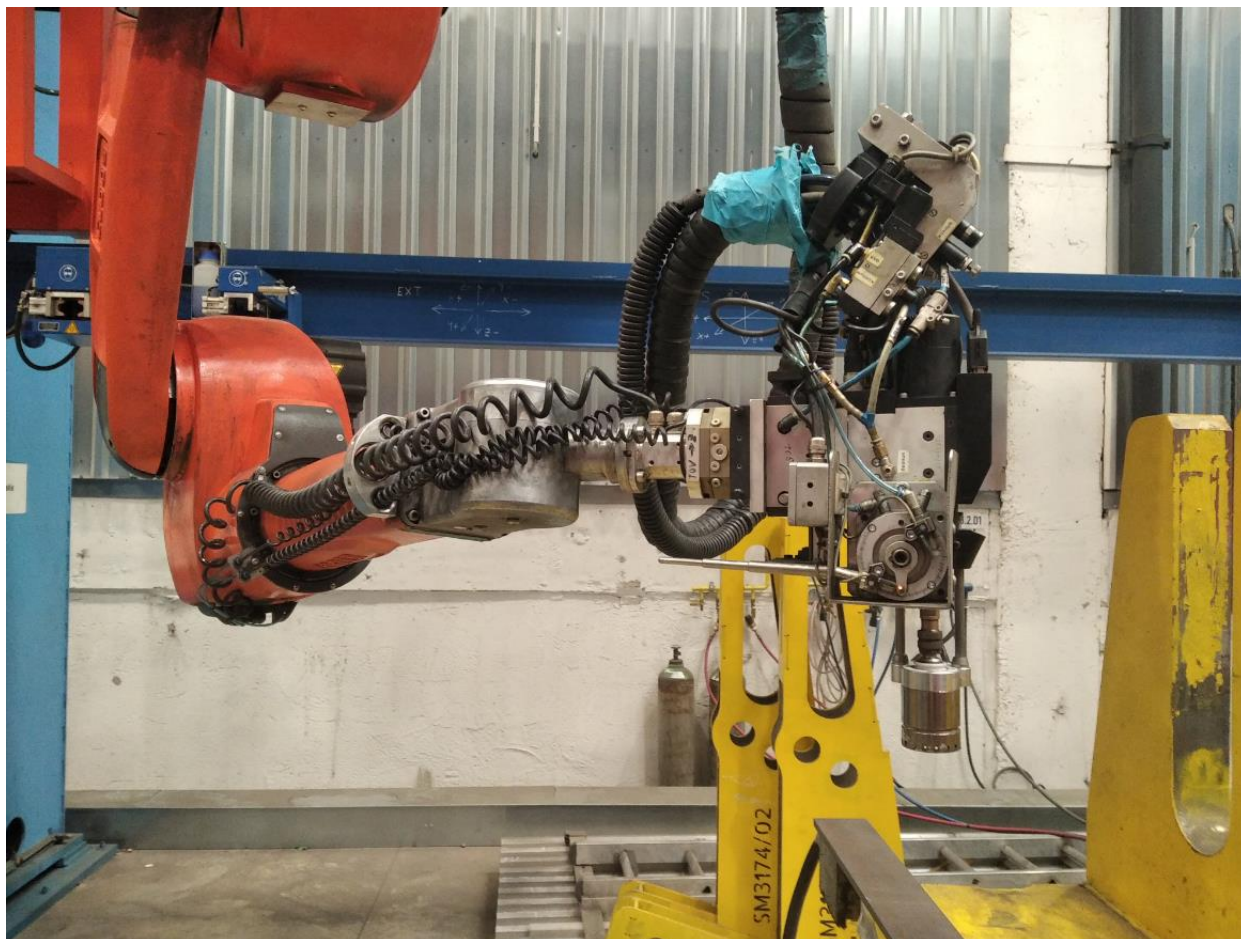
## **8. SRM hlava, nástavec umožňující přivařování čepů**

### **8.1. Typy koncových nástavců robota**

Na svařovací robot, například na zde během experimentu používaný robot Qirox QRC 350, který bude popsán v kapitole „specifikace použitého robota“, lze nasadit různá funkční zakončení. Jde o nástavec umožňující svařování metodou MIG/MAG pro běžné podélné svary. Rovněž je možné na robot upevnit nástavec, resp. hlavu, která umožňuje nástřik barvy. Tu může být výhodné použít například pro označení míst, kam svářeči budou přivařovat některé dílčí prvky jako konzole. Běžně se tato místa označují vypálením značky gravírováním, ale toto je poněkud sofistikovanější způsob. Na velkých svařovaných konstrukcích, jako například na autojeřábech jsou také označeny osy, pro lepší orientaci svářeče. Svářeč si od těchto os odměří pomocí metru, kde bude připevňovat požadovanou komponentu, například právě konzoli. Toto je výhodné a produktivnější nahradit pomocí nastříkání značek os robotem. Dalším

zakončením, jež lze na robot upevnit je právě zde řešená svařovací hlava SRM. Tato hlava umožňuje přivařování čepů.

Na snímku (Obrázek 31) je vyfocen robot s SRM hlavou. Na první pohled je patrné, že jde o komplexní zařízení.

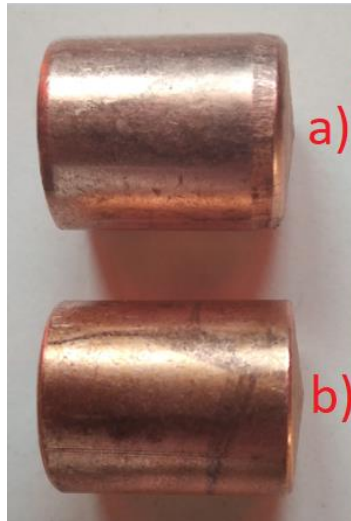


Obrázek 31: Robot s SRM hlavou

## 9. Podavač čepů umožňující správné natočení svorníku

Za samostatné zmínění by stála jedna nedílná součást použitého robota, a to podavač čepů. V praxi totiž čas od času nastal problém, že některý čep byl přivařen obráceně. Tím je myšleno, že díra se závitem nesměřovala ven, jak by bylo správné, ale směrem do základního materiálu. Vyřazení obráceného čepu probíhá pomocí jednoduchého mechanismu naznačeném na vytvořené schématu (Obrázek 33). Senzor určí dle hrany, respektive zkosení, zda se jedná o přední část, která směřuje do základního materiálu, nebo zda jde o zadní část čepu s dírou. Prakticky ale některé čepy od dodavatelů mají na jedné straně výrazné zkosení a na druhé nikoliv, což je žádoucí a senzor v tomto případě třídí čepy dobře. Čepy od jiného dodavatele vyráběné jinak, vzhledem k nižší ceně patrně produktivnější metodou, nedosahují takového rozdílu mezi spodní a horní hranou. Toto je znázorněno na obrázku (Obrázek 32). Písmenem a) je označen méně jakostní čep. Jsou zde patrná zkosení po obou stranách čepu, což není žádoucí. Pravděpodobně jsou čepy tohoto výrobce vyráběny lisováním. Písmeno b) označuje kvalitnější čep, u

kterého je jedna strana výrazněji zkosena. Čepy tohoto výrobce jsou vyráběny na soustruzích. Obráceně přivařený čep je samozřejmě nutné opravit, a to odříznout a přivařit čep nový.



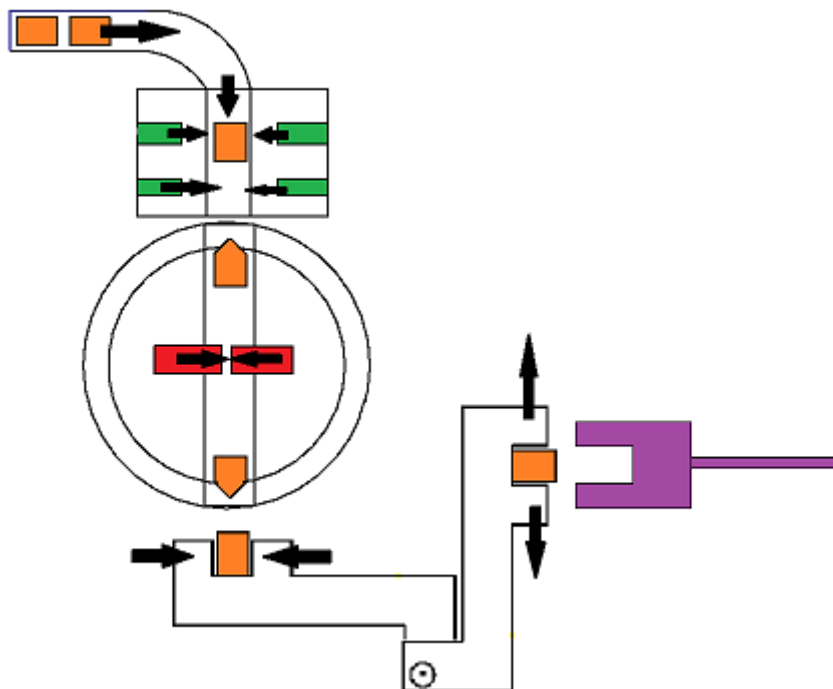
Obrázek 32: Rozdílné hrany čepů

### 9.1. Mechanismus nastavující čep správným směrem

Mechanismy jednotlivých částí robota jsou poměrně jednoduché, ale přesto dobře plní svůj účel. Komplexnost robota se projeví spíše při pohledu na něj jako na celek, skládající se z mnoha menších „black box“ prvků. Těmi jsou myšleny prvky, u kterých bez bližšího zkoumání není patrné, jak fungují, ale jen to, jak se ve výsledku projeví.

Obrázek 33 znázorňuje schéma podavače čepů. Oranžovou barvou jsou znázorněny čepy. Čep jede ze zásobníku a pokud je již čep přítomný v otáčecím kole, je zde zadržen zářázkami (zelená barva). Po příjezdu čepu do otáčecího kola senzor odečte, zda je vhodně natočen. Vhodným natočením je myšleno, že špičkou, jinými slovy hranou, směřuje směrem dolů. Pokud ano, otevřou se červené zářázky a čep pokračuje dále. Pokud není správně natočen, červené zářázky se uzavřou, kolo se otočí o  $180^\circ$  a čep pokračuje již ve správné poloze dále. Dalším krokem už je

jen sevření čepu podavačem a jeho nastrčení do kleštin svařovací hlavy, která je zobrazena fialově.



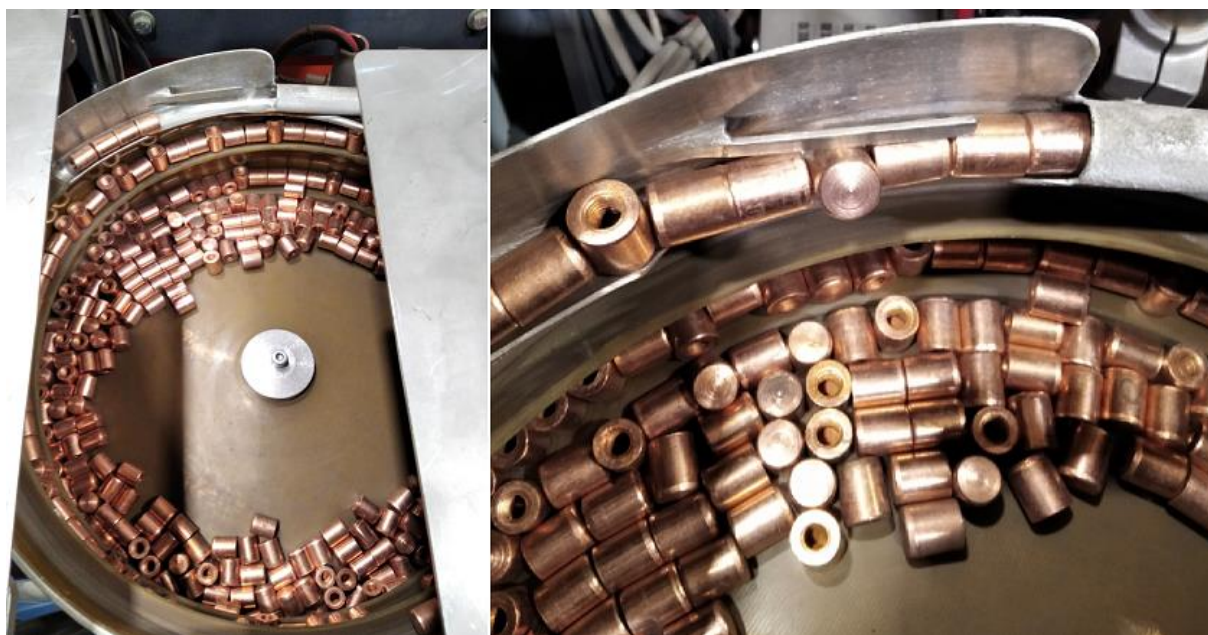
Obrázek 33: Schéma podavače čepů

## 10. Třídička čepů jako příklad, jak fungují dílčí části robota

### 10.1. Třídička čepů

Příkladem dalšího jednoduchého, ale dobře fungujícího mechanismu je třídička čepů, slangově označována jako „sortýrovačka“. Celkový pohled na ni poskytuje levá strana přiložené fotografie (Obrázek 34). Při plnění třídičky čepy byly také zkoušeny různé přístupy. Ukázalo se nevhodné naplnit čepy plnou kapacitu třídičky, neboť poté v důsledku její vysoké hmotnosti nefungoval vibrační mechanismus, kterým je uváděna do pohybu. Pomocí vibrací jsou zde čepy posouvány těsně za sebou po spirále na jejímž konci je výstupek vracející čepy ve špatné poloze zpět do bubnu třídičky. Výstupek vyřazující nevhodně natočený svorník je vyfotografován v pravé části obrázku (Obrázek 34).

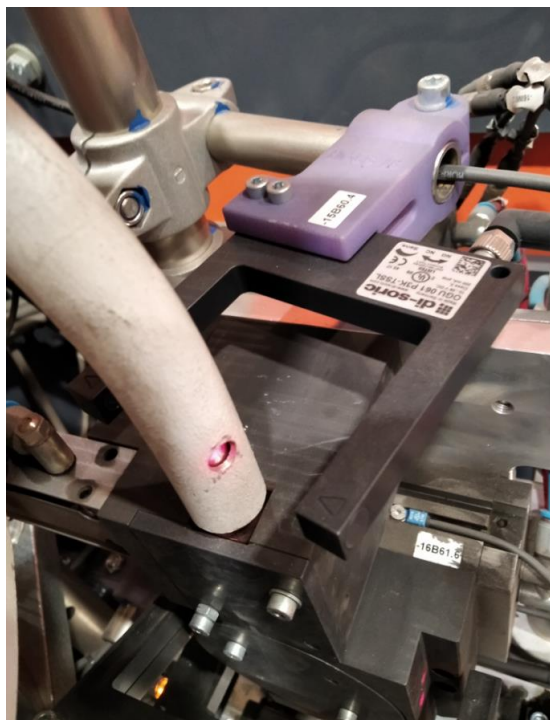




Obrázek 34: Třidička čepů

## 10.2. Senzor přítomnosti čepu

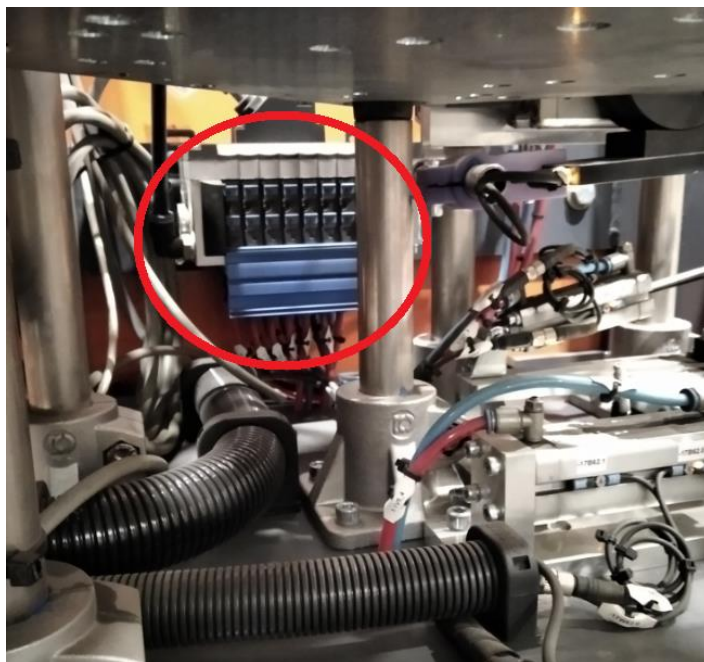
Současná výroba využívá prvky mnoha dalších oborů, vedle svého primárního oboru. O těchto přidružených věcech je vhodné mít nějakou představu. Svařovací robot má mnoho komponent a jedním jejich druhem jsou senzory. Obrázek 35 ukazuje senzor přítomnosti čepu na cestě z podavače. Pokud paprsek vycházející z jednoho černého ramene prosvítí dráhu čepu a dopadne na snímač umístěný ve druhém rameni, je zjištěno, že čep uvnitř cesty v této poloze není. Na základě toho jsou poté spuštěny další kroky.



Obrázek 35: Senzor přítomnosti čepu

### 10.3. Manuální ovladač dílčích prvků třídičky

Třídička čepů funguje jako celek a pokud je vše v pořádku, provede svoji činnost spolu s dalšími částmi robota poté, co je spuštěn svařovací program. Pro lepší praktický náhled na současnou robotiku je vhodné také zmínit tuto její další část. Je jí ovladač prvků, pomocí něhož lze ručně spouštět jednotlivé prvky z celku. Těmito prvky jsou u třídičky například zábrany, posuvy, otočení bubny a otevírání kleštín v bubnu. Toto ovládání jednotlivých částí se používá během hledání nefungujícího prvku a pro testování toho, z jakého důvodu nepracuje správně. Obrázek 36 zachycuje tento ovladač. Je umístěn pod třídičkou a na obrázku je zvýrazněn červeně.



Obrázek 36: Ovladač dílčích prvků

#### 10.4. Arduino, jako most mezi programováním, elektrotechnikou a strojírenstvím

Během experimentu a zkoumání jednotlivých mechanicko-elektrických částí robota nastal kontakt také se zajímavým dílčím článkem, kterým bylo arduino. Arduino je mikropočítač o velikosti dlaně, který i technicky založenému jedinci, jež se ale nepohybuje v oblasti IT, umožní vytvářet jednoduché jednoúčelové programy. Pracuje mimo jiné právě pomocí senzorů. Mechanické části strojů je v drtivé většině nutné ovládat pomocí elektřiny. A právě arduino je mostem spojujícím mozek stroje (software) s nezbytnými elektrotechnickými prvky a případně mechanickými částmi.

### 11. Svařovací přípravky používané ve výrobních závodech

Neoddělitelnou součástí každé svařovací metody jsou svařovací přípravky. Pomocí nich je svařenec upnut, a tedy zafixován v takové poloze, která zaručí přesnou polohu svaru. Je možné vybrat z širokého množství přípravků, ať jde o přípravky prodávané na trhu, nebo určité speciálnější přípravky vyráběné v samotných výrobních provozech. Účelem přípravků je zajištění opakovatelnosti výroby, zvýšení kvality a redukce nákladů. Náklady v tomto případě je myšlen výrobní čas. Přípravky jsou dalším způsobem, jak mohou technologicky pokročilé závody zvýšit svoji konkurenceschopnost vůči výrobám ze zemí, kde je k dispozici levnější pracovní síla. Promyšlený sofistikovaně navržený přípravek může z dlouhodobějšího hlediska ušetřit výrazné množství času a výrobu zjednodušit.

#### 11.1. Přípravky většího typu, vzhledem k jejich hmotnosti a objemu

Jedním z největších typů přípravků jsou polohovadla. V případě výroby jeřábových konstrukcí jde o karusely ve svislé poloze. Ty svařencem jeřábu otáčejí a umožňují svařovat například jen v poloze PA, jejíž výhody jsou zmíněny v kapitole 17.5. Za další z velkých přípravků lze považovat upínací desky. Tyto desky obsahují mnoho děr pro různé typy sériově vyráběných



svařenců a poté je k nim svařenec pomocí šroubových spojů upnut. Jako přípravky lze brát i speciální svařovací stoly. Jde o masivní ocelové stoly s velmi vysokou vodorovností. Tyto stoly v sobě mají mnoho děr, které umožňují snadnou montáž svařovaného dílce a jde typově o stoly „Demmeler“. Rozměrnější přípravky, i když výrazně méně rozměrné, než již zmíněné jsou svařovací kozy. Ty slouží k podepření svařence. Ukázka tohoto typu přípravku je na vloženém obrázku (Obrázek 60: Uchycení a ukostření). Svařovací kozy lze označit jako určitý typ stojanu. Další velikostně větší přípravky jsou také závěsy. Jde o přípravky, které jsou během svařování zavěšeny na halový jeřáb. Závěsy umožní pokrýt ty svařované oblasti a díly, které nelze podložit například pomocí koz.

## 11.2. Speciální svařovací přípravky, vzhledem k jejich jednocelovosti

Speciálním typem svařovacích přípravků jsou například šablony. Nejsou nikde veřejně k prodeji, protože si je závody vyrábí sami na míru svým potřebám a nejde tedy o nic univerzálního. Šablona je slabší plech například o tloušťce 3 milimetry, který je vypálen na laseru do takového tvaru, ze kterého bude zřejmé, kam a jak ji na svařenec přiložit. Tento plech obsahuje díry v místech, kde mají být umístěny čepy, konzole a podobně. Svářeč šablonu přiloží na svařovanou konstrukci a křídou si označí, kde poté bude například přivařovat svorník. U robotického svařování se šablony samozřejmě nepoužívají. Robot dokáže pomocí senzorů probíraných v teoretické kapitole 3.2 sám vyhodnotit, kam čep umístit.

## 11.3. Drobné upínací dílce a přípravky


Během svařování je téměř vždy nutné použít i přípravky menší velikosti. Tyto drobné přípravky umožňují finální upnutí svařence na přípravky většího typu. Jedním zástupcem jsou takzvané dorazy, na které se svařenec, jak už z názvu plyne, přirazí a ony brání jeho posunutí. Další běžný drobný přípravek jsou rychloupínky. Ty při sériové výrobě umožní upnutí výrobku bez nutnosti při každém svařovaném kusu například šroubovat šroubový spoj. Pro lepší názornost jde o upínky typu „Destaco“. Za drobné „připravky“ lze považovat i různé podložky ve formě pásů plechu a podobně. Běžnými přípravky jsou dále také svěrky.

## 12. WPS – svařovací postupy, reps. specifikace

V této kapitole jsou na následujících obrázcích (Obrázek 37, Obrázek 38, Obrázek 39) zobrazeny reálné WPS používané při robotickém přivařování svorníků. Z nich je patrných několik věcí. Metoda SRM je vedena pod zkratkou 783, tedy jako klasické zdvihové přivařování svorníků. Dále je na ní uveden název svařovacího zdroje, který byl použit i při provádění experimentu v této práci. Jde o svařovací zdroj s označením Soyer BMH-22i. Tloušťka materiálu, pro kterou byly tyto WPS vyhotoveny je stejná, jako tloušťka experimentálního vzorku. Rovněž zařízení (robot) je shodné. Rozdíly pro jednotlivé polohy jsou v hodnotách proudu a svařovacího času.

## SCHÄFER MENK


Schäfer Menk s.r.o., Přeštinská 1415, 153 00, Praha 5 - Radotín



**Schweißanweisung des Herstellers (WPS) – M 8 \* 14,6**  
**Postup svařování výrobce (WPS)**

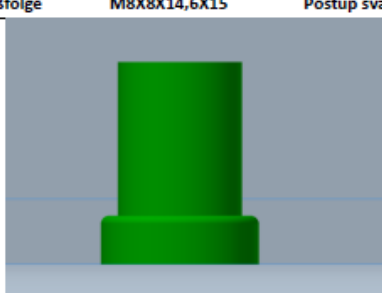
Ort:	Praha - Dýšina	Místo:	GSI SLV Praha	Zkušební organizace:
Schweißverfahren:	Svař. svorníků	Metoda svařování:	Tryskání, broušení	Příprava:
WPQR:			S 960 QL	Základní materiál:
Hersteller:	Schäfer Menk	Výrobce:	4.8C2	Přídavný materiál:
Schweißprozeß:	783	Metoda svařování:	Werkstoffdicke (in mm):	10
Nahtart:	Bolzen (čep)	Druh svaru:	Schweißposition:	PA
Stromquelle:	Soyer BMH-22i		Schweißpistole:	Soyer PK-5AP

Art der Schweißverbindung



Druh svarového spoje

Schweißfolge



M8X8X14,6X15

Postup svařování

Lage	Prozeß	Strom	Schweißzeit	Überstand	Hub	Bemerkungen
Svar	Metoda	Proud	Čas svařování	Přesazení	Zdvih	Poznámky
		[A]	[ms]	[mm]	[mm]	
14,6	783	1400	0,17	3,0	1,3	polarita =/+ počet koster 4*

Gasdurchflußmenge	15 l/min	90/10	Ar/CO2	Množství ochranného plynu
Bezeichnung des Keramikringes:	0			Označení keramického kroužku
Rücktrocken der Keramikringe:	0			Předsušení keramického kroužku
Dämpfung:				Tlumení
Bolzendurchmesser:	14,6 mm			Průměr čepu
Bemerkung:	Robotické pracoviště Cloos -Robot QRC 350			Poznámka:
Bemerkung:	Před svařováním je nezbytně provést pracovní zkoušku - kontrola ohybem			Poznámka:

Hersteller: Schäfer-Menk, s.r.o.


P.Vála 10.10.2018

Name, Datum, Unterschrift

Prüfer:

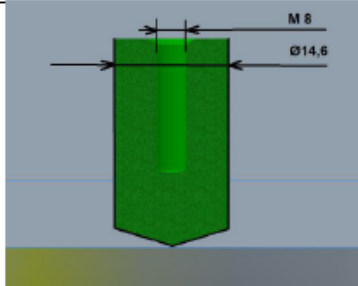
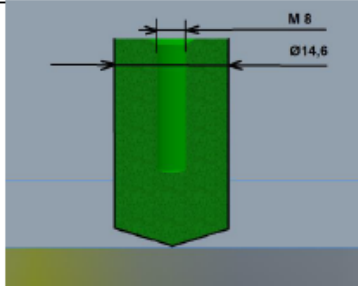
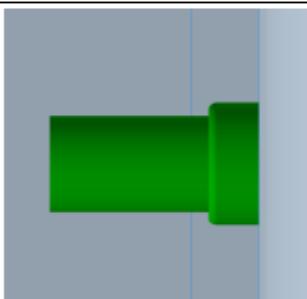
J. Brabec 10.10.2018

Name, Datum, Unterschrift



Obrázek 37: WPS svařování svorníků, poloha PA

57

Art der Schweißverbindung		Druh svarového spoje		Schweißfolge	M8X8X14,6X15	Postup svařování
						

Lage	Prozeß	Strom	Schweißzeit	Überstand	Hub	Bemerkungen
Svar	Metoda	[A] Proud	[ms] Čas svařování	[mm] Přesazení	[mm] Zdvih	
14,6	783	1560	0,30	3,0	1,3	polarita =/+ počet koster 4*

Gasdurchflußmenge	15 l/min	90/10	Ar/CO2	Množství ochranného plynu
Bezeichnung des Keramikringes:	0			Označení keramického kroužku
Rüchtrocken der Keramikringe:	0			Předsušení keramického kroužku
Dämpfung:				Tlumení
Bolzendurchmesser:	14,6 mm			Průměr čepu
Bemerkung:	Robotické pracoviště Cloos -Robot QRC 350			Poznámka:
Bemerkung:	Před svařováním je nezbytné provést pracovní zkoušku - kontrola ohybem			Poznámka:

Hersteller: Schäfer-Menk, s.r.o. Prüfer:


P.Vála 10.10.2018 J. Brabec 10.10.2018

Name, Datum, Unterschrift Name, Datum, Unterschrift

Obrázek 38: WPS svařování svorníků, poloha PC

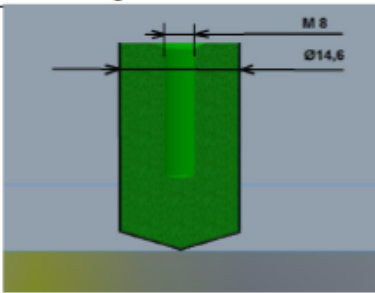
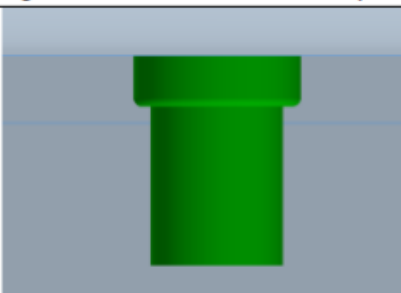
## SCHÄFER MENK

Schäfer Menk s.r.o., Přeštínská 1415, 153 00, Praha 5 - Radotín



**Schweißanweisung des Herstellers (WPS) – M 8 \* 14,6**  
**Postup svařování výrobce (WPS)**

Ort:	Praha - Dyšina	Místo:	GSI SLV Praha
Schweißverfahren:	Svař. svorníků	Metoda svařování:	Tryskání, broušení
WPQR:		Grundwerkstoff:	S 960 QL
Hersteller:	Schäfer Menk	Zusatzwerkstoff:	4.8C2
Schweißprozeß:	783	Werkstoffdicke (in mm):	10
Nahtart:	Bolzen (čep)	Schweißposition:	PE
Stromquelle:	Soyer BMH-22i	Schweißpistole:	Soyer PK-5AP
		Zkušební organizace:	
		Příprava:	
		Základní materiál:	
		Přídavný materiál:	
		Tloušťka materiálu:	
		Poloha svařování:	

Art der Schweißverbindung	Druh svarového spoje	Schweißfolge	M8X8X14,6X15	Postup svařování
				

Lage	Prozeß	Strom	Schweißzeit	Überstand	Hub	Bemerkungen
Svar	Metoda	Proud	Čas svařování	Přesazení	Zdvih	Poznámky
		[A]	[ms]	[mm]	[mm]	
14,6	783	1880	0,11	3,0	1,3	polarita =/+ počet koster 4*

Gasdurchflußmenge	15 l/min	90/10	Ar/CO2	Množství ochranného plynu
Bezeichnung des Keramikringes:	0			Označení keramického kroužku
Rücktrocken der Keramikringe:	0			Předsušení keramického kroužku
Dämpfung:				Tlumení
Bolzendurchmesser:	14,6 mm			Průměr čepu
Bemerkung:	Robotické pracoviště Cloos -Robot QRC 350			Poznámka:
Bemerkung:	Před svařováním je nezbytné provést pracovní zkoušku - kontrola ohybem			Poznámka:

Hersteller: Schäfer-Menk, s.r.o.


P.Vála 10.10.2018

Name, Datum, Unterschrift

Prüfer:

J. Brabec 10.10.2018

Name, Datum, Unterschrift



Obrázek 39: WPS svařování svorníků, poloha PE

59

### 13. Termokřídly a předeřev

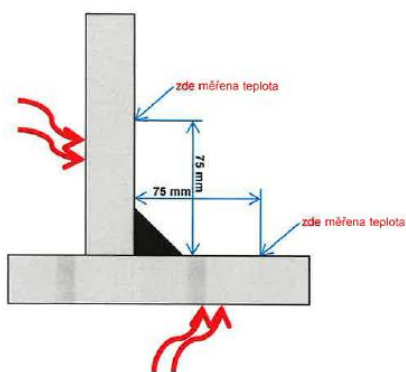
Zajímavým doplňkem při svařování jsou termokřídly zobrazené na následujícím obrázku (Obrázek 40). Slouží ke zjištění teploty svařence. Používají se hlavně pro určení, zda je svařenec dostatečně předeřtý. Princip spočívá v nakreslení křížků termokřídou podél nahřátého výrobku. Pokud je teplota například vyšší než 200 °C, čáry se roztečou. Pokud je teplota nižší, čáry křížku se zachovají. V případě, že se křída částečně rozteče, ale i zanechá stopu, značí to, že teplota je přesná. Ohledně způsobu předeřtí svařenců bylo během času stráveného ve výrobní hale zjištěno, že výrobky se předeřtí zejména autogenem. K dispozici jsou i pece, ale trvá příliš dlouhou dobu, než se rozeřtí. Proto se toto prakticky řeší upnutím autogenu na stojan a ohřtí výrobku plamenem.

Obecně teplota předeřvu se volí podle tloušťky plechu, dle tabulek dodaných zákazníkem. Prakticky se plechy větší tloušťky předeřtí na vyšší teplotu, zatímco slabší plechy stačí přejet hořákem tam a zpět.

Předeřev se provádí vždy při svařování metodou MIG/MAG. Při přivařování bolznů robotem není předeřev nutný, svary dosahují dobré kvality i bez něj, i když by mohl kvalitu svarových spojů zvýšit. Pokud však kvalita svaru vyhovuje, nedávalo by ekonomicky smysl provádět další finančně a časově náročné úkony tohoto typu. Se zvyšujícími se požadavky na jakost se ale již ve výrobě experimentálně předeřev při přivařování čepů testuje a očekává se, že v budoucnu bude využíván stále více. Zejména proto, že kvalita výrobků je jedna z oblastí, ve které mohou pokročilejší výrobní závody, jakým je i Schäfer-Menk, využít své know-how a získat konkurenční výhodu oproti méně progresivní výrobě.



- předeřev se provádí v dostatečné vzdálenosti od místa svařování, viz obr.
- pro správné určení se použije termokřída (nejpřesnější)



75°C    100°C    120°C    150°C    200°C    225°C

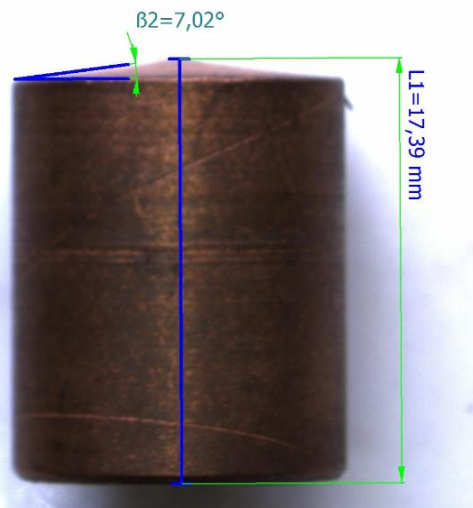
Obrázek 40: Termokřídly

## 14. Použité čepy

V této kapitole budou probrány svorníky používané při robotickém svařování ve firmě Schäfer-Menk. Pro srovnání toho, jaké jsou obecně možnosti těchto čepů, budou popsány i čepy pro ruční svařování, které se v některých ohledech od čepů do robota odlišují. Na skutečném jeřábovém rámu je pro orientaci přivařeno průměrně cca 300 čepů.

### 14.1. Druhy

Čepů jsou ve firmě Schäfer-Menk používány tři základní druhy. Liší se způsobem výroby, a tedy přesností a kvalitou. Dalším rozdílem je, zda jde o čepy pro ruční, či robotické svařování. Jeden typ čepu (bolznu) pro robotické svařování je zachycen na obrázku (Obrázek 41). Makro snímek čepu byl pořízen pomocí mikroskopu a okótován pomocí doprovodného softwaru. Průměr všech typů čepů je jednotný a to 14,6 mm.



Obrázek 41: Změřená skutečná velikost čepu

Kvalita a přesnost čepů je dána výrobní metodou, jednoduše zda jsou soustruženy nebo lisovány.

### 14.2. Rozdíl mezi čepy pro ruční a robotické svařování

Hlavním rozdílem, mezi čepy pro ruční a robotické svařování, je jejich špička. Význam a důvody špičky na čepěch je popsán v teoretické kapitole 1.3.2 – Kondenzátorové přivařování svorníků s hrotovým zapalováním. Na obrázku (Obrázek 42) jsou v levé části vyfotografovány používané druhy čep. Je zde patrný rozdíl ve velikosti zkosení hrany a také, že jeden čep má jako jádro špičky hliníkovou patronu. Tento typ čepu s hliníkovou patronou slouží k ručnímu svařování. Důvod aplikace hliníkových patron vychází z vlastností hliníku. Hlavní vlastností Al pro tento účel je jeho snadné vznícení a při tom probíhající silná exotermická reakce, tedy reakce, za níž se vyvíjí teplo. Prakticky poté, co se hliník vypaří je oblouk stabilizován.





Obrázek 42: Špičky čepů

V pravé části obrázku (Obrázek 42) je čep pro ruční svařování zobrazen z boku. Při porovnání tohoto obrázku a obrázku předchozího (Obrázek 41) je na první pohled zřejmý rozdíl ve velikosti úhlu špičky. Ostřejší úhel špičky u čepu pro ruční svařování opět přispívá k lepší stabilizaci oblouku a jeho snadnějšímu vystředění.

### 14.3. Vnitropodnikové úpravy

V minulosti byly ve společnosti Schäfer-Menk experimentálně zkoušeny také další úpravy čepů. Jednou z nich bylo například nanesení vrstvy hliníku na celou spodní stranu čepu. Toto samozřejmě vycházelo z vědomí přítomnosti hliníkových patron uvnitř čepů pro ruční přivařování. Povlak měl sloužit jako tavidlo a žádoucím výsledkem toho experimentu by bylo rozložení elektrického oblouku po celém průměru spodní strany čepu. Tímto experimentem šlo o snahu napodobit metodu SRM. Bohužel po pokrytí spodní strany hliníkem a následném svařování vznikalo velké množství produktů nedokonalého spalování (kouře), které kontaminovali okolí svaru. Tato úprava se proto neukázala jako vhodná.

### 14.4. Charakteristiky vybraného čepu

Čepy jsou dodávány v sudech s počtem cca 10 000 kusů. Obrázek 43 je etiketa jednoho takového sudu od dodavatele. Jsou na ní napsány vnější rozměry čepu a rozměry vnitřní díry a závitu. Průměr čepu je 14,6 mm a délka 15 mm. V čepu je díra se závitem M8 o délce 8 mm. Vrcholový úhel špičky čepu je v tomto případě 166°. Jako příklad je uvedeno označení 4.8C2E. Číslo 4.8 značí pevnostní třídu čepu dle normy ČSN EN ISO 898-1. Tato norma třídí dle mechanických vlastností šrouby z uhlíkových a legovaných ocelí a je aplikována i na čepy. První číslice (4) vyjadřuje setinu pevnosti v tahu. Vynásobením první a druhé číslice se zjistí desetina meze kluzu. Pro lepší náhled na pevnostní vlastnosti přivařovaných čepů je přiložena tabulka (Tabulka 2), ve které je možné si ověřit platnost číselného označení. Od čepů, které na jeřábové konstrukci slouží k uchycení kabelů, samozřejmě není nutné žádat takovou pevnost, jako od základního materiálu. Zkratka C2E značí, že jsou tyto svorníky galvanicky poměděné. Důvod pomědění svorníků je popsán v kapitole 1.2.5 - Výchozí povrchová úprava svorníku.



Obrázek 43: Etiketa čepů

Vlastnosti	Pevnostní třída	4.8
Pevnost v tahu $R_m$ (N/mm <sup>2</sup> )	jmen.	
	min.	420
Dolní mez v kluzu $ReL6$ , MPa	jmen.	320
	min.	420
Smluvní mez kluzu $R_{p0,2}$ , MPa	jmen.	
	min.	
Pevnostní charakteristika při zvýšených teplotách v N/mm <sup>2</sup> (ISO 898-1)	+100 °C	-
	+200 °C	-
	+250 °C	-
	+300 °C	-
Tažnost A v %	min.	14
Vickers HV $F \geq 98$ N	HV min.-max.	130-250
Brinell BV $F=30$ D <sup>2</sup>	HB min.-max.	124-238
Rockwell HR	HRB min.-max.	71-99,5
	HRC min.-max.	-

Tabulka 2: Charakteristiky čepu 4.8 dle ČSN EN ISO 898-1 [35]

K čepům jsou dodavatelem poskytovány inspekční certifikáty neboli atesty. V tomto případě jde o inspekční certifikát 3.1., tedy certifikát specifikované kontroly, prováděné kontrolorem nezávislým na výrobním útvaru. Specifikovaná kontrola znamená, že byly testovány přímo výrobky dodané, na rozdíl od nspecifikované, kde tomu tak být nemuselo. Z hodnot atestu zobrazeného na obrázku (Obrázek 44) je patrné, že reálná dodaná pevnost a mez kluzu je výrazně vyšší, než jaká by byla postačující pro normu ČSN EN ISO 898-1. Pro představu je na tomto obrázku také možno shlédnout chemické složení čepu a v pravém dolním rohu je napsán uhlíkový ekvivalent CEV o hodnotě 0,33 %.

Svařitelnost čepu z materiálu označeného jako 4.8 je dle normy ČSN EN ISO 14555 se základním materiálem S960QL definována jako svařitelnost s omezením pro přenos síly.[7]



Svařitelnost pro přenos síly znamená, že čepy nemohou přenášet napětí (tahová, smyková) jako například nosné konstrukce, sloupy a podobně. Pro účel jejich aplikace, jakožto ukotvení kabelů a podobně je tato omezená svařitelnost vyhovující.

Označení dodávky: ID ČEP S VNITRNÍM ZAVÍTEM EN ISO 13918							
Object / Artikelbezeichnung: MIG INNENGEWINDEBUCHSE							
Rozměr: M8X8X14,6X15 166° 4.8C2E OHNE ALU							
Dimensions / Abmessung							
Inspekční certifikát ČSN EN 10204 / 3.1							
Inspection certificate EN 10204 / 3.1							
Abnahmeprüfzeugnis EN 10204 / 3.1							
Výsledek zkoušky / Test Results / Prüfergebnisse							
Rm N/mm <sup>2</sup>	A 5	RP02 / Rel	Zúžení	Z %	Vrubová houževnatost	Vrubová houževnatost	Tvrdost
Pevnost v tahu	Prodloužení %	N/mm <sup>2</sup> Mez kluzu	Contractio		ISO-V J	ISO-U J	HB/HV/HRC
Tensile strength	Elongation	Yield stress	Einschnürung		Impact test	Impact test	Hardness
Zugfestigkeit	Dehnung	Streckgrenze			Kerbschlagarbeit	Kerbschlagarbeit	Härte
skutečnost :	593	16	569	59			
Chemická analýza / Chemical Composition of Heat / Chargenanalyse							
C %	Si %	Mn %	P %	S %	Al %	Cr %	Ni %
0,160	0,170	0,760	0,008	0,013	0,025	0,080	0,090
N %	Mo %	B %	Ti %	Cu %	Zn %	Mg %	Co %
	0,020			0,200			
V %	Fe %	N %	Nb %			ostatní %	CEV
		0,010					0,33

Obrázek 44: Inspekční certifikát čepu [36]

## 14.5. Výroba čepů

Pro lepší pojem o svornících, resp. čepch stojí zmínit i to, jakým způsobem se produkují. Proces výroby čepů je také poměrně zajímavá záležitost. Bylo zmíněno, že jedním ze způsobů je výroba čepů na soustruzích. Čepy se řezou z drátu, který je navinut v podavači. Výchozí polotovar je patrný na přiloženém obrázku (Obrázek 45).



Obrázek 45: Svinutý polotovar na čepy [37]

## 15. Praktické vlivy okrajové podmínky „Úprava povrchu“

Jednou z proměnných, které měly hlavní a největší dopad na kvalitu svarového spoje v experimentální části této práce, byla povrchová úprava podkladového materiálu. Různé druhy znečištění a povlaků výrazně negativně ovlivňovaly kvalitu svaru. Šlo o mastnotu a také znečištění povrchu plynoucí z předchozího nedestruktivního testování. To se v praxi provádí na podélných a příčných svarech. Vzhledem k tomu, že čepy jsou přivařovány v jejich blízkosti má tato určitá forma povrchové kontaminace vliv na jakost přivařovaných svarových spojů, a to jak vizuální, tak funkční. Blízkost čepu k podélnému svaru na reálném jeřábovém svařenci je k nahlédnutí na obrázku (Obrázek 46).

### 15.1. Vliv nedestruktivního testování

Svary jsou během výrobního procesu testovány více zkušebními metodami. Jednou z nich je zkouška MT, tedy magnetická prášková zkouška. Zde přichází v úvahu otázka, zda se po zkoušení touto metodou čepy ihned přivařují, nebo zda přivaření ještě předchází očištění povrchu. Odpověď je, že po MT následuje očištění kontaminovaného povrchu sprejem. Nejde ale o úplně dokonalé 100% očištění. V praxi se také ukázalo jako výhodné nahradit klasickou MT s černou/bílou barvou viditelnou v podmínkách běžného světla. Konkrétně nahradit ji pomocí fluorescenční metody, s použitím fluorescenční barvy viditelné jen pod UV světlem. Tento způsob se totiž obejde bez podkladové bílé vrstvy, která u černo/bílé MT zvyšuje kontrast. Zároveň ale bílá podkladová barva způsobí ohoření (oxidaci) ve chvíli, kdy je na ní čep přivařen, jak je patrné z obrázku (Obrázek 46).



Obrázek 46: Nežádoucí oxidace u čepu přivařeného na bílou podkladovou barvu

Otázkou může být, proč neprovádět ultrazvukové zkoušení. U ultrazvukového zkoušení je vazbou „lepidlo na tapety“, tím je myšleno lepidlo smíchané s vodou. Vzhledem k tomu, že je vše (výrobky a polotovary) tryskáno, provedení ultrazvukové zkoušky by znamenalo okamžitou povrchovou korozi. V tomto případě by, vzhledem k použitému materiálu, šlo o korozi  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ .

### 15.2. Vliv způsobu obrobení

V rámci experimentu bylo vyzkoušeno také více různých povrchů ocelového pásu z téhož materiálu. Nežádoucí byla povrchová koroze. Té se lze poměrně snadno zbavit otryskáním. Povrch otryskaný „nahrubo“ projevilo výrazně lepší spojení čepu se základním materiálem než povrch najemno pískovaný. Přesto je téměř jisté, že i na méně vhodný povrch by bylo možné v praxi časem parametry odladit (optimalizovat).

### 15.3. Korozní degradace

Jedním z testovaných povrchů byl povrch pokrytý korozí oxidem železitým. Pro ilustraci je přiložen Obrázek 47. Na tomto obrázku je patrné, že vliv povrchové koroze na výsledný svarový spoj je podobný jako vliv bílé podkladové barvy při MT testování (kapitola 15). Je přítomna oxidace v okolí svarového spoje. Tento jev je patrně způsobený tím, že vrstva  $Fe_2O_3$  při vystavení vysoké teplotě (zde způsobeném průchodem elektrického proudu velké intenzity) výrazně degraduje. Na snímku (Obrázek 47) je také názorně vidět rozstřík v okolí svaru. Rozstřík také není žádoucí, ale jde o poměrně jednoduše odstranitelnou vadu. Roli zde hrálo i to, že šlo o polohu PC, ta ovlivnila hlavně rozstřík, zatímco koroze ovlivnila povrchový stav okolí svaru.



Obrázek 47: Čep přivařený na zkorodovaný povrch

### 15.4. Očištěný povrch jako nejlepší výchozí stav pro přivaření svorníků

Možností povrchové úpravy dosahující nejvyšší jakosti svarového spoje je samozřejmě kvalitně očištěný povrch. Čep přivařený na takovýto povrch je zachycen na obrázku (Obrázek 48). Tento obrázek byl přiložen hlavně pro srovnání, jak svarový spoj a jeho okolí vypadá, pokud je povrch očištěný. Rozstřík není přítomný a oxidace je minimální.



Obrázek 48: Vliv očištěného povrchu

### 15.5. Opravy nekvality svorníkového spoje a možná ochrana pomocí prvků z 3D tiskárny

Pokud svorník není neopravitelně špatně přivařen (například obráceně, či šikmo), lze většinou použít nějakou formu dokončovací úpravy. Oprava také počítá s tím, že na svaru není další zásadní vada, jako například vrub z nedostatečného provaření. Rozstřík lze obrousit, případně osekát sekáčem. Takto upravený čep je zobrazen na přiložené fotografii (Obrázek 49). Zde se hodí zmínit, že vizuálně je na finálním výrobku vzhled celého povrchu konzistentní. Celý jeřábový rám je totiž nastříkán barvou, během čehož jsou některé části svařence před barvou chráněny. Jde například právě o vnitřní díry svorníků se závitem. Chrání se našroubováním zátky vytisknuté na 3D tiskárně, což je nejekonomičtější fungující a poměrně progresivní řešení. Mimo to před samotným lakováním je rám otryskán, což také odstraní řadu vizuálních nehomogenit.



Obrázek 49: Odstraněný rozstřík

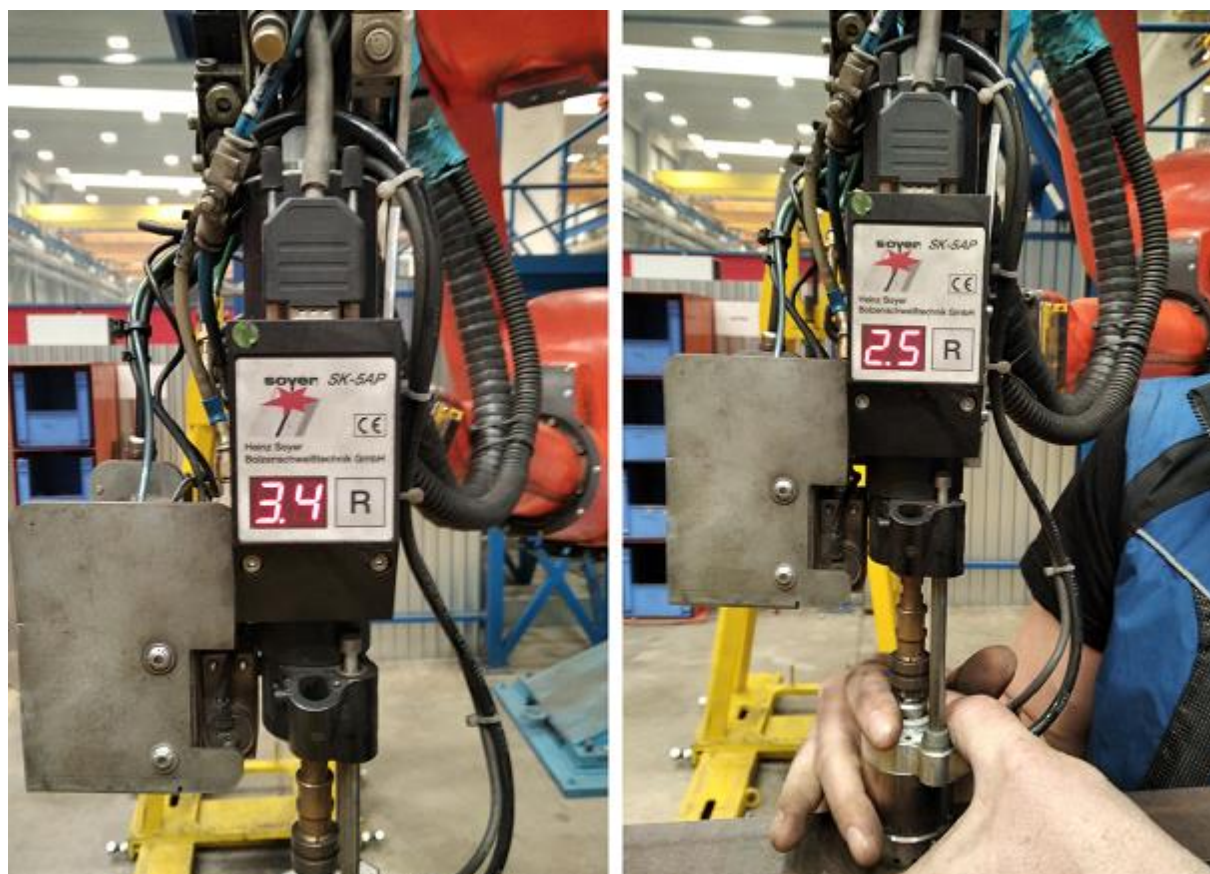


## 16. Hodnoty prvních pěti fundamentálních parametrů během experimentu

V této kapitole budou popsány reálné hodnoty svařovacích parametrů nastavené během experimentu. Budou zde řešena také pozorování některých jejich důsledků a projevů. Teoreticky je o parametrech pohovořeno v kapitole 5.

### 16.1. Vliv hodnoty zanoření na kvalitu svaru

Jedním z parametrů, popsaném v teoretické části, je zanoření svorníku. Během experimentu byly testovány dvě hodnoty zanoření a to 3,4 mm a 2,5 mm, fotografie jsou k vidění na obrázku (Obrázek 50). Zanoření svorníku lze nastavit vzdáleně pomocí počítačové kontroly robota a jeho hlavy, ale lze je provést i manuálně utážením nebo povolením tyče přímo na svařovací hlavě. Během běžného provozu se používá zanoření 2 až 3 milimetry. Při hodnotě vysunutí 3,4 mm byly svary na první pohled nekvalitní, proto se ke změně dalších parametrů nechalo vysunutí na hodnotě 2,5 mm, tedy jakési středové hodnotě odpovídající standardnímu provozu.



Obrázek 50: Zanoření svorníku - test manuálně

#### 16.1.1. Zkoušení hodnoty vysunutí jednoduchým způsobem

Zajímavé je také to, jakým způsobem byla hodnota vysunutí jednoduše testována. Nebylo nutné nechat robot svařovat a vypínat ho v okamžiku přivaření bolznu. Naopak na svařovací hlavu stačilo přitlačit kus plechu, kde jediná nutnost byla, aby byl vodorovný. Toto zkoušení je zachyceno na pravé straně obrázku (Obrázek 50). Předtím, než robot najede na základní materiál

nebo jako v tomto případě bez přiložení kontrolního plechu, je hodnota vyčíslená na displayi svařovací hlavy 0.0. Tento výchozí stav s odpovídající nulovou hodnotou je vidět na fotografii níže (Obrázek 51).

Jiným způsobem, jak zanoření nazvat je přesazení. V nezatiženém stavu čep vypadá jako přesazený ven z hlavy. Když je přitlačen k plechu, je v podstatě zanořen.



Obrázek 51: Hodnota zanoření ve výchozím stavu

## 16.2. Rychlost svařovacího procesu a praktická ukázka jejího vlivu

Svařovací rychlost je jedním ze základních parametrů svařování u všech jeho metod. Pokud je rychlost příliš vysoká, může to vést ke svarové nekvalitě. Jedním ze způsobů, jak svařovací rychlost snížit na vhodnou úroveň, je například u metody MIG/MAG použití silnější elektrody. Silnější elektroda donutí svářeče svařovat nižší rychlostí.

### 16.2.1. Rychlost prakticky

Při robotickém přivařování svorníků jde tento parametr nastavit pomocí ovládacího panelu robota. Byla vyzkoušena vysoká rychlost, kdy svařovací hlava najela k základnímu materiálu, přivařila čep a bez prodlevy hned odjela. Výsledkem bylo, že při odjezdu svařovací hlavy se svorník ze základního materiálu utrhl a zůstal na původním místě v kleštině uvnitř svařovací hlavy. Toto se dělo samozřejmě z důvodu nedostatečného utužení svarového kovu. Při správném provedení svorník ve ztuhlé tavenině zůstane.

### 16.3. Akustické projevy

Během experimentu se zvuk projevil jako ukazatel se značnou vypovídající hodnotou o kvalitě výsledného svaru. Šlo o zvuk vycházející z oblasti svaru v okamžiku přivaření čepu. Podobně jako například při MIG/MAG svařování pomocí pulzu, kde nastává během správného provádění svařování určitý zvuk (připomínající „bzučení“ nízkým tónem), i zde bylo možné zachytit rozdílné zvuky. Pracovníci, kteří u robota pracují denně a nastavovali rozsáhlé programy na jeřábové konstrukce, byli schopni na základě zvuku odhadnout, zda půjde o kvalitní svarový spoj. A to ještě předtím, než hlava robota odjela z místa přivařování a bylo tedy možno kvalitu spoje posoudit vizuálně. Pokud byl slyšet jemný tříštivý zvuk, znamenalo to, že proces probíhá správně.

Zvuk je charakteristika velkého významu a pro srovnání, při klasické svařovací metodě MIG/MAG je svářeč pomocí něj a toho co vidí, schopen nastavit správnou délku oblouku.

### 16.4. Množství plynu

Podobně jako u dalších svařovacích metod, i při robotickém přivařování svorníků, je svarový spoj výrazně ovlivněn množstvím ochranného plynu dodávaného během svařovacího procesu. Během SRM robotického svařování je používán jako ochranný plyn corgon, který je popsán v teoretické kapitole 1.3 - Zdvihové přivařování svorníků.

#### 16.4.1. Praktický vliv množství plynu

Obrázek 52 ukazuje čepy přivařené za použití rozdílného množství ochranného plynu. Vlevo je zobrazen čep přivařený v poloze PA za lehkého nedostatku ochranného plynu. V pravé části je zachycen čep přivařený v poloze PC za velkého nedostatku ochranného plynu. Na čepu vpravo je také možno vidět, že svar stekl směrem dolů, což je dáno právě kombinací polohy PC a nedostatečného množství plynu. Nedostatek plynu má podobný vizuální výsledek, jako nedostatečné očištění povrchu, nebo kontaminace povrchu pomocí různých nátěrů, či nástřiků, tedy vznik oxidického filmu (tenké vrstvy).



Obrázek 52: Vliv množství ochranného plynu

Na čepu umístěném na obrázku (Obrázek 52) vlevo je zřejmá také plastická deformace v horní části čepu. Během experimentu bylo čistě orientačně otestováno, jaký vliv bude mít vícečetný úder kladivem na svarový spoj. Jak obrázek dokazuje, svarový spoj úderů vydržel bez vzniku

lomu, a dokonce i bez vzniku plastické deformace ve formě ohnutí čepu. I když toto samozřejmě nebyla normovaná zkouška, pomohla pro získání určitého náhledu na pevnost spoje.

Dostatečný průtok plynu také příznivě působí na zamezení pórovitosti.

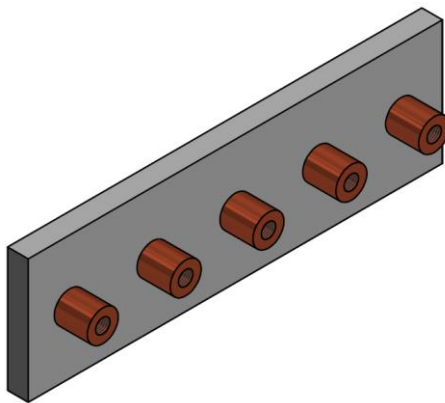
### 16.5. Dostatečná velikost zdvihu pro zapálení oblouku

Zdvih svorníku úzce souvisí se svařovacím napětím, což je zmíněno v kapitole 5.3. Hodnota zdvihu svorníku nebyla během experimentu měněna a byla ponechána na empiricky nalezené vhodné hodnotě. Tato hodnota byla 1,3 mm.

## 17. Testování parametru proud a SRM proud

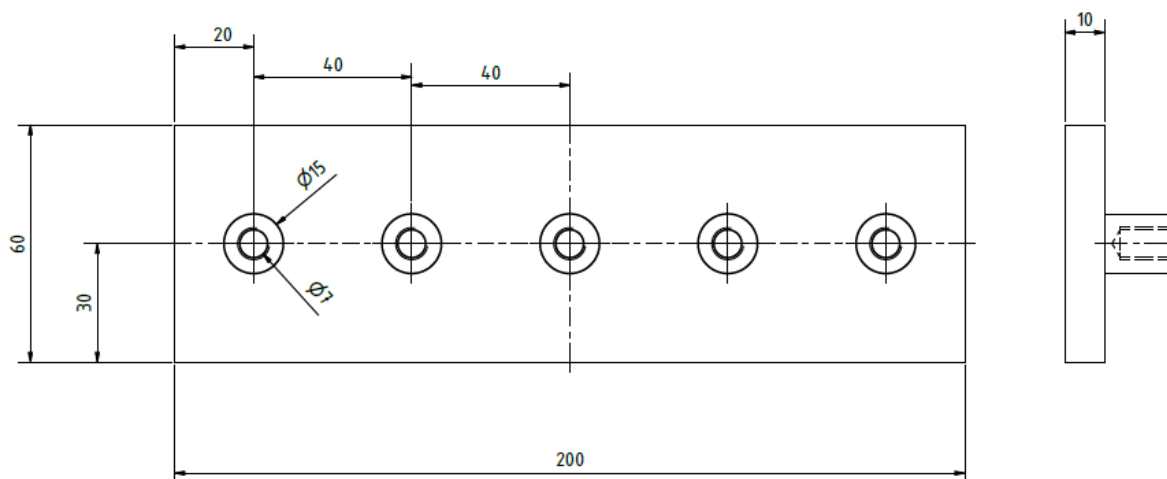
### 17.1. Specifikace vytvořených vzorků

V praktické části bylo přistoupeno k experimentálnímu přivaření 20 kusů svorníků. Norma ČSN EN ISO 14555 udává jako počet svorníků, které musejí být přivařeny při zkoušce postupu svařování pro zdvihové přivařování svorníků o zde použitých parametrech, 17 kusů svorníků. Počtem svorníků by tedy byl tento experiment například pro zkoušku postupu svařování svorníků dostatečný. Jako podkladový materiál byly použity pásy z oceli S690QL o rozměru, který je popsán na přiloženém výkresu (Obrázek 54: Okótovaný výkres vzorku). K dispozici pro názornější ukázkou, před shlédnutím samotných fotek, byl vytvořen i 3D výkres, který je zde také k nahlédnutí (Obrázek 53).



Obrázek 53: 3D výkres vzorku



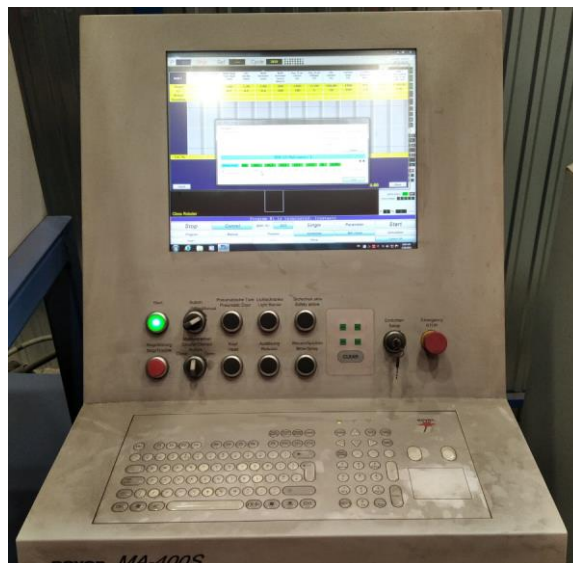


Obrázek 54: Okótovaný výkres vzorku

Byly použity čepy pro robotické přivařování, dle kapitoly 14.4 - Charakteristiky vybraného čepu.

## 17.2. Specifikace použitého robota

Pro přivaření byl napsán testovací program v softwaru Roboplan. Čepy samotné byly přivařeny šestiosým svařovacím robotem QRC - 350 Qirox od společnosti Cloos. Tento robot má maximální nosnost 15 kg, což je dostačující pro udržení SRM svařovací hlavy. Součástí robota je ovládání přes počítačový terminál, jehož fotografie je přiložena (Obrázek 55). Robot může být poměrně nebezpečný, a proto je jeho spuštění podmíněno uvolněním několika pojistných prvků, ve formě tlačítek, klíče a podobně. Vedle terminálu je součástí také takzvané PHG. Tato zkratka se při práci běžně používá a jde o ruční programovací zařízení (v německém originále: Programmierhandgeräte). Pomocí něj lze robot nastavovat a programovat přímo na pracovišti. Jde tedy o „online“ programování, narozdíl od programování rozebíraného v kapitole 4.3. Fotografie používaného PHG je přiložena jako Obrázek 56. Hmotnost tohoto robota činí 235 kg, což je důležitý parametr při dimenzování uchycení robota a objektu, na kterém bude umístěn (stojan, portál). Robot je napájen z třífázového systému. V průmyslu je tento typ systému pro distribuci elektrické energie obvyklý a hodnota napětím je zde 400 V.



Obrázek 55: Počítačový terminál robota



Obrázek 56: PHG

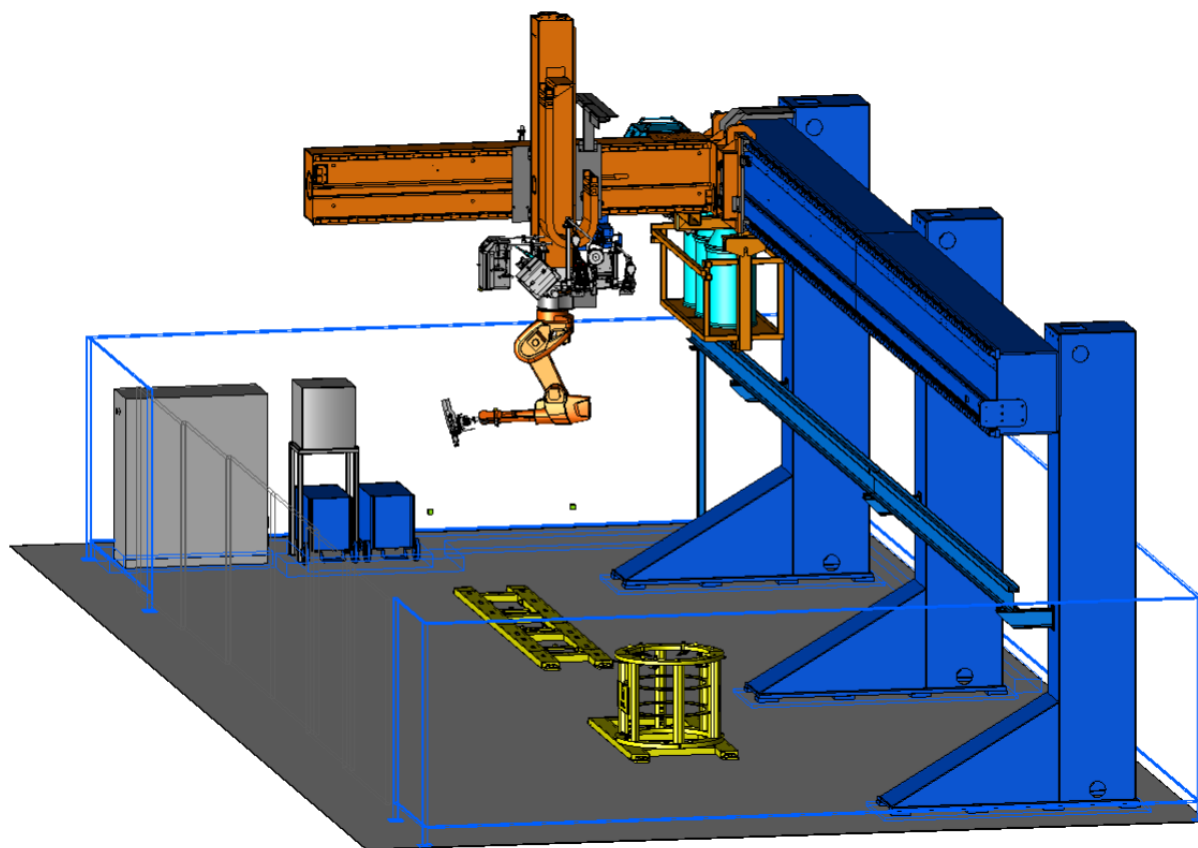
### 17.3. Robotické pracoviště v reálné výrobě

Pracoviště s robotem je od ostatní výroby odděleno pomocí plechových stěn z důvodu zachování bezpečnostních podmínek. Robot mimo to, že se sám pohybuje v šesti osách, jezdí po portálu, což mu umožňuje se pohybovat podél svařovaného jeřábu. To je výhodné proto, že se omezí četnost nezbytné manipulace s výrobkem. Jak vypadá toto pracoviště během běžné výroby s umístěným svařencem jeřábu zachycuje následující fotografie (Obrázek 57). Na tomto obrázku je také dobře vidět modrý portál robota a žluté svařovací přípravky, na nichž je svařelec usazen. Další věcí, jež je z tohoto obrázku patrná je, že jeřábové rámy jsou velice masivní, i při použití jemnozrných vysoko pevných ocelí. Hmotnost těchto konstrukcí při použití méně pokročilých ocelí by byla ještě výrazně vyšší, což by nebylo pro reálné užívání vhodné.



Obrázek 57: Pracoviště robota na přivařování čepů

Na přiloženém screenshotu (Obrázek 58) je k nahlédnutí model robota a pracoviště. Takto jsou zobrazeny v základním softwaru – Roboplánu. Tento model odpovídá přímo pracovišti, na kterém bylo prováděno praktické experimentální přivaření čepů a reálně je zobrazuje předchozí fotografie (Obrázek 57).



Obrázek 58: Model robota a robotického pracoviště

## 17.4. Ochranný plyn Corgon 18

Použitým ochranným plynem, během praktického experimentu, byl Corgon 18 popisovaný v kapitole 1.3.. Průtok plynu vycházel z platné WPS (Obrázek 37). Byl tedy nastaven na 15 litrů za minutu.

Obecně lze konstatovat, že ve strojírenských firmách je snaha zlepšovat výrobní procesy zkoušením a experimentováním. Z hlediska plynu bylo i použití a výběr Corgonu 18 samozřejmě věcí, jež vyšla z takovýchto testů nejlépe. V minulosti se prokázalo, že použití nejrozšířenějšího typu corgonu, je také nejvhodnější. Pokaždé ale nejběžnější druh nemusí být nutně tím nejlepším. Příklad dalšího plynu, který byl testován a ukázal se jako nevhodný, je na přiložené fotografii (Obrázek 59).



Obrázek 59: Plyn prokázáný jako nevhodný

## 17.5. Svařovací polohy zvolené pro tento experiment

Pro provedení experimentu byly vybrány dvě svařovací polohy. Za první byla zvolena poloha PA, tedy vodorovně shora. Jako druhá svařovací poloha byla zadána poloha PC, poloha vodorovná.

Při ručním svařování se většinou klade důraz na to, aby byly všechny svary zavařeny právě v poloze PA u tupého svaru, případně v poloze PB (šikmo shora) u koutového svaru. Příčinou této tendence je, že svar se v těchto nejjednodušších polohách lépe svařuje, dá se lépe řídit svarová lázeň a lépe se zde pracuje i s gravitací. Právě gravitace má totiž velký vliv na průběh a výsledek svařování. V náročnějších polohách může vlivem gravitace dojít k vyboulení svaru nebo případně k odtečení svarového kovu. Toto nedostatečné množství svarového kovu se poté projeví formou zápalu, tedy určitým zásahem do povrchu materiálu ve formě vrubu.

Svařované výrobky jsou ale často hodně složité a situace, kdy jsou všechny svary pouze z jedné strany výrobku nastanou jen velmi zřídka. V praxi je tedy nutné výrobek otáčet. Drobné svařence lze otáčet ručně. Masivnější svařence, jako například právě jeřábové konstrukce je nutné otáčet pomocí mechanizace. Hlavními zástupci jsou zde halové kolejové jeřáby a různá polohovadla. Polohovadla mohou být velice výhodná. Například může nastat a nastávají situace, že svářeč, tedy vysoce kvalifikovaný pracovník, stráví polovinu pracovní doby upínáním svařence na háky jeřábu a jeho otáčením. Přichází tak v úvahu vybrat některé z polohovadel, ať už

otočných, nebo i kloubových, kterých je na trhu přípravků celá řada. Velké svařence vyžadují velká masivní polohovadla, která jsou nákladná (statisíce €), proto investice do nich nemusí být vždy v reálné výrobě to nejvhodnější řešení.

Podobně je tomu u svařování robotem. Při přivařování čepů se běžně volí poloha PA, po pravidelné dlouhodobé optimalizaci („odlazení“) lze dosáhnout dobrých výsledků i v poloze PC. Poloha PC byla zde v rámci experimentu také testována.

## **17.6. Příprava svařování předcházející samotné přivaření čepů**

Před samotným přivařením a svařováním obecně je nutné provést několik činností, které jsem zde označil jako přípravu. Dalo by se konstatovat, že pro toto svařování bylo nutné navrhnout řadu podmínek od základu. Svařovaný vzorek byl znatelně menší než jeřábová konstrukce, na kterou jsou čepy přivařovány běžně. Jeřábová konstrukce odvádí teplo ze svařování mnohem intenzivněji než ocelový pás malých rozměrů. Dále se ukázalo jako významný parametr ovlivňující výsledek svařování také ukostření (uzemnění) podkladového materiálu.

### **17.6.1. Problém uzemnění**

Pás plechu byl upnut na svařovací přípravek (kozou), která byla shodou okolností navržena v minulých letech mnou a běžně slouží k podepření svařence jeřábu do vodorovné polohy. Poté byl plech v jednom místě ukostřen pomocí magnetické kostry, jak je patrné na obrázku (Obrázek 60). Tento způsob ukostření se neukázal jako vhodný. Docházelo k výraznému foukání oblouku a vyboulení svaru přesně dle teoretického obrázku „vlivu ukostření na foukání oblouku“ (Obrázek 18). Byly tedy použity dvě kostry místo jedné, za účelem usměrnění elektrického proudu procházejícího svařencem. Přesto, že se tím problém vyboulení svaru zlepšil, ani po umístění koster na různá místa nebylo dosaženo uspokojivého výsledku. Kostry byly při tomto zkoušení umístěny na podkladový plech a dále také na samotný přípravek, na němž byl pás plechu upnut. Broušením byl odstraněn lak z míst upnutí koster na přípravku. Po více různých kombinacích na různých místech přípravku se kvalita svaru ani zdaleka nepřiblížila běžné kvalitě při prováděném robotickém přivařování. Vliv měla optimalizace vysunutí čepu, ale evidentně nešlo o hlavní problém, který by způsoboval zhoršenou kvalitu svaru.





Obrázek 60: Uchycení a ukostření

### 17.6.2. Řešení problematického uzemnění

Z diskuse možných příčin vzešel návrh zkusit pás plechu upnout na jeřáb, vzhledem k tomu, že na něm přivařené čepy dosahovaly dobré kvality. Tento návrh se ukázal jako správný. Po upnutí plechu na samotnou jeřábovou konstrukci bylo dosaženo lepší kvality svarových spojů s menším rozstříkem a vyboulením než při použití přípravku. Příčinou zlepšení byl lepší odvod tepla a rovnoměrnější uzemnění elektrického oblouku.

Během provádění experimentu bylo také možno nahlédnout, jak je navrženo uzemnění pro běžné provozní svařování jeřábových konstrukcí. Reálně je na uzemnění konstrukce použito více koster, v případě svařence autojeřábu jich lze na svařenec připojit i deset. Jde zde o odvod velkých proudových hustot, kabely jsou tedy opět poměrně masivní, jako je při svařování obvyklé.

### 17.6.3. Nebezpečí úrazu elektrickým proudem

Během diskuse ohledně uzemnění během svařování bylo zmíněno poměrně zajímavé dřívější pozorování pracovníků u svařovacího robota. Během svařovacích operací, bylo nezáměrně zjištěno, že v některých případech stačil pro dostatečný odvod svařovacího proudu sám přípravek. Na něm umístěná svařovaná konstrukce svedla proud do něj a z přípravku byl poté proud uzemněn. S metodou SRM a pro ni typickou vysokou hodnotu elektrického proudu po krátkou dobu souviselo také další zajímavé pozorování obsluhy svařovacího robota. Obrázek 61 zobrazuje část svodu uzemnění. Během procesu svařování robotem nesmí být v prostoru robota přítomný žádný člověk a oblast se uzavírá. V minulosti nastala situace, kdy byla opomenuta bedna

s náradím na svodu (Obrázek 61). Pozorováním průběhu svařování z vnějšku bylo zachyceno, jak po spuštění SRM programu, tato bedna na svodu vyskočila do vzduchu právě v okamžiku přivařování bolznu. Z tohoto lze vyvodit, že je třeba dbát vysoké opatrnosti a základů BOZP.

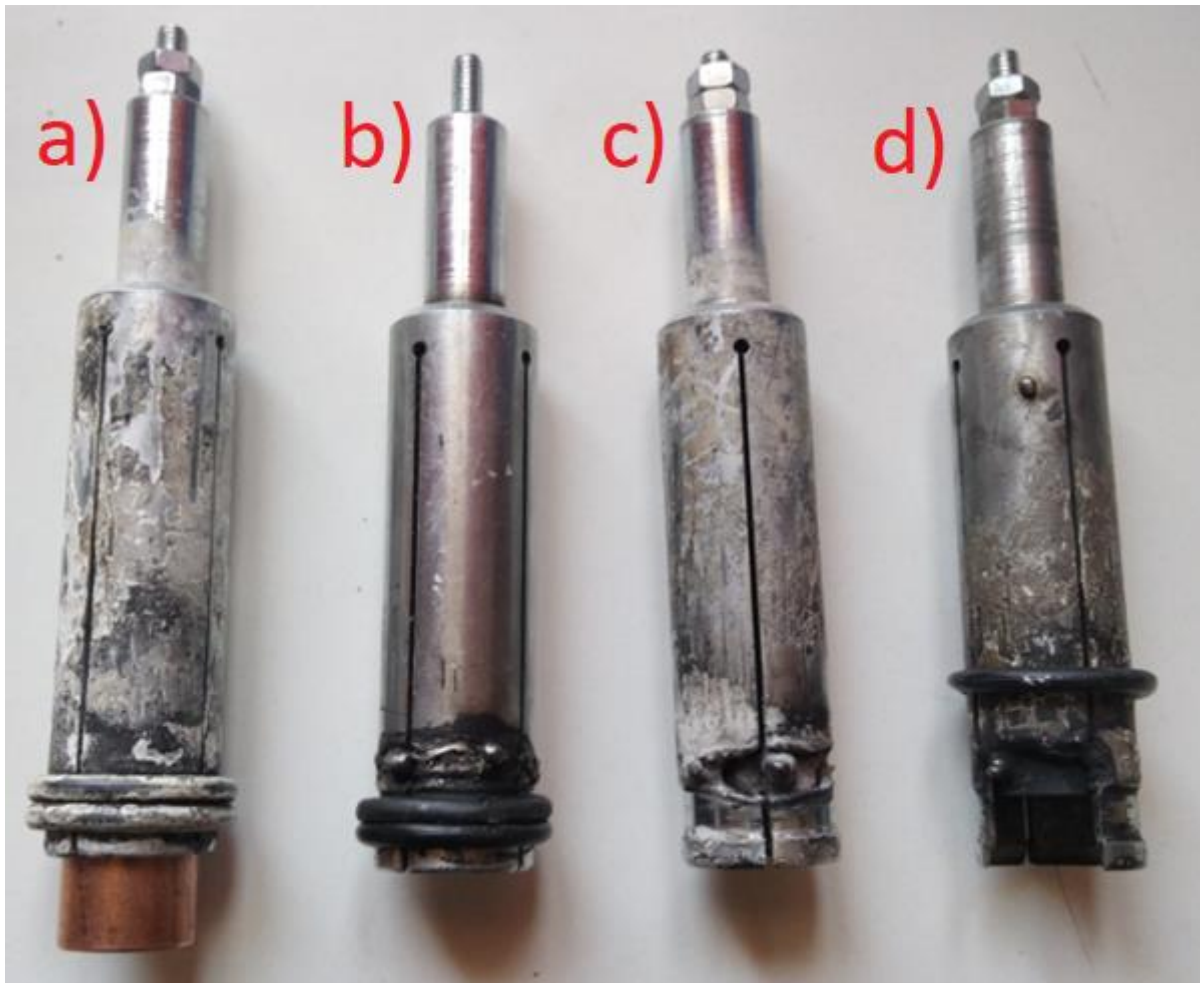


Obrázek 61: Svod uzemnění

### 17.7. Kleštiny a keramický sprej

Čep (svorník) je při přivařování uvnitř svařovací hlavy upnut v kleštině. Demontovanou kleštinu se svorníkem lze vidět na obrázku (Obrázek 62 – a)). Na kleštině a) je zřetelně vidět bílá vrstva – povlak. Jde o povlak keramického spreje. Během robotického i ručního svařování dochází k rozstříku a tento keramický povlak po nanesení na svařovací hořák (zde svařovací hlava) právě ulpívání rozstříku zabraňuje. Rozstřík je obecně vada, která se většinou z podkladového materiálu odstraňuje pneumatickým sekáčem. V případě hořáku a hlavy jde ale o poměrně velký problém, který po čase povede až k jejich destrukci.

Degradace je dobře vidět na obrázku (Obrázek 62). Rozstříknuté svarové kapky postupně propojí kleštinu s hlavou a vlivem toku proudu dojde k jejímu propálení, případně utavení její části. Propálená kleština je vidět v části obrázku 62 – b) a c), kleština s již odlomenou částí je na obrázku 59 označena jako c). Prakticky se tak jejich životnost prodlužuje právě nanesením keramického spreje. Možný keramický a zároveň zde aplikovaný sprej je vyfocen na obrázku (Obrázek 63).



Obrázek 62: Kleštiny

Na obrázku (Obrázek 62) jsou také vidět černé gumičky. Ty stahují části kleštiny po vložení čepu k sobě, což čep v kleštině zafixuje. Poté co je svar proveden, je hlava odtažena, a gumička se roztáhne. Právě zde může nastat situace zmíněná v kapitole 16.2, při které může upínací síla gumy překonat upínací sílu svarového spoje.





Obrázek 63: Keramický sprej

## 18. Průběh svařování – Praktické přivaření čepů

Samotný průběh svařování byl po nastavení vhodných okrajových podmínek, jako uzemnění či úprava povrchu, již jednoduchou záležitostí. Program robota již byl také napsán, proto stačilo zkontrolovat, zda jsou v zásobníku čepy a vzorky svařit. Poté byl program, a tím i robot spuštěn od počítačového terminálu (ovládacího panelu). Předtím ještě bylo nutné robotem, resp. rame-nem robota najet do základní výchozí pozice, pro niž byl program definován. Robot poté sám čepy přivařil, jinými slovy přivařil. Vždy po přivaření jedné série o 5 čepch se pás plechu vyměnil. Přičemž 2 pásy plechu byly ukotveny vodorovně (PA) a 2 svisle (PC). Tento proces vyhotovení svarů samotných již byl tedy rychlou záležitostí, čemuž odpovídá i termín nastře-lování. Procentuálně lze konstatovat, že věci spojené s přípravou, jako nařezání plechů, úprava povrchu, nastavení vhodných dílčích parametrů robota, jako například zanoření, vhodné upnutí koster a tvorba programu zabraly zhruba 99 % celkového času. Samotné přivaření poté trvalo jen cca 1% celkového času, věnovaného tomu, aby byly vytvořeny svorníkové svarové spoje pomocí robota.

## 19. Vizuální testování zhotovených svarových spojů

### 19.1. Vizuální kontrola

Vizuální kontrola se používá pro hodnocení tvarové pravidelnosti a velikosti výronku. Dalším hodnoceným parametrem je úhel svorníku se základním materiálem. Dle normy ČSN EN ISO 14555 musejí být vizuálně kontrolovány všechny provedené svary. Záležitost, kterou norma přímo nedefinuje, ale může vést ke zlepšení výroby je typy a četnost vad zaznamenávat. V řadě výrobních závodů není nutné, ani na místě, zavádět například japonské metody řízení kvality typu Kaizen a 5S. Výrazně funkčnější může být zavedení například tohoto jednoduchého sepi-sování vad.

## 19.2. Experimentální hodnoty u vzorků

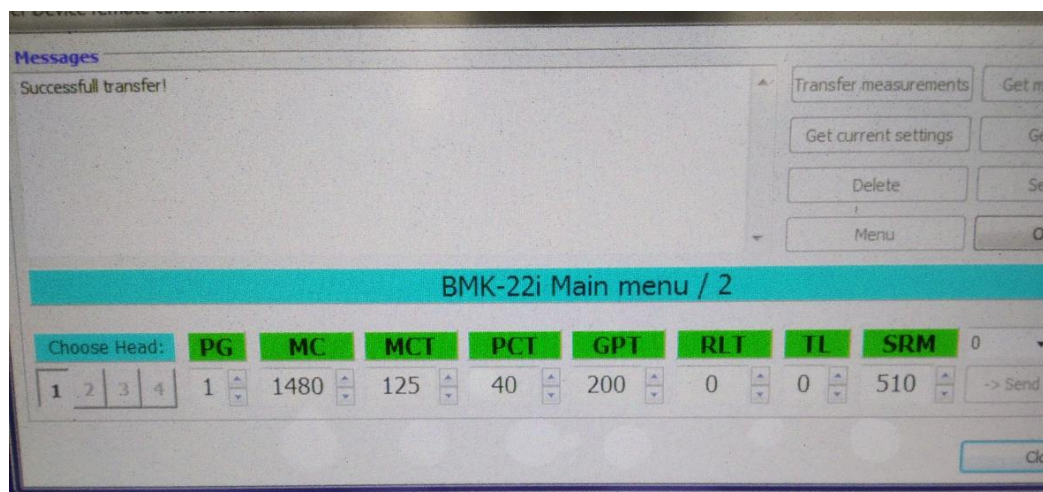
Během experimentu byly svařeny čtyři zkušební vzorky, každý s pěti čepy. Lišily se ve svařovacích polohách (PA, PB) a v optimalizovaných svařovacích parametrech. Těmito parametry byly, vedle ostatních dílčích optimalizovaných parametrů popisovaných v této kapitole, svařovací proud a SRM proud. Vzorky byly označeny a očíslovány a jejich soupis ukazuje Tabulka 3. Z této tabulky je patrné, že bylo testováno pět různých hodnot proudů ve dvou polohách za účelem zjištění, které jejich nastavení dosahuje nejlepších výsledků.

<i>Poloha</i>	<i>Parametr</i>	<i>Vzorek č.</i>				
<b>PA</b>		<b>1a</b>	<b>1b</b>	<b>1c</b>	<b>1d</b>	<b>1e</b>
	<b>Proud [A]</b>	1480	1540	1600	1660	1720
	<b>SRM [mA]</b>	510	510	510	510	510
<b>PA</b>		<b>2a</b>	<b>2b</b>	<b>2c</b>	<b>2d</b>	<b>2e</b>
	<b>Proud [A]</b>	1600	1600	1600	1600	1600
	<b>SRM [mA]</b>	420	465	510	555	600
<b>PC</b>		<b>3a</b>	<b>3b</b>	<b>3c</b>	<b>3d</b>	<b>3e</b>
	<b>Proud [A]</b>	1720	1660	1600	1540	1480
	<b>SRM [mA]</b>	510	510	510	510	510
<b>PC</b>		<b>4a</b>	<b>4b</b>	<b>4c</b>	<b>4d</b>	<b>4e</b>
	<b>Proud [A]</b>	1600	1600	1600	1600	1600
	<b>SRM [mA]</b>	600	555	510	465	420

Tabulka 3: Testované parametry

## 19.3. Ovladač robota

Pro kompletnost je přiložen snímek ovládacího rozhraní (Obrázek 64). Byl pořízen při vyhotovení prvního vzorku (1a). Proud je označen jako MC a SRM proud jako SRM. Zajímavá je také hodnota MCT, což je pomocný proud, který se při svařování svorníků využívá před vzplacením hlavního oblouku, tedy během zdvihu.



Obrázek 64: Ovládací rozhraní

## 19.4. Vyhodnocení vizuální kontroly

Vyhodnocení vizuální kontroly bylo provedeno dle normy ČSN EN ISO 14555. Nejprve budou vypsané jednotlivé vzorky a vyhodnocena jejich kvalita. Zároveň budou u některých popsány možné souvislosti, vycházející z toho, při jakých svařovacích parametrech byly konkrétní vzorky zhotoveny.

### 19.4.1. Vzorky 1a, 1d, 2e

Nejvyšší jakosti dosahují vzorky **1a**, **1d**, **2e** zobrazené na přiložených obrázcích (Obrázek 65, Obrázek 68). Výronek je u nich pravidelný, lesklý a uzavřený. Hodnocené jsou jako vyhovují a nejsou doporučena žádná opatření k opravě.



Obrázek 65: Čepy 1a, 1b vizuálně. Poloha PA – optimalizace proudu

### 19.4.2. Vzorek 1b

U vzorku 1b z předchozí fotografie (Obrázek 65) je dobře zřetelné vyboulení svaru. V ostatních směrech je ale svar kvalitní a pravidelný. Norma vyboulení jako vadu nutnou odstranit nespécifikuje. Z tohoto důvodu lze použít stejné hodnocení jako pro vzorky **1d** a **2e**.

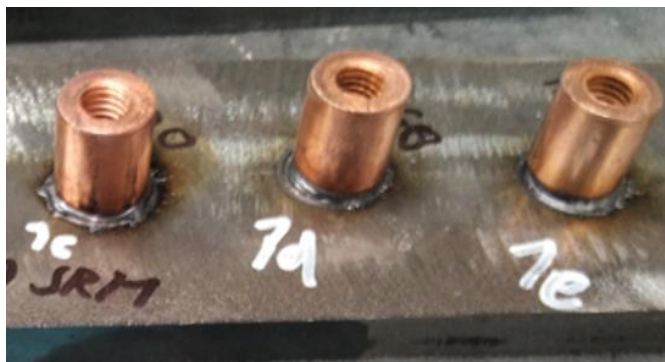
### 19.4.3. Vzorek 1e

Obrázek 66 ukazuje vzorek **1e**, jeví se na první pohled jako bezvadný. Po jeho levé straně je ale patrné zúžení svaru, které se projeví jako vrub. Typickým důvodem jeho vzniku bývá

nedostatečné zanoření. Vzhledem k tomu, že zanoření bylo pro všechny vzorky konstantní, půjde o výsledek spolupůsobení konkrétních hodnot svařovacího a SRM proudu při výrobě tohoto vzorku.

#### 19.4.4. Vzorky 1c a 2c

Vzorky **1c** (Obrázek 66) a **2c** (Obrázek 67) oba shodně ukazují menší rozstřík. Je u nich také přítomna určitá tvarová nepravidelnost. Důvodem rozstříku může být dle normy příliš velký svařovací výkon nebo příliš vysoká rychlost zanoření. Kombinace  $I=1600$  [A] a  $SRM=510$  [A] působila tyto vady při svařování v poloze PA. Pokud se měnily ostatní parametry, tedy buď proud nebo SRM, došlo ke zlepšení, a to jak při jejich snížení, tak při jejich zvýšení. Právě tyto hodnoty jsou na robota při výrobě nastaveny běžně. Možnou příčinou je opotřebení, případně „únava“ komponent zařízení pro tyto konkrétní hodnoty.



Obrázek 66: Čepy 1c, 1d, 1e vizuálně Poloha PA – optimalizace proudu

#### 19.4.5. Vzorky 2a a 2b

Vzorky **2a** a **2b** jsou, jak je zřejmé z obrázku (Obrázek 67), podobné jako vzorky **1a**, **1d**, **2e**. Jejich kvalita je o něco nižší, ale stále spadají do kategorie svarů, které není třeba opravovat. Pokud by ze strany zákazníka v tomto případě nebyl požadavek na zvýšení kvality, mohly by parametry zůstat nastavené na těchto hodnotách.



Obrázek 67: Čepy 2a, 2b, 2c vizuálně. Poloha PA – optimalizace SRM

#### 19.4.6. Vzorky 2d a 2e

Vzorky **2d** a **2e** jsou dle vizuálního testování nejkvalitnější svary, které se během tohoto experimentu podařilo vyprodukovat. Zachycuje je Obrázek 68.





Obrázek 68: Čepy 2d, 2e vizuálně. Poloha PA – optimalizace SRM

#### 19.4.7. Vzorky 3a, 3b, 3c, 3d

Vzorky **3a, 3b, 3c** a **3d**, z fotografií Obrázek 69 a Obrázek 70, mají téměř totožnou kvalitu a zároveň dosahují nejvyšší jakosti ze všech vzorků, svařených v poloze PC. Pro jejich připuštění by stačilo drobné obroušení jejich rozstříku.



Obrázek 69: Čepy 3a, 3b, 3c vizuálně Poloha PC – optimalizace proudu



Obrázek 70: Čepy 3d, 3e vizuálně Poloha PC – optimalizace proudu

#### 19.4.8. Vzorky 3e, 4a, 4b, 4c, 4d, 4e

Na druhou stranu u všech zbylých vzorků svařených v poloze PC (**3e, 4a, 4b, 4c, 4d, 4e** - Obrázek 71 a Obrázek 72) je přítomný výrazný rozstřík. Dle normy ČSN EN ISO 14555 by možným řešením na eliminaci tohoto rozstříku bylo snížit svařovací proud, případně svařovací dobu (svařovací čas). Jako reálný důvod vzniku rozstříku se dle této normy zdá být i možná, příliš vysoká, rychlost zanoření.



Obrázek 71: Čepy 4a, 4b, 4c vizuálně. Poloha PC – optimalizace SRM



Obrázek 72: Čepy 4d, 4e vizuálně. Poloha PC – optimalizace SRM

Tato úvaha vychází zřejmě z toho, že když natavený svorník narazí do základního materiálu příliš vysokou rychlostí vzniklý ráz taveninu rozstříkne do okolí. Rozstřík bude v radiálním směru od osy čepu, jak je nejlépe vidět na vzorcích **3e** a **4b** a jeden typický radiální paprsek rozstříku také na vzorku **4a**.

Povzbuzující je skutečnost, že jiné vady přítomny nebyly. Což bylo vzhledem k jinému rozměru základního materiálu (páso plechu), než jaký je běžně používán a odzkoušen, poměrně překvapivé. Po optimalizaci uzemnění, jak je popsáno v kapitole 17.6 – „Příprava“ bylo eliminováno foukání oblouku a tím i možná vada vyboulení svaru. Teoreticky lze vyboulení svaru u svorníkového svařování lépe definovat jako „výronek mimo střed“. Póry pouhým okem viditelné nebyly na žádném ze vzorků, lze tedy konstatovat, že povrch základního materiálu byl dostatečně očištěný a ochranný plyn byl zvolen vhodně a protékal v dostatečném množství.

## 20. Makroskopická zkouška

Zkouška makrostruktury slouží pro hodnocení tvaru a hloubky závaru (průvaru). Využívá se také na hodnocení možných vad svaru, jako například póry a nedostatek svarového kovu po obvodu svaru. Takový nedostatek působí vrubovým účinkem. Důležitou skutečností definovanou normou ČSN EN ISO 14555 je, že póry o průměru do 0,5 mm se zanedbávají, pokud jejich součet nepřesahuje stanovené maximum pro plochu svorníku. Celková plocha vad nesmí



překročit 5% plochy svorníku, pokud má výrobek odpovídat normě ISO 3834-2, tedy vyšší požadavky na jakost. [7]

O tvorbě maker hovoří norma ČSN EN ISO 17639 – „*Destruktivní zkoušky svarů kovových materiálů - Makroskopická a mikroskopická kontrola svarů*“.

## 20.1. Příprava vzorků

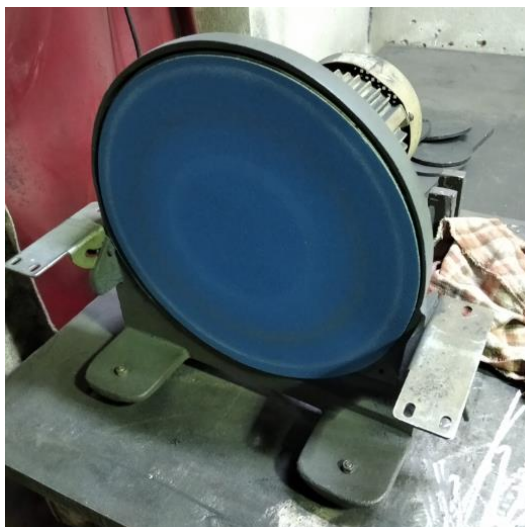
Samotnému vyhodnocení makrostruktury vzorku předchází příprava. Kvalita provedení přípravy má velký dopad na to, jakou jakost budou mít výsledné snímky makrostruktury. Příprava se skládá ze třech základních kroků, a to z nařezání, broušení a leptání.

### 20.1.1. Praktické nařezání dvaceti vzorků na pásové pile

Pásky plechů byly rozděleny na jednotlivé vzorky pomocí pásové pily. To bylo vyhodnoceno jako nejproduktivnější možný způsob, pro tento účel. Řezy byly provedeny kolmo na čelo každého čepu, podél jeho osy, jak odpovídá požadavkům normy ČSN EN ISO 14 555. Bylo tedy vyhotoveno celkem dvacet řezů. Drobnou komplikací, která se při řezání vyskytla bylo, že krajní části vzorku nebylo možné do pily upnout. Šlo o první, respektive poslední část vzorku ve vzdálenosti 20 mm od kraje, dle přiloženého výkresu (Obrázek 54). Dvacet milimetrů bylo příliš málo vzhledem ke konstrukci pily, která vyžadovala minimálně 30 mm široký vzorek. Řešením bylo přivařit k okrajům drobné nástavce. Tyto nástavce byly přivařeny profesionálním svářečem, vzhledem k tomu, že bylo žádoucí, aby byl svar proveden rychle. Žádoucí to bylo s ohledem na jinak možný vznik příliš velké tepelně ovlivněné oblasti, jež by zasahovala až do svarů, které byly objektem zkoušení.

### 20.1.2. Broušení vzorků na stolní talířové brusce

Pro broušení vzorků byla použita talířová bruska zachycená na přiloženém obrázku (Obrázek 73). Byly použity dva papíry z SiC (karbidu křemíku). První o zrnitosti 500 a druhý o zrnitosti 1000. Ve srovnání se vzorky, připravovanými během studia na pozorování mikrostruktury, je příprava vzorků pro pozorování makrostruktury svarů výrazně jednodušší, co se týče požadované kvality a rovněž co se týče produktivity. Vzorky makrostruktury se ale ve výrobních závodech testují pravidelně a ve velkém objemu, což je ve finále také značně časově náročné. Za zmínku by stálo, že během broušení vzorků vznikalo velké množství tepla a v několika případech nebylo možné vzorek zbrousit najednou. Musela se aplikovat určitá časová prodleva na ochladnutí vzorků, které nebylo možné držet ani v rukavicích.



Obrázek 73: Použitá stolní taliřová bruska

### 20.1.3. Leptání vzorků v kyselině

Vzorky byly leptány v roztoku kyseliny dusičné. Byla použita kyselina dusičná o koncentraci 65% a ta byla následně rozředěna vodou v poměru 1:6 (kyselina : H<sub>2</sub>O). Vzorky byly v tomto roztoku drženy na základě rady kolegy po dobu čtyř sekund. Povrch byl poté pro pozorování makrostruktury dostatečně naleptaný. U některých vzorků ale nastaly při tomto kroku komplikace - „mapy“ na naleptaném povrchu. Tyto mapy vznikaly z důvodu pomalého chladnutí, vzhledem k nízké teplotě v místnosti, kde byly vzorky připravovány. Řešením by mohlo být například klasické použití fěnu. Ten ale k dispozici nebyl a ukázalo se proto jako vhodné řešení vzorek leptat ihned po broušení. Jak bylo zmíněno, broušení ohřálo vzorek na vysokou teplotu. Pokud tedy leptání následovalo bezprostředně po něm, kyselina se rychle odpařila, bez vzniku nežádoucích map.

Samotný proces leptání nebyl proveden jen dvacetkrát. Vzhledem k tomu, že se v podstatě žádný vzorek nepovedl na první pokus, byly všechny leptány minimálně dvakrát.



Obrázek 74: Vzorky před leptáním a použitá kyselina dusičná

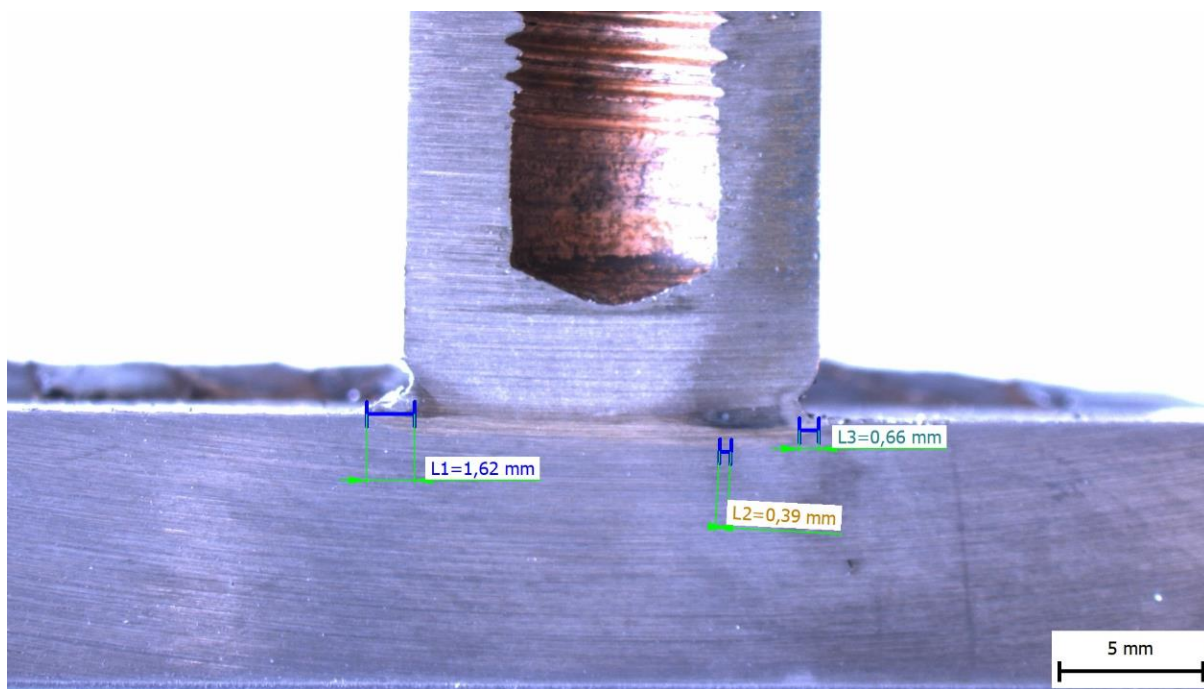
## 20.2. Vyhodnocení makrostruktury

V této kapitole budou vyhodnoceny snímky makrostruktury, zhotovené během realizace této diplomové práce. Jako první je přiložen snímek vzorku **1a** (Obrázek 75). Ostatní snímky budou z důvodu jejich objemu k dispozici v příloze.

### 20.2.1. Vzorek 1a

Na vzorku **1a** (Obrázek 75) je patrný vrub po obvodu svaru. Tento vrub lze také označit jako podříznutí. Během vizuálního testování tato vada nebyla odhalena. Důvodem vzniku zúžení svaru tohoto typu je nedostatečné zanoření, jak bylo popsáno v teoretické kapitole 5.2. Na svaru je patrný také pór o velikosti 0,39 mm, tedy zanedbatelný. Na snímku je rovněž vidět, že hloubka závaru je minimální, což odpovídá vlastnostem metody SRM. Podříznutí (undercut) je zde větší, než přípustných 5% z celkové šířky svaru, definované dle normy EN ISO 14 555. Z tohoto důvodu, pokud by v praxi takovýto vzorek obstál ve vizuální kontrole, ale byl poté ještě testován na makrostrukturu, nebyl by dle zmíněné normy vyhodnocen jako přípustný.

Na přiloženém snímku (Obrázek 75) je rovněž patrný jakýsi horizont v pozadí. Tím je právě onen dříve zmiňovaný pomocný svar, kterým byl přivařen nástavec pro upnutí do pásové pily.



Obrázek 75: Makrostruktura vzorku 1a - nevyhovuje

### 20.2.2. Vzorek 1b

Vzorek **1b** je k nahlédnutí jako Příloha 2. Je na něm patrný oboustranný vrub. Dle normy EN ISO 14 555 je takovýto svar nepřipustný. Přípustné je totiž jen jednostranné podříznutí svaru patrné na makro snímku, a to ještě jen do velikost 5% šířky svaru.

### 20.2.3. Vzorek 1c

Vzorek **1c**, dostupný jako Příloha 3, je poměrně netypický. Na jedné straně má téměř ideální vzhled a na druhé straně pro metodu SRM poměrně neobvykle velké vyboulení. Vzorek tímto celkově působí výrazně nesymetricky, ale dle normy je přípustný.

### 20.2.4. Vzorek 1d

Vzorek **1d**, který je dostupný jako Příloha 4 obsahuje více typů vad. Na vzorku byly identifikovány tři póry zanedbatelné velikosti, které jsou označeny na snímku. Póry této velikosti jsou přípusté. Co je ale problematické je opět oboustranně nedostatečně velký svar. Vzorek by byl dle normy nepřípustný.

### 20.2.5. Vzorek 1e

Vzorek **1e** je dostupný jako Příloha 5. Na tomto vzorku je dobře vidět tepelně ovlivněná oblast (TOO). Tento snímek dobře ukazuje, jak TOO pro metodu SRM vypadá. Je rovnoměrná a malého rozměru. Symetričnost vzorku je výborná. Problém je opět nedostatečně velký svar, který dle normy ISO 14 555 nevyhovuje.

### 20.2.6. Vzorek 2a

Vzorek **2a**, dostupný jako Příloha 6, ukazuje jak by měl svar správně vypadat. Je zde dostatečné množství svarového kovu po obou stranách čepu. Dále nejsou přítomny žádné vady, jako například póry. Tepelně ovlivněná oblast je minimální, což je rovněž žádoucí a je jedním z důvodů aplikace metody SRM. Vzorek dle normy vyhovuje.

### 20.2.7. Vzorek 2b

Vzorek **2b** je dostupný jako Příloha 7. Byly nalezeny 2 póry, ale nepřekračují, dle normy definovaných 20% velikosti šířky svaru. Vzorek je tedy přípustný.

### 20.2.8. Vzorek 2c

Vzorek **2c** je dostupný jako Příloha 8. Situace je zde stejná jako u předchozího vzorku 2b. Vzorek je přípustný.

### 20.2.9. Vzorek 2d

Vzorek **2d** je dostupný jako Příloha 9. Jde o kvalitní vzorek s vadou přípustné velikosti na levé straně svaru.

### 20.2.10. Vzorek 2e

Vzorek **2e** je dostupný jako Příloha 10. Obsahuje na pravé straně 2 póry, které byly hodnoceny dohromady jako jeden velký. Na levé straně obsahuje další pór. Celkově je ale tento vzorek jinak bezvadný. Vzhledem k tomu, že součet délky pórů je menší, než 20% šířky svaru, vzorek je dle příslušné normy přípustný.

### 20.2.11. Vzorek 3a

Vzorek **3a** je dostupný jako Příloha 11. Na levé straně je vidět podříznutí, čili nedostatečně velký svar. Vzhledem k jeho velikosti menší než 5% šířky svaru a také tomu, že se nachází jen na jedné straně vzorku, je přípustné. Rovněž lze na pravé straně svaru spatřit pór menší, než 0,5 mm. Vzorek je dle příslušné normy přípustný.

#### **20.2.12. Vzorek 3b**

Vzorek **3b** je dostupný jako Příloha 12. Vzorek obsahuje výrazné podříznutí po levé straně a také shluk pórů přesahující hranici přípustnosti. Vzorek tedy nelze považovat za nepřipustný.

#### **20.2.13. Vzorek 3c**

Vzorek **3c** je dostupný jako Příloha 13. Artefakt na levé straně čepu vypadá jako vměstek, ale je to pouze kontaminace, vzniklá během broušení. Svar je bezvadný a tedy přípustný.

#### **20.2.14. Vzorek 3d**

Vzorek **3d** je dostupný jako Příloha 14. Jsou na něm přítomny drobné póry na pravé straně. Velikostí nepřekračují hranici nepřipustnosti. Jiné vady, jako například podříznutí, na vzorku nejsou, je tedy přípustný.

#### **20.2.15. Vzorek 3e**

Vzorek **3e** je dostupný jako Příloha 15. Na snímku je dobře patrný jeden, poměrně velký pór, v pravé oblasti svaru. Vzorek vyhovuje.

#### **20.2.16. Vzorek 4a**

Vzorek **4a** je dostupný jako Příloha 16. Jak ukazuje snímek, tento vzorek je, dle pohledu na makrostrukturu, bezvadný. Opět je na něm vidět, že TOO dosahuje minimálních rozměrů a hloubka závaru je také minimální.

#### **20.2.17. Vzorek 4b**

Vzorek **4b** je dostupný jako Příloha 17. Až na jeden pór o velikosti 0,98 mm je vzorek bezvadný, tedy přípustný.

#### **20.2.18. Vzorek 4c**

Vzorek **4c** je dostupný jako Příloha 18. Vzorek je bezvadný a přípustný.

#### **20.2.19. Vzorek 4d**

Vzorek **4d** je dostupný jako Příloha 19. Vadou tohoto vzorku je pouze zanedbatelné podříznutí z levé strany. Vzorek je přípustný.

#### **20.2.20. Vzorek 4e**

Vzorek **4e** je dostupný jako Příloha 20. Jeden přítomný mikropór na jinak bezvadném vzorku. Vzorek vyhovuje.

## Diskuse výsledků a závěr

V první části této práce byla zhotovena rešerše svorníkového svařování. Jde o jedno z nejučenějších pojednání o tomto tématu, které bude nyní v českém jazyce dostupné. Dalším dílčím tématem byla rešerše metody SRM. Pojednání o této metodě není v českém jazyce nikde veřejně dostupné. Toto souvisí s tím, že jde stále o jeden z nejmodernějších způsobů, jak svorníky svařovat. Poznatky byly tedy čerpány z cizojazyčných pramenů. Dále byla popsána problematika vysokopevných ocelí obecně a také v souvislosti právě s přivařováním svorníku. Řešena byla obsáhleji jemnozrnná vysoce pevná ocel S960QL, jakožto ocel použitá během experimentu a rovněž jedna z nejmodernějších ocelí posledních let.

Velký důraz byl v této práci kladen na problematiku robotizace, jakožto oboru, který bude mít v budoucnosti stále větší míru adopce v průmyslu. Robotizace zde byla popsána například ze současného koronavirového pandemického pohledu na věc. Největší prostor ale nebyl přidělen teorii, ale praktickému přístupu k této disciplíně, tedy programování robotů. Zde jde, podobně jako při popisování metody SRM, o unikátní shrnutí programování svařovacích robotů. Vzhledem k tomu, že výrobci poskytují návody pouze k zakoupenému robotu, je pro většinu zájemců nemožné se s programováním robotů seznámit například doma. Zde sepsané shrnutí je možnost, jak může osoba zájímající se o programování svařovacích robotů dostat základní informace po stažení této práce zdarma, což lze považovat jako jeden z hlavních přínosů této práce.

Rovněž je zde popsán přechod od svářeče k u a jednotlivé výhody obou těchto přístupů ke svařování.

Vedle SRM a robotizace jsou hlavním fundamentem této práce svařovací parametry ve vztahu ke svorníkovému svařování. Byly řešeny také základní okrajové podmínky. Jako nejvýhodnější úprava povrchu se ukázal povrch kvalitně očištěný. Rovněž byl testován povrch znečištěný od NDT, koroze a vliv povrchu otřískaného nahrubo, či najemno.

Dalším testovaným parametrem bylo zanoření, kde se ukázalo jako vhodné použít hodnotu **2,5 mm**. Průtok plynu byl nastaven na 15 litrů za minutu a byly vytvořeny zkušební vzorky, ukazující, jak se projeví nedostatečné množství plynu na výsledný svar. Rovněž byly zjištěny nedostatky, které se projeví, pokud je nastavena příliš vysoká svařovací rychlost. V takovém případě může dojít k odtržení čepu.

Poměrně obsáhle byla popsána praktická problematika uzemnění svařence během přípravy.

Konečným produktem bylo vizuální testování a testování makro struktury svaru. Pět vzorků z 20 bylo dle testování na makrostrukturu podle normy ČSN EN ISO 14 555 nepřijatelných. Zbytek vzorků vyhovoval. Nejběžnější vadou bylo takzvané podříznutí/podseknutí svaru, které bylo způsobeno nedostatečným zanořením.

Dle vizuálního testování byl hlavní přítomnou vadou u více než poloviny vzorků rozstřík. Po konzultaci se zákazníkem by bylo přistoupeno buď k opravě, nebo by byl vzorek zmetkován. Rozstříku by šlo přecházet výraznější optimalizací svařovacího proudu a snížením rychlosti zanoření.

Rozhodující vliv měla, jak se během experimentu ukázalo, svařovací poloha. V poloze PA měly vzorky obecně vyšší kvalitu během vizuálního testování. Zde je třeba zmínit, že v praxi by nebylo přistoupeno k pozorování svaru na makro, pokud by vzorek neobstál při vizuální kontrole.

Ohledně parametrů proud a SRM proud nebyl zaznamenán výrazný vliv při zvýšení či snížení dílčích hodnot. Jasně patrné bylo, že při kombinaci hodnot **I= 1600 [A]** a **SRM=510 [A]** byly vzorky nekvalitní. Vzhledem k tomu, že jde o standardně továrně používané hodnoty, mohlo



by to být způsobeno opotřebením komponent svařovacího zařízení právě pro tyto hodnoty proudů.

Je možné konstatovat, že zcela zásadní je nastavení okrajových podmínek jako kvalitní příprava povrchu a vhodné uzemnění. Pokud jsou tyto okrajové podmínky vyřešeny vhodným způsobem jako nejefektivnější se jeví testování parametrů metodou „pokus omyl“. Tyto pokusy by měly probíhat za současné teoretické znalosti vad vzorků a toho, jak jim lze předcházet úpravou svařovacích parametrů.

## Použité zdroje

- [1] *Osobní rozhovory s do robotizace zainteresovanými osobami z firmy Schäfer-Menk a Katerdry materiálu a strojírenské metalurgie*. 2020, SHÄFER-MENK, Dýšina, ZČU, Plzeň.
- [2] VÁLOVÁ, Marie, KOLAŘÍK, Ladislav, 2009. *Perspektivní metody spojování materiálů - přivařování svorníků*. In: Sborník odborného semináře: Nové metody a postupy v oblasti přístrojové techniky, automatického řízení a informatiky. Třeboň. ISBN 978-80-01-04353-0. [online]. [cit. 16.10.2020]. Dostupné z: <http://www.fsid.cvut.cz/cz/u12110/vyzkum/trebon09/cd/AR/Va.pdf>.
- [3] *Lichtbogenbolzenschweißen*. [online]. poslední aktualizace 20.3.2020 17:04 [cit. 18. 10. 2020]. Wikipedia. Dostupné z: <https://de.wikipedia.org/wiki/Lichtbogenbolzenschweißen>
- [4] KALPAKJIAN, Serope, SCHMID, R., Steven, 2010. *Manufacturing ENGINEERING AND TECHNOLOGY*. New Jersey. ISBN-13: 978-0-13-608168-5, ISBN-10: 0-13-608168-1.
- [5] Olson, D. *ASM HANDBOOK Welding, brazing, and soldering (Vol. 6)*. Metals Park, OH: ASM International, 1993. ISBN 10: 0871703823.
- [6] HBS, ANTEC. *Stud welding. What is stud welding and how does it work? The 12 most important questions and answers*. [online]. Dostupné z: [https://anteconstruc-tion.com.au/site/uploads/2019/02/What-is-Stud-Welding-HBS-4.pdf](https://anteconstruction.com.au/site/uploads/2019/02/What-is-Stud-Welding-HBS-4.pdf)
- [7] Technická norma ČSN EN ISO14555. *Svařování - Obloukové přivařování svorníků z kovových materiálů*. Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2007
- [8] HLAVATÝ, Ivo, 2011. *Teorie a technologie svařování*. Ostrava. ISBN 978-80-248-2414-7. [online]. [cit. 17.10.2020]. Dostupné z: <http://staryweb.ivohlavaty.cz/2009Svarovani/indexs.htm>
- [9] *Die 3 Schweißverfahren*. Stud-welding.de [online]. [cit. 16. 10. 2020]. Dostupné z: <https://www.stud-welding.de/deutsch/informationen/die-3-schweissverfahren/>
- [10] *BOLZENSCHWEISSE MIT KERAMIKRING*. koeco.net [online]. [cit. 16. 10. 2020]. Dostupné z: <https://koeco.net/industrial-fastening-technologies/unsere-bolzenschweissverfahren/bolzenschweissen-mit-keramikring/>
- [11] *BOLZENSCHWEISSE MIT SCHUTZGAS*. koeco.net [online]. [cit. 16. 10. 2020]. Dostupné z: <https://koeco.net/industrial-fastening-technologies/unsere-bolzenschweissverfahren/bolzenschweissen-mit-schutzgas/>

- [12] MRŇA, Libor. *Přivařování svorníků*. [online]. [cit. 17.10.2020]. Dostupné z: [http://ust.fme.vutbr.cz/svarovani/img/opory/hsv\\_specialni\\_metody\\_svarovani\\_privarovani\\_svorniku\\_mrna.pdf](http://ust.fme.vutbr.cz/svarovani/img/opory/hsv_specialni_metody_svarovani_privarovani_svorniku_mrna.pdf)
- [13] *BOLZENSCHWEISSEN MIT SPITZENZÜNDUNG*. koeco.net [online]. [cit. 17. 10. 2020]. Dostupné z: <https://koeco.net/industrial-fastening-technologies/unsere-bolzenschweissverfahren/bolzenschweissen-mit-spitzenzuendung/>
- [14] BEHRENS, B.-A., GRUB, D., JENICEK, A., 2011. *Stud welding within sheet metalworking tools*. Prod. Eng. Res. Devel. 5, 283–292. [online]. 9.11. [cit. 18.10.2020]. Dostupné z: <https://doi.org/10.1007/s11740-011-0304-3>
- [15] HENSEL, Ulrike. 2019. *Bolzenschweißverfahren SRM*. metallbau-magazin.de. [online]. 9.11. [cit. 18.10.2020]. Dostupné z: [https://www.metallbau-magazin.de/artikel/mb\\_Bolzenschweissverfahren\\_SRM\\_3289170.html](https://www.metallbau-magazin.de/artikel/mb_Bolzenschweissverfahren_SRM_3289170.html)
- [16] KÖSTER & CO. GMBH, 2020. *BEMESSUNGS-SOFTWARE STUDCALC*. [online]. Dostupné z: <https://koeco.net/industrial-fastening-technologies/bemessungssoftware-studcalc/>
- [17] LLORENTE, Andrés, 2014. *New concept for the ground connection in Scania's trucks and buses*. Stockholm. KTH Electrical Engineering. XR-EE-ETK 2014:011
- [18] JENICEK, Andreas, REITER, Thomas, 2015. *Neue Technik beim Lichtbogenbolzenschweißen im Anlagenbau*. 43. Sondertagung der SLV München. [online], [cit. 26.10.2020]. Dostupné z: <https://docplayer.org/44164762-Neue-technik-beim-lichtbogenbolzenschweissen-im-anlagenbau.html>
- [19] CRAMER, Heidi, JENICEK, Andreas, MÜLLER, Marc, 2014. *Potenzial für größere Bolzendurchmesser: SRM-Bolzenschweißen – eine neue Variante des Lichtbogenbolzenschweißens*. Der Praktiker. 6, 238-244. ISSN 0554-9965 [online], [cit. 26.10.2020]. Dostupné z: <https://docplayer.org/60235742-Sonderdruck-srm-effekt-der-bolzenschweissen-heute-eine-saubere-sache-das-magazin-fuer-schweisstechnik-und-mehr.html>
- [20] *STUD WELDING PROCESS, NUT WELDING (MARC)*. Hbs-info.com [online]. [cit. 26.10.2020]. Dostupné z: <https://hbs-info.com/wiki/stud-welding-process>
- [21] *STRENX 960E/F*. ssab.cz [online]. [cit. 29.10.2020]. Dostupné z: <https://www.ssab.cz/api/sitecore/Datasheet/GetDocument?productId=58F3373C1922490B97B83CAAE4AD5FEB&language=cs-CZ>
- [22] *Empfehlungen für das Schweißen von XABO 890 und XABO 960*. thyssenkrupp [online]. [cit. 29.10.2020]. Dostupné z: <https://www.thyssenkrupp->

steel.com/media/content\_1/publikationen/grobblech\_migration/n\_a\_xtra\_xabo/verarbeitung/schweissen/empfehlungen\_fuer\_das\_schweissen\_von\_xabo\_890960.pdf

- [23] PŘIBYL, Petr, 2020. *Personální krize ve výrobě může urychlit nástup robotů*. *Robotic journal*.**1**, 8-9. ISSN 2533-4425.
- [24] LIDOVKY, 2019. *Práce je víc než lidí. Na jednoho zájemce připadá někde i 13 volných míst*. In: Lidovky.cz [online]. 9.11. [cit. 16.10.2020]. Dostupné z: [https://www.lidovky.cz/byznys/moje-penize/prace-je-vic-nez-lidi-na-jednoho-zajemce-pripada-nekde-i-13-volnych-mist.A191108\\_213608\\_moje-penize\\_ele](https://www.lidovky.cz/byznys/moje-penize/prace-je-vic-nez-lidi-na-jednoho-zajemce-pripada-nekde-i-13-volnych-mist.A191108_213608_moje-penize_ele)
- [25] PIRES, Norberto, LOUREIRO, Altino, 2006. *Welding robots Technology, System Issues and Applications*. London: Springer. ISBN-10: 1-85233-953-5.
- [26] VALIŠKA, Josef, 2020. *Mor 21. století: Pohroma pro lidstvo, šance pro roboty ?* *Robotic journal*.**1**, 3. ISSN 2533-4425
- [27] KALÁB, Vladimír, 2020. *Euroboti aneb zpráva o stavu robotiky v Evropě*. *Robotic Journal*. **2**, 5. ISSN 2533-4425
- [28] Tzyh-Jong Tarn .Shan-Ben Chen.Xiao-Qi Chen. 2014. *Robotic welding, intelligence and automation*. London: Springer ISBN 978-3-319-18996-3
- [29] ROCHELLE, Bob, 2017. *Anatomy of a robot-based welding system*. In: Thefabricator.com [online]. 4.1. [cit. 15.10.2020]. Dostupné z: <https://www.thefabricator.com/thefabricator/article/automationrobotics/anatomy-of-a-robot-based-welding-system>
- [30] CALDERONE, Len. 2019. *What is Machine Vision?* *roboticstomorrow.com* [online]. 9.11. [cit. 5.12.2020]. Dostupné z: <https://www.roboticstomorrow.com/article/2019/12/what-is-machine-vision/14548>
- [31] *Robotics: Joint Sensing Technologies*. *Lincolnelectric.com* [online]. [cit. 5.12.2020]. Dostupné z: <https://www.lincolnelectric.com/en-us/support/process-and-theory/Pages/intelligent-robotic-detail.aspx>
- [32] *Rozhovory se svářeči a obsluhou svařovacího robotu*. Schäfer-menk. 2021. Plzeň-Dýšina
- [33] *RoboPlan – Virtuální programování jako klíč k hospodárné výrobě*. *techmagazin.cz*, 2014. [online]. [cit. 8.12.2020]. Dostupné z: <http://www.techmagazin.cz/1255>
- [34] *Roboplan Uživatelská příručka, V5*. Cloos Schweisstechnik. 2007

- [35] *Mechanické vlastnosti ocelových šroubů*. [online]. [cit. 30.3.2021]. Dostupné z:  
<https://www.sroubamatka.cz/cs/technicke-informace/mechanicke-vlastnosti-ocelovych-sroubu.html>
- [36] KÖCO, 2018. *Atest čep CZ0780*. Ennenpetal.
- [37] Lynn Haynes, 2.5.2008. *Soyer Stud Production*. [online]. Dostupné z:  
<https://www.youtube.com/watch?v=MERhFQPRSIg>

## Seznam obrázků

Obrázek číslo:	Strana
Obrázek 1: Přivařování svorníků názorně [6] .....	16
Obrázek 2 : Zapálení odtažením [10] .....	18
Obrázek 3: Keramický kroužek [8] .....	18
Obrázek 4: Spřahovací trn [2] .....	18
Obrázek 5: Tvarové kroužky [5] .....	19
Obrázek 6: Svorníkové svařování s ochranným plynem [11] .....	19
Obrázek 7: a) Makro snímek, b) Jednorázový ohyb, c) Vícečetný ohyb [14] .....	20
Obrázek 8: Zapálení roztavením špičky [13] .....	20
Obrázek 9: Kalkulačka svorníků Kőco StudCalc-Pro [16] .....	22
Obrázek 10: Simulace rozložení napětí [16] .....	23
Obrázek 11 : Elektromagnetický jev provázející metodu SRM [17] .....	24
Obrázek 12: Lorentzův zákon [17] .....	24
Obrázek 13: Elektron v magnetickém poli [17] .....	25
Obrázek 14: Spirálový vzor oblouku během svařování SRM [17] .....	25
Obrázek 15: Rozvržení relativní četnosti svařovacího oblouku podél průřezu pro různé hodnoty SRM proudu [18] .....	25
Obrázek 16: Průběh metody SRM [19] .....	26
Obrázek 17: Rozdílné způsoby odvodu plynu ze svařovací hlavy [19] .....	26
Obrázek 18: Foukání oblouku – vlevo foukání; uprostřed vyrovnání symetrickým uzemněním; vpravo oprava feritickou vyrovnávací hmotou [18] .....	27
Obrázek 19: Porovnání metod-vlevo SRM; uprostřed keramický kroužek; vpravo ochranný plyn [18] .....	28
Obrázek 20: Svařovací polohy při přivařování svorníků [18] .....	28
Obrázek 21: MARC [20] .....	29
Obrázek 22: Závislost hodnoty meze kluzu na velikosti zrna u nízkouhlíkové oceli ČSN 411375 [1] .....	30
Obrázek 23: Uhlíkový ekvivalent oceli S960QL [21] .....	31
Obrázek 24: Tabulka předeřevů jeřábů firmy Liebherr .....	32
Obrázek 25: Plech S960QL s popisem od výrobce .....	33
Obrázek 26: Dotykový senzor [31] .....	37
Obrázek 27: Intenzita vyzařovaného spektra v porovnání s kvalitou svaru [27] .....	38
Obrázek 28: Charakteristické praporky určující sklon hořáku [34] .....	42
Obrázek 29: Automatická optimalizace dráhy [34] .....	44



Obrázek 30: Zanoření čepu .....	46
Obrázek 31: Robot s SRM hlavou.....	50
Obrázek 32: Rozdílné hrany čepů .....	51
Obrázek 33: Schéma podavače čepů .....	52
Obrázek 34: Třídička čepů .....	53
Obrázek 35: Senzor přítomnosti čepu .....	54
Obrázek 36: Ovladač dílčích prvků.....	55
Obrázek 37: WPS svařování svorníků, poloha PA .....	57
Obrázek 38: WPS svařování svorníků, poloha PC.....	58
Obrázek 39: WPS svařování svorníků, poloha PE .....	59
Obrázek 40: Termokřídly .....	60
Obrázek 41: Změřená skutečná velikost čepu .....	61
Obrázek 42: Špičky čepů.....	62
Obrázek 43: Etiketa čepů .....	63
Obrázek 44: Inspekční certifikát čepu [36] .....	64
Obrázek 45: Svinutý polotovar na čepy [37].....	64
Obrázek 46: Nežádoucí oxidace u čepu přivařeného na bílou podkladovou barvu .....	65
Obrázek 47: Čep přivařený na zkorodovaný povrch.....	66
Obrázek 48: Vliv očištěného povrchu .....	67
Obrázek 49: Odstraněný rozstřík.....	67
Obrázek 50: Zanoření svorníku - test manuálně .....	68
Obrázek 51: Hodnota zanoření ve výchozím stavu.....	69
Obrázek 52: Vliv množství ochranného plynu.....	70
Obrázek 53: 3D výkres vzorku.....	71
Obrázek 54: Okótovaný výkres vzorku.....	72
Obrázek 55: Počítačový terminál robota .....	73
Obrázek 56: PHG .....	73
Obrázek 57: Pracoviště robota na přivařování čepů.....	74
Obrázek 58: Model robota a robotického pracoviště .....	74
Obrázek 59: Plyn prokázáný jako nevhodný.....	75
Obrázek 60: Uchycení a ukostření .....	77
Obrázek 61: Svod uzemnění .....	78
Obrázek 62: Kleštiny.....	79
Obrázek 63: Keramický sprej.....	80

Obrázek 64: Ovládací rozhraní .....	82
Obrázek 65: Čepy 1a, 1b vizuálně. Poloha PA – optimalizace proudu.....	82
Obrázek 66: Čepy 1c, 1d, 1e vizuálně Poloha PA – optimalizace proudu.....	83
Obrázek 67: Čepy 2a, 2b, 2c vizuálně. Poloha PA – optimalizace SRM.....	83
Obrázek 68: Čepy 2d, 2e vizuálně. Poloha PA – optimalizace SRM .....	84
Obrázek 69: Čepy 3a, 3b, 3c vizuálně Poloha PC – optimalizace proudu .....	84
Obrázek 70: Čepy 3d, 3e vizuálně Poloha PC – optimalizace proudu.....	84
Obrázek 71: Čepy 4a, 4b, 4c vizuálně. Poloha PC – optimalizace SRM.....	85
Obrázek 72: Čepy 4d, 4e vizuálně. Poloha PC – optimalizace SRM.....	85
Obrázek 73: Použitá stolní talířová bruska .....	87
Obrázek 74: Vzorky před leptáním a použitá kyselina dusičná .....	87
Obrázek 75: Makrostruktura vzorku 1a - nevyhovuje .....	88

## Seznam tabulek

Tabulka číslo:	Strana
Tabulka 1: Chemické složení (pánevní analýza) oceli S960QL [21].....	31
Tabulka 2: Charakteristiky čepu 4.8 dle ČSN EN ISO 898-1 [35] .....	63
Tabulka 3: Testované parametry .....	81




## Seznam příloh

Příloha číslo:	Strana
Příloha 1: Inspekční certifikát (atest) plechu z oceli S960QL používané ve firmě Schäfer- Menk a během experimentu .....	101
Příloha 2: Makrostruktura vzorku 1b - nevyhovuje .....	102
Příloha 3: Makrostruktura vzorku 1c - vyhovuje .....	102
Příloha 4: Makrostruktura vzorku 1d - nevyhovuje .....	103
Příloha 5: Makrostruktura vzorku 1e - nevyhovuje.....	103
Příloha 6: Makrostruktura vzorku 2a - vyhovuje .....	104
Příloha 7: Makrostruktura vzorku 2b - vyhovuje .....	104
Příloha 8: Makrostruktura vzorku 2c - vyhovuje .....	105
Příloha 9: Makrostruktura vzorku 2d - vyhovuje .....	105
Příloha 10: Makrostruktura vzorku 2e - vyhovuje .....	106
Příloha 11: Makrostruktura vzorku 3a - vyhovuje .....	106
Příloha 12: Makrostruktura vzorku 3b - nevyhovuje .....	107
Příloha 13: Makrostruktura vzorku 3c - vyhovuje .....	107
Příloha 14: Makrostruktura vzorku 3d - vyhovuje .....	108
Příloha 15: Makrostruktura vzorku 3e - vyhovuje .....	108
Příloha 16: Makrostruktura vzorku 4a - vyhovuje .....	109
Příloha 17: Makrostruktura vzorku 4b - vyhovuje .....	109
Příloha 18: Makrostruktura vzorku 4c - vyhovuje .....	110
Příloha 19: Makrostruktura vzorku 4d - vyhovuje .....	110
Příloha 20: Makrostruktura vzorku 4e - vyhovuje .....	111

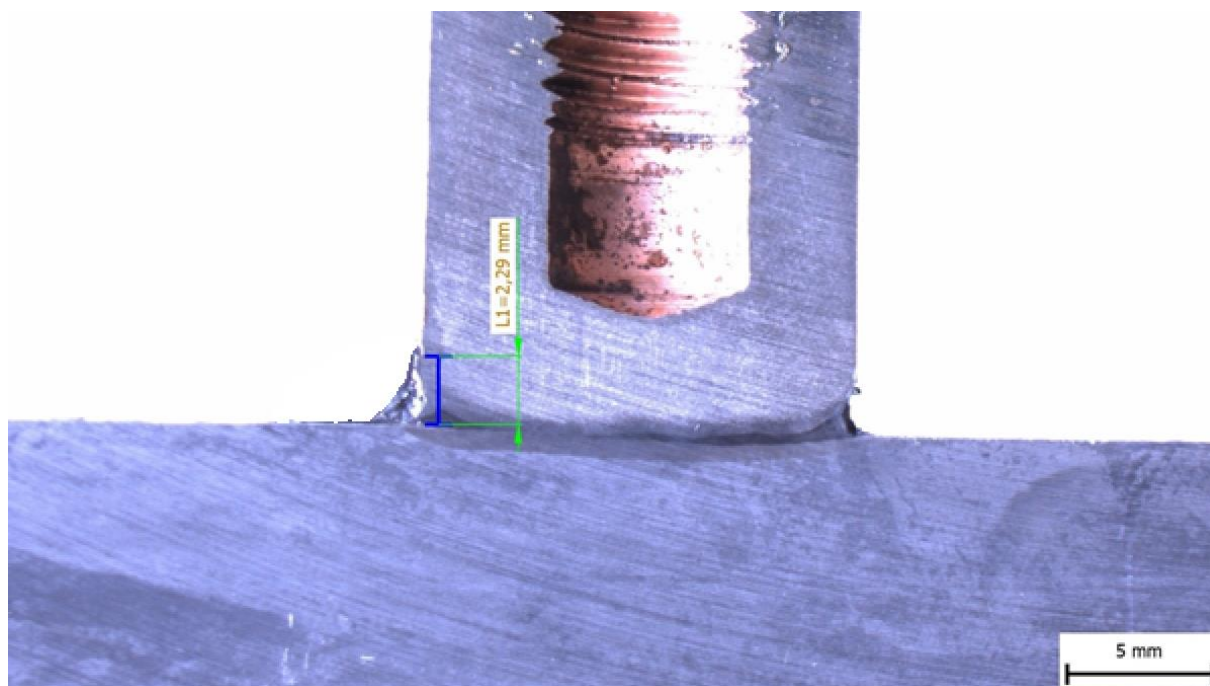
**Příloha**

49809

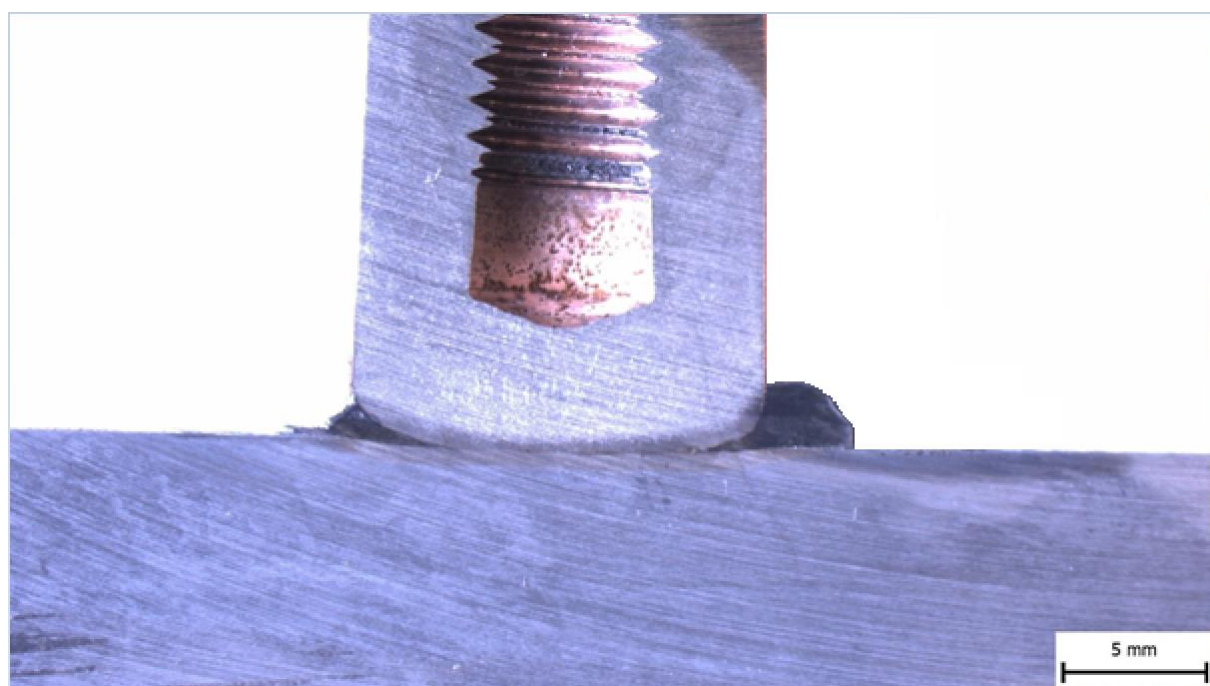
Page 1 (1)

		<b>Inspection certificate</b> EN 10 204 - 3.1		<b>Issuing department</b> Quality inspection		<b>Purchaser order no</b> 2-602700006		<b>Our order no</b> 10272157-90		<b>Invoice no</b> A08		<b>Certificate no and date</b> 16611266 2017-05-23		<b>SSAB EMEA AB, SE-613 80 OXELÖSUND, Sweden</b>		A01	
<b>Purchaser</b> SCHÄFER MENK S.R.O. PRESTINSKA 1415 153 00 PRAHA 5 - RADOTIN Czech Republic		<b>Product</b> Structural steel		<b>Marking (Stamping)</b> Steel grade, Manufacturer, MATERIAL ID		<b>Quantity</b> 1		<b>Dimensions [mm]</b> T 10 W 2300 L 6000		<b>Weight [kg]</b> 1084		<b>Deliv. Cond.</b> Q		<b>Customer marks</b> M01 002712		B15	
<b>MATERIAL ID</b> 121595-290402		<b>Consignee</b> Schäfer-Menk s.r.o Areal I.P.P. Elpovice 33002 Pízen-Dysina Czech Republic		<b>Standard/rules</b> OX WELDOX 960 Steel grade WELDOX 960 E		<b>Quantity</b> 1		<b>Dimensions [mm]</b> T 10 W 2300 L 6000		<b>Weight [kg]</b> 1084		<b>Deliv. Cond.</b> Q		<b>Customer marks</b> M01 002712		B16	
<b>Chemical composition</b>		C71-C92		Carbon equivalent etc		C71-C92		Carbon equivalent etc		C89-C96		CEV(EW) = C + Mn/6 + (Cr+Mo+V)/5 + (Ni+Cu)/15 C14 = CET = C + (Mn+Mo)/10 + (Cr+Cu)/20 + Ni/40		C13		C14	
<b>Heat no</b> 121595		C .17 Si .22 Mn 1.25 P .009 S .001 Cr .20 Ni .04 Mo .563 V .045 Ti .007 Cu .01 Al .054 Nb .001 B .014 N .003 EW .55 C14 .363		C03		C11		Rp0.2 [MPa] 1028		C12		Rm [MPa] 1067		C13		A5 [%] 15	
<b>Testtype</b> Tensile Test		C04 Millcode 233817		C01 Specimen position Tail end		C02 Direction Transvers		C05 Treatment Delivery condition		C06 Specimen type Rectangular		C07 Temp [degr C] -40		C08 Test results		C09	
<b>Impact test</b>		233817		Tail end		Transvers		Delivery condition		Charpy-V 7.5x10		C42 E [J] 48		C43 Ave [J] 47		C44	
Ultrasonic testing: Satisfactory results according to: EN 10160 CLASS E1, S1:100 MM GRID																	
B02: EN 10025-6/S960QL EN 10025-6, OPTION 30 FAUN FN 50160 TELESKOPPAUSLEGER JUN 2013																	
		This certificate is produced with EDP and valid without signature		Quality Inspection Department/ R		Tschiemingjack / JA Backlund		Z02				It is hereby certified that the material described above complies with the requirements of the order.		Z01		A22	
www.sasb.com/dyn/nr-sasb		0045-CPD-0037		18		www.sasb.com/dyn/nr-sasb		www.weldox.com		A04		WELDOX® HIGH STRENGTH STEEL		www.weldox.com		A03	

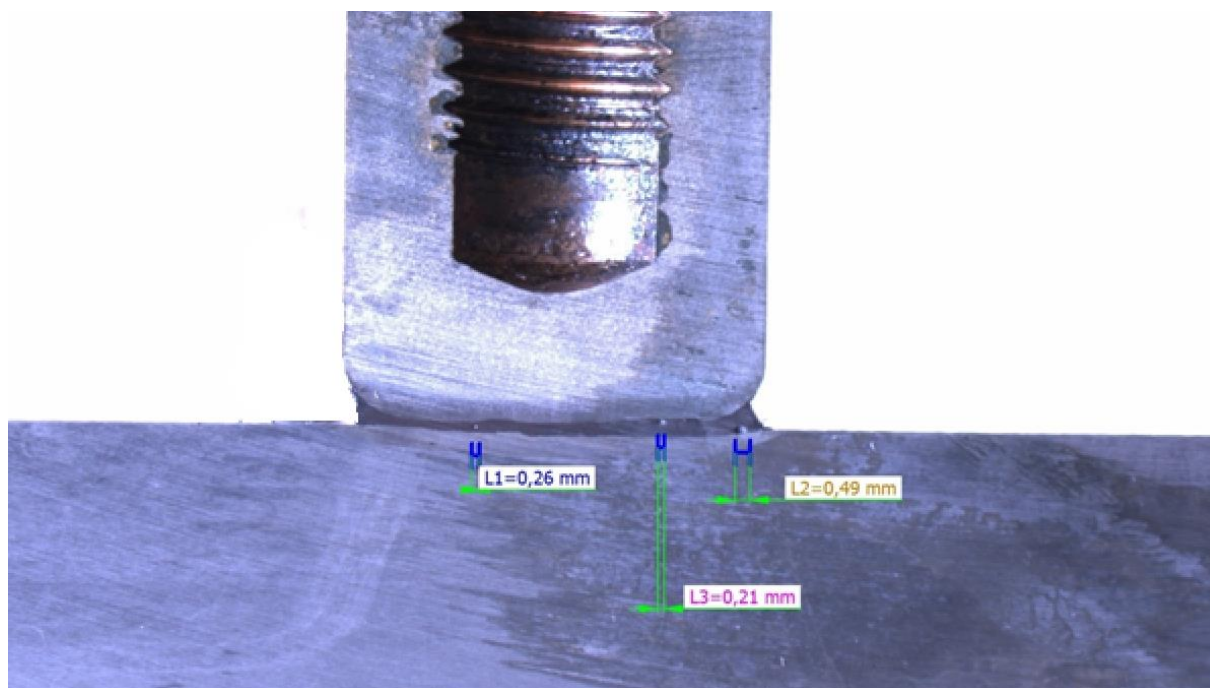
Příloha 1: Inspekční certifikát (atest) plechu z oceli S960QL používané ve firmě Schäfer- Menk a během experimentu



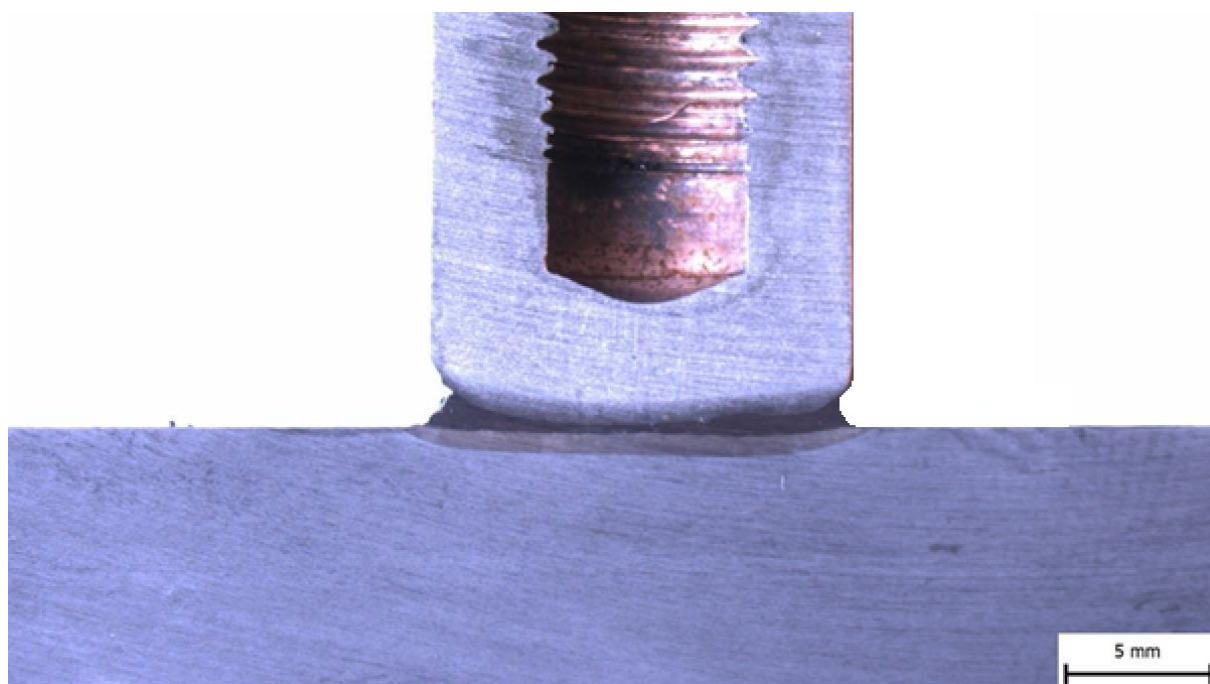
Příloha 2: Makrostruktura vzorku 1b - nevyhovuje



Příloha 3: Makrostruktura vzorku 1c - vyhovuje

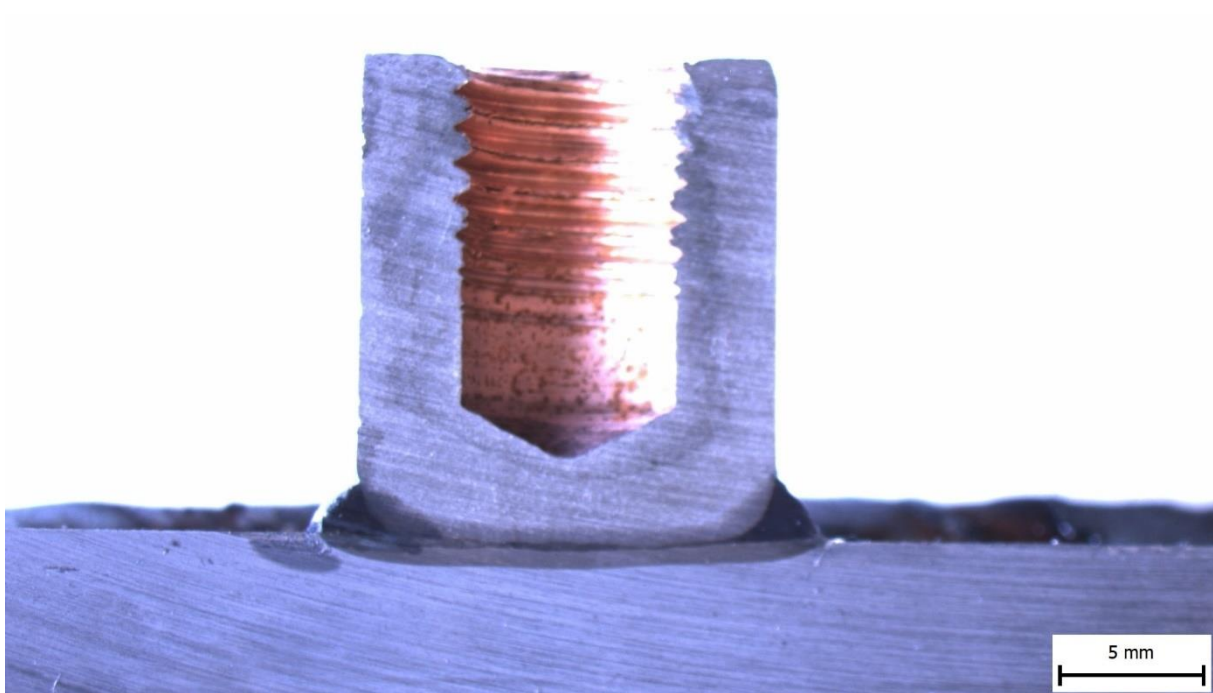


Příloha 4: Makrostruktura vzorku 1d - nevyhovuje

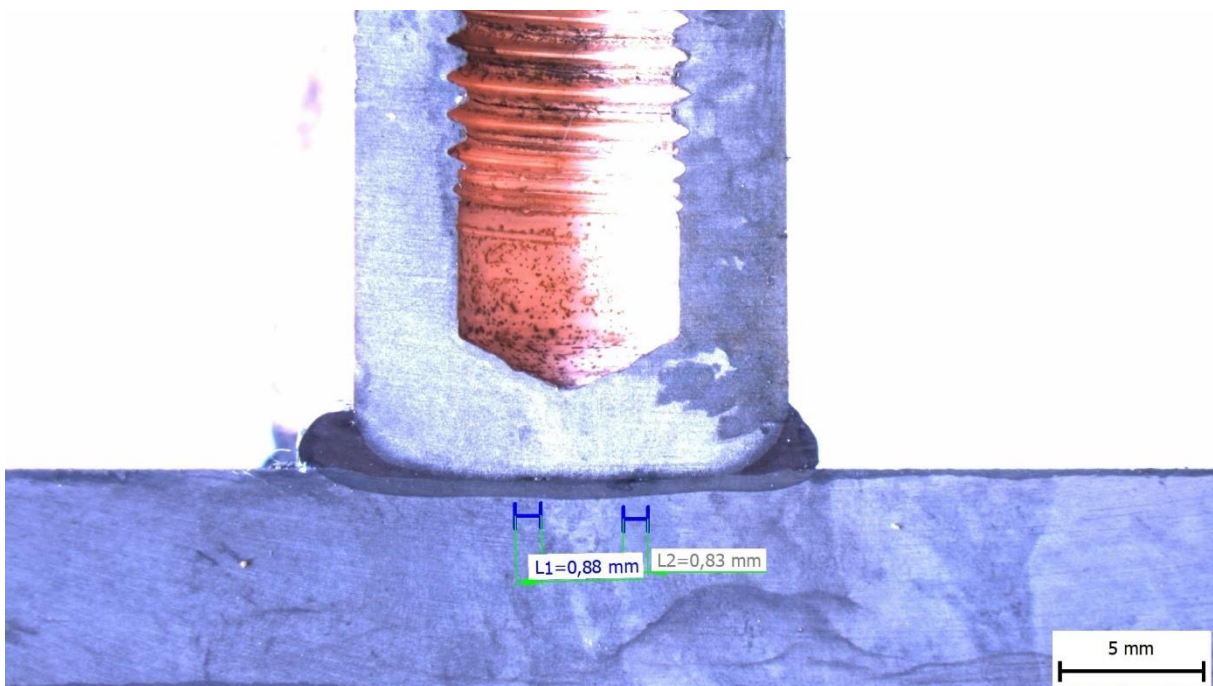


Příloha 5: Makrostruktura vzorku 1e - nevyhovuje

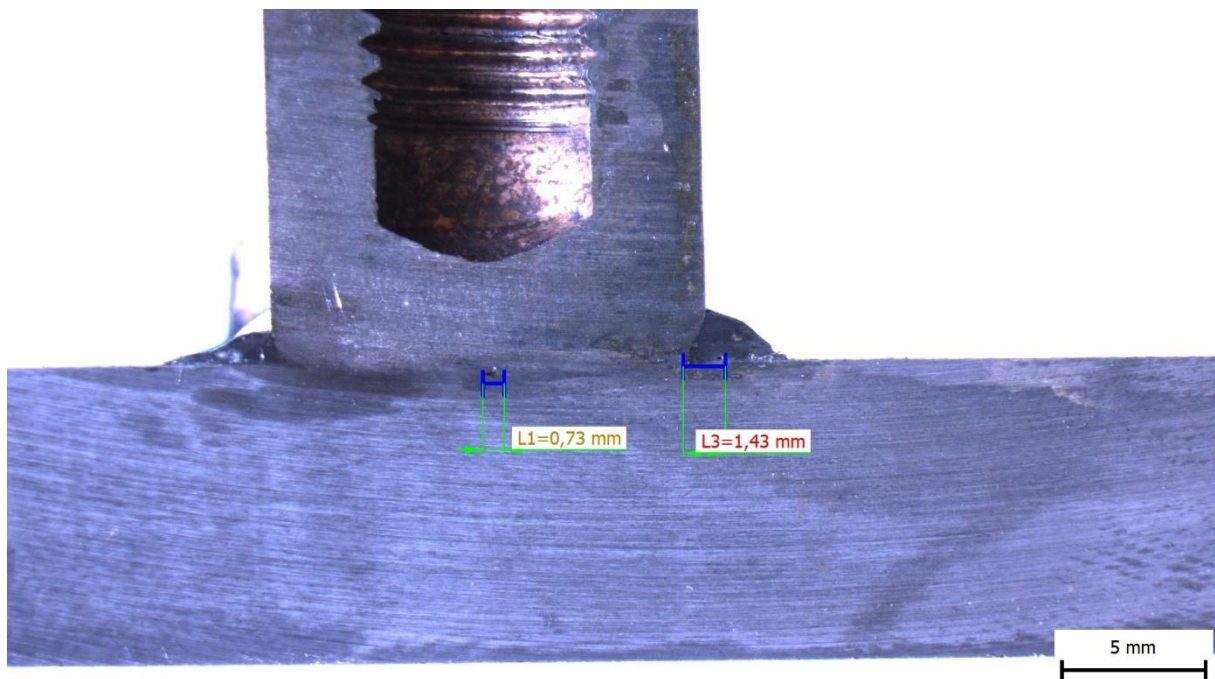




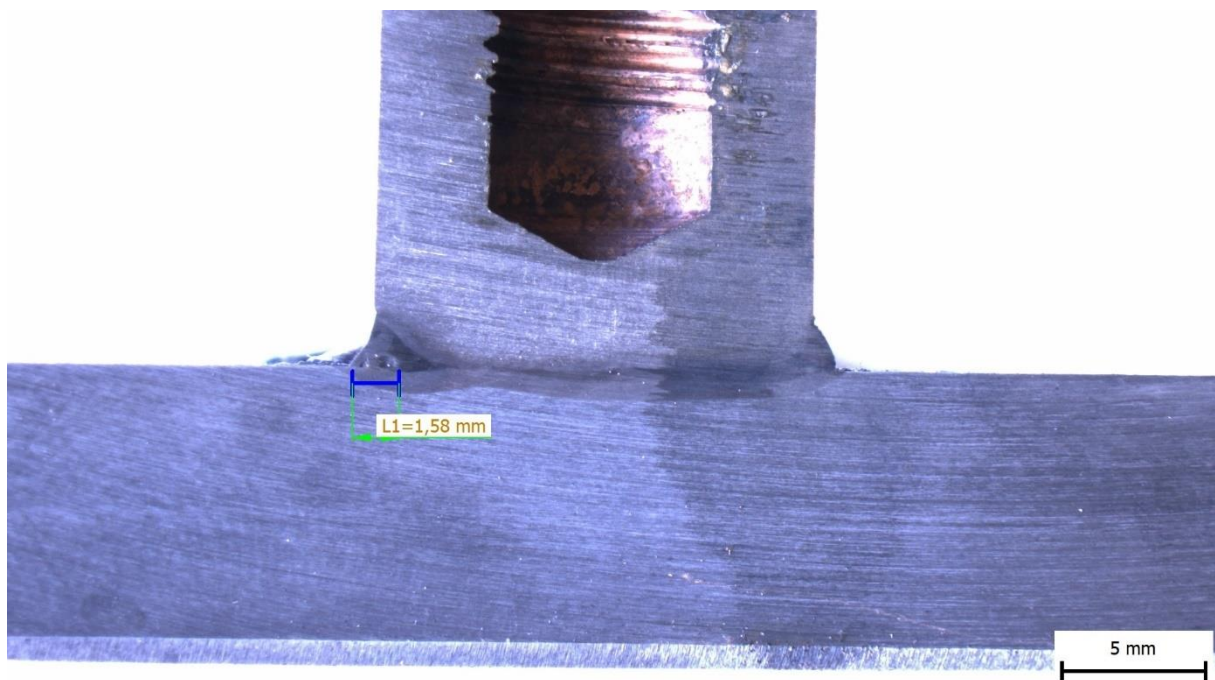
Příloha 6: Makrostruktura vzorku 2a - vyhovuje



Příloha 7: Makrostruktura vzorku 2b - vyhovuje

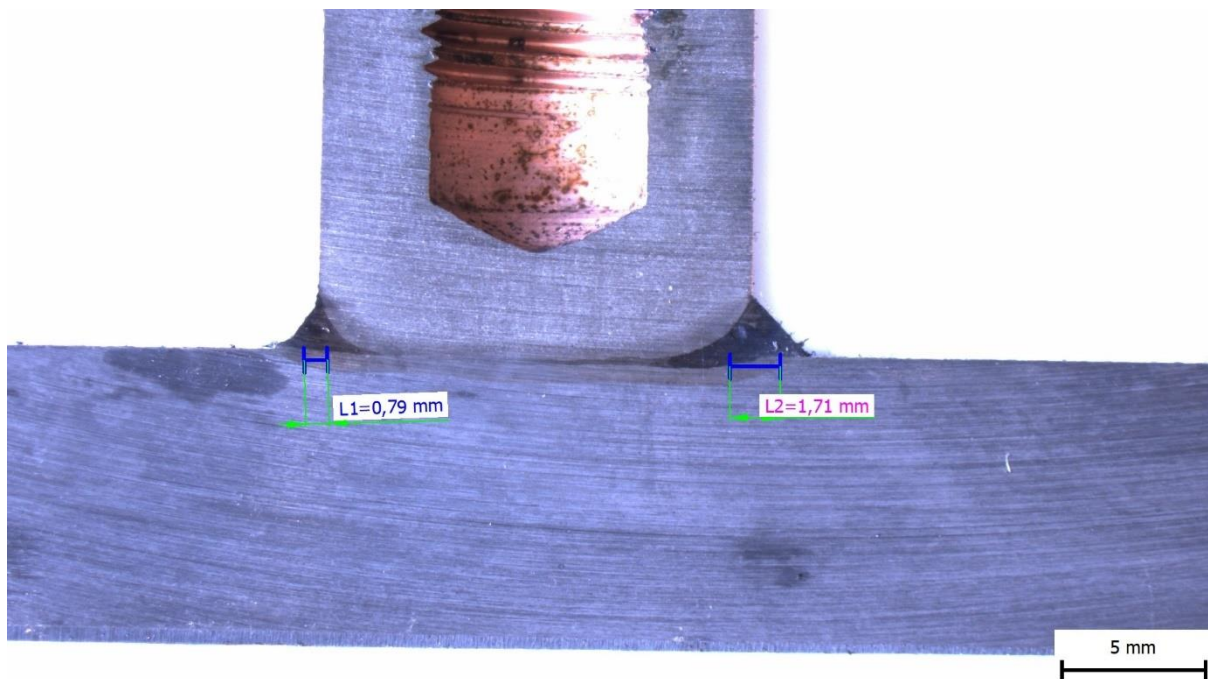


Příloha 8: Makrostruktura vzorku 2c - vyhovuje

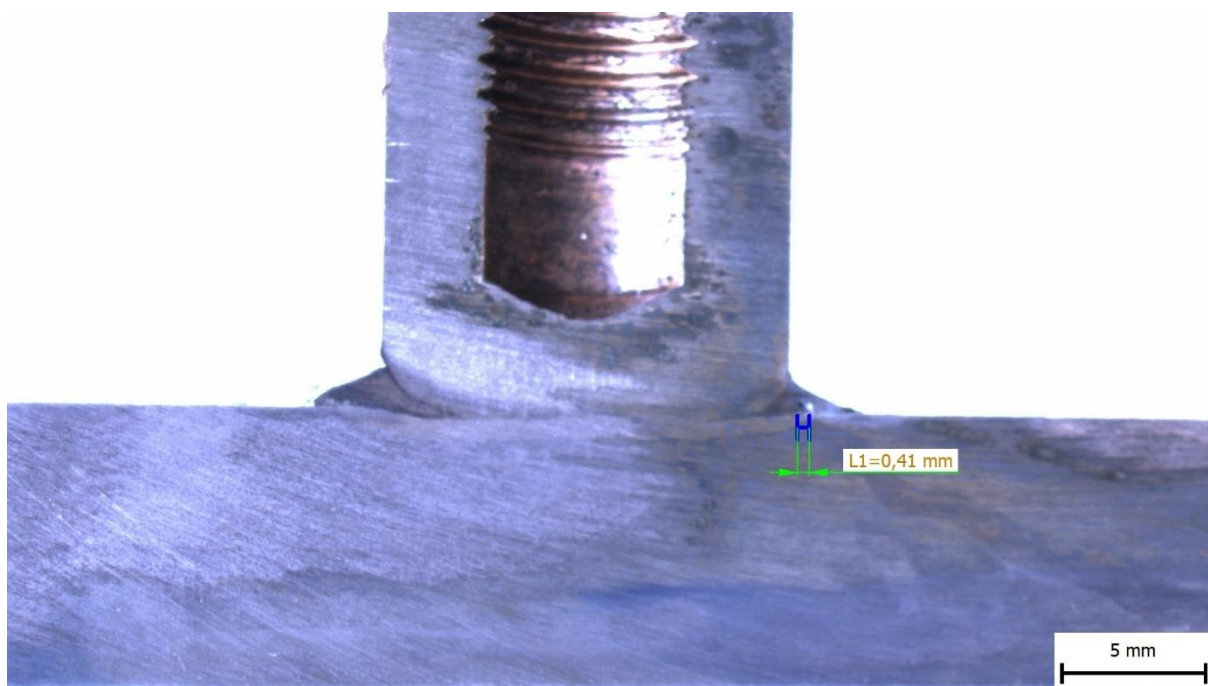


Příloha 9: Makrostruktura vzorku 2d - vyhovuje

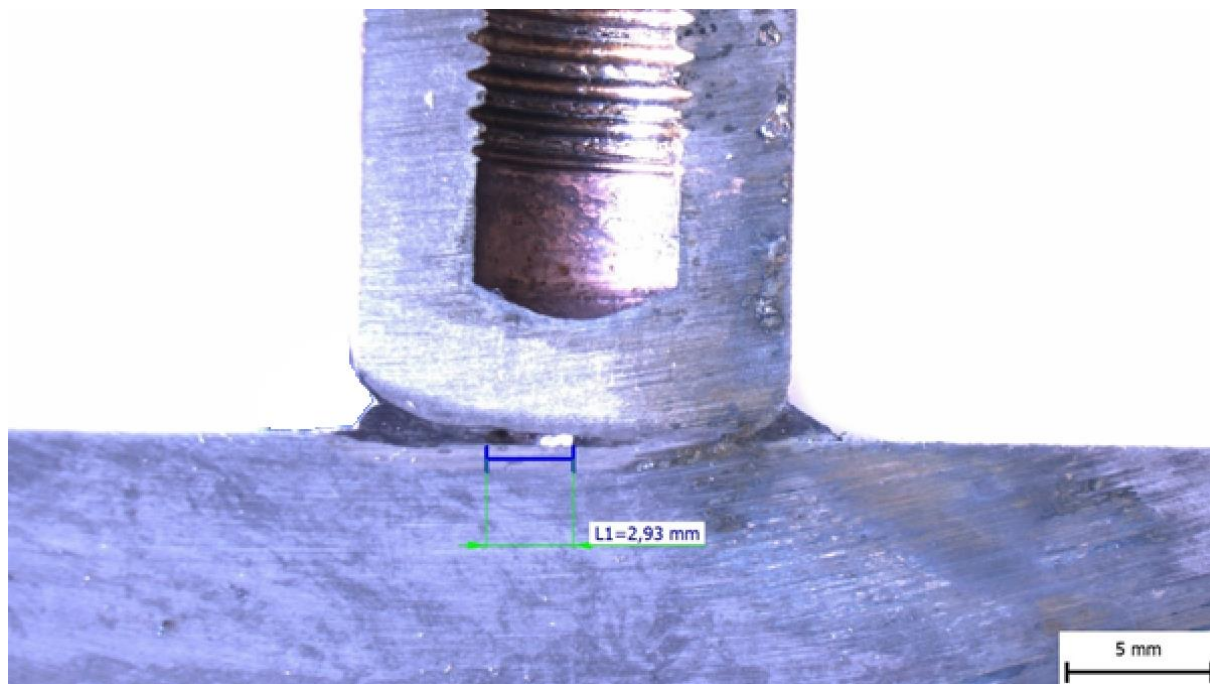




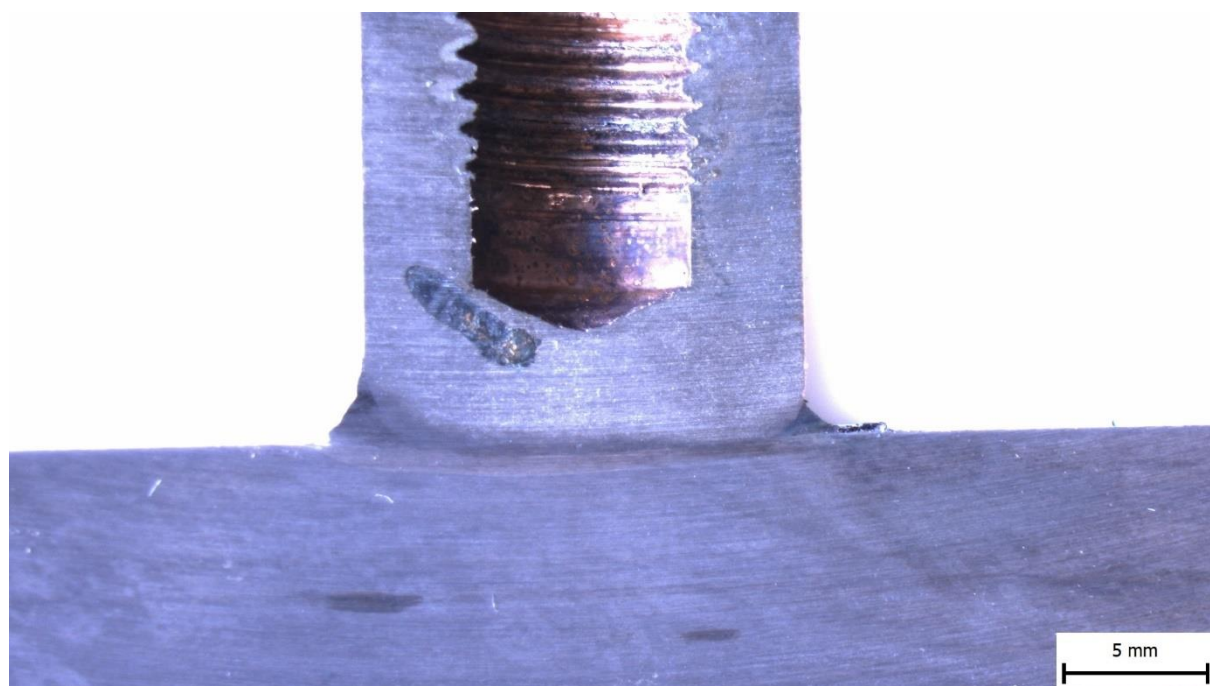
Příloha 10: Makrostruktura vzorku 2e - vyhovuje



Příloha 11: Makrostruktura vzorku 3a - vyhovuje

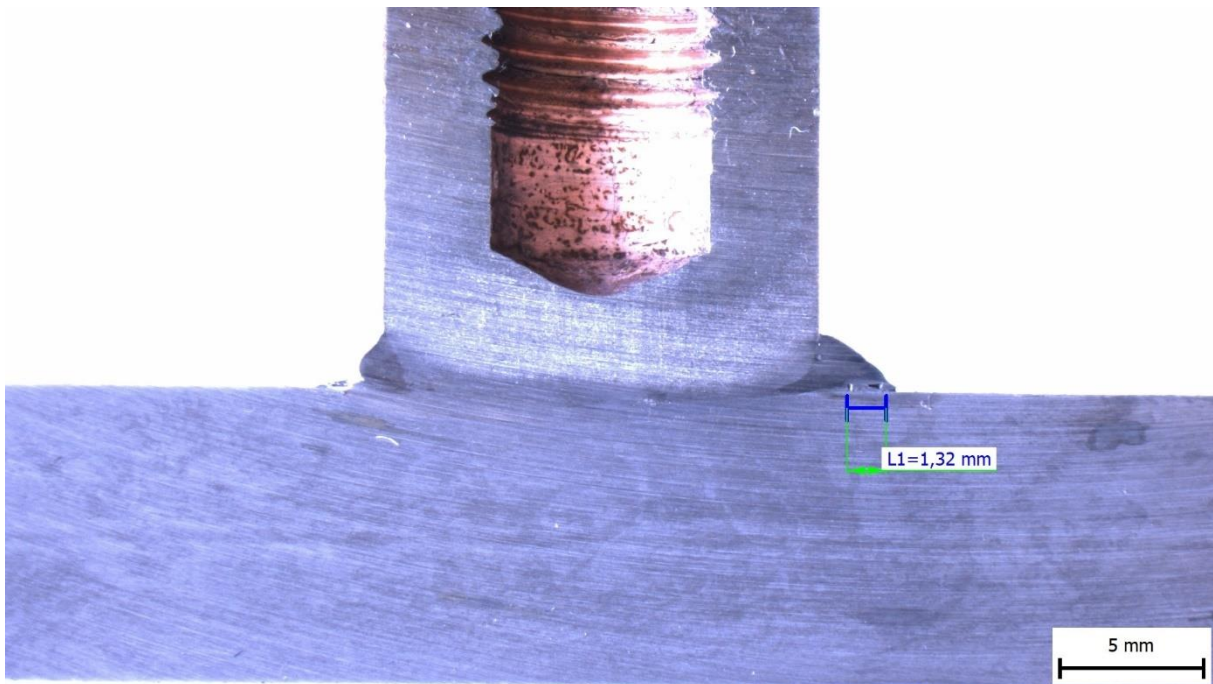


Příloha 12: Makrostruktura vzorku 3b - nevyhovuje

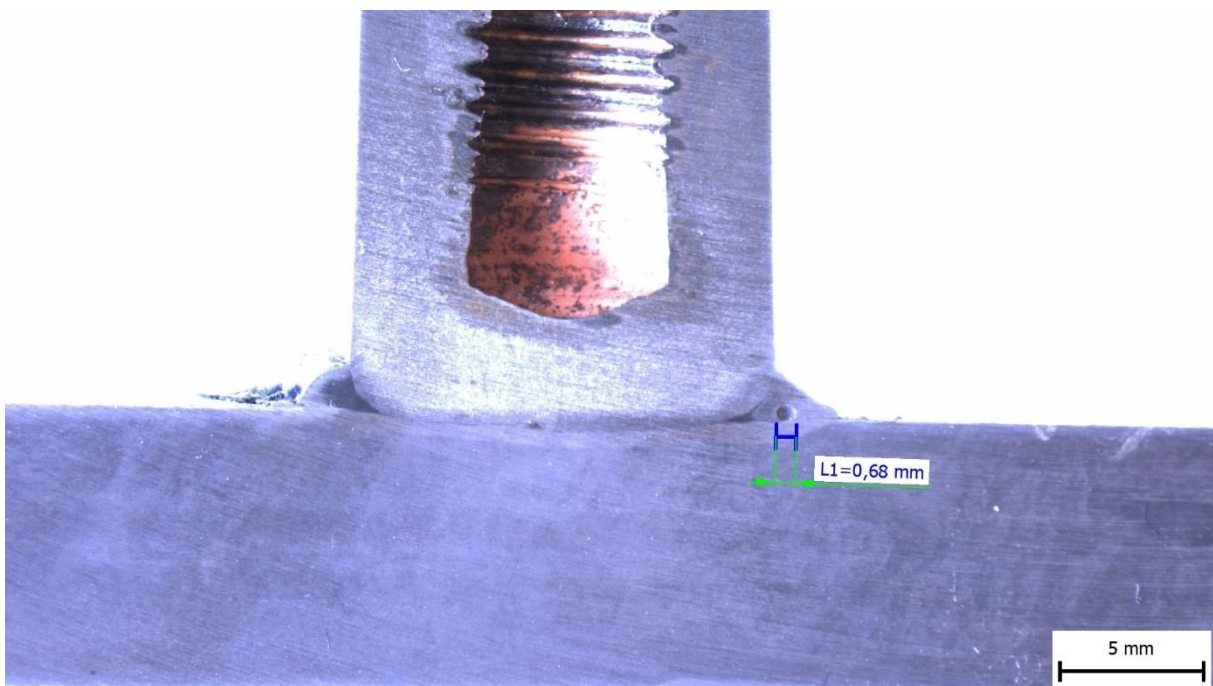


Příloha 13: Makrostruktura vzorku 3c - vyhovuje

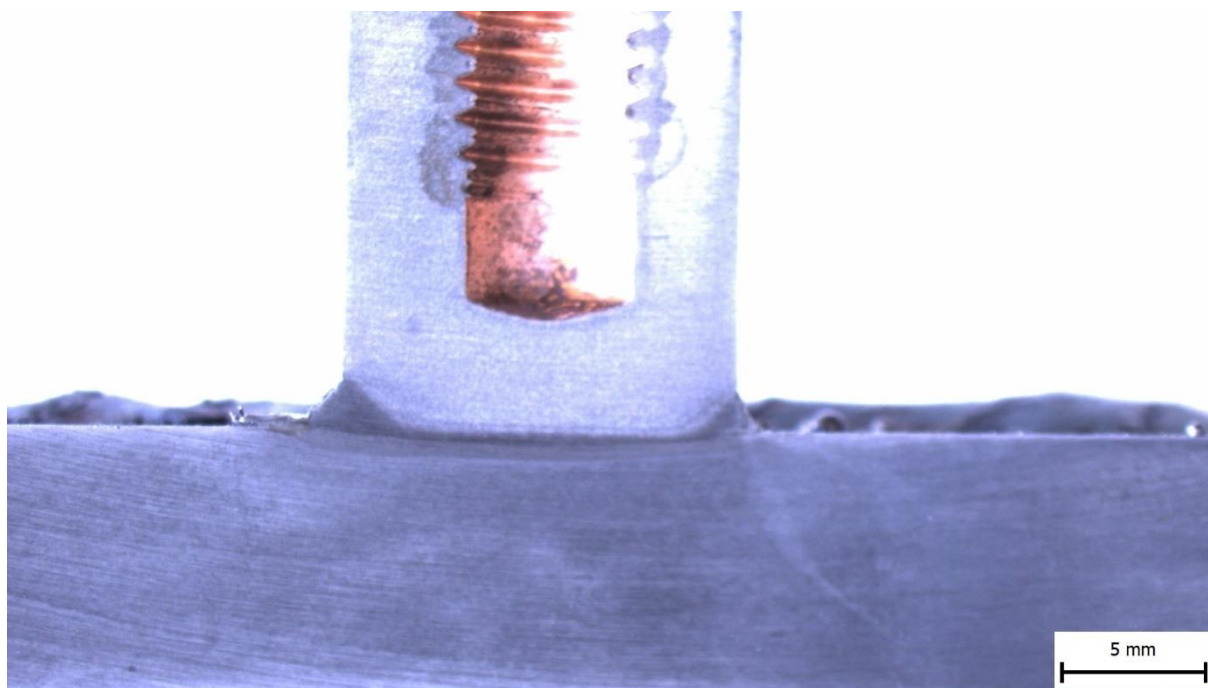




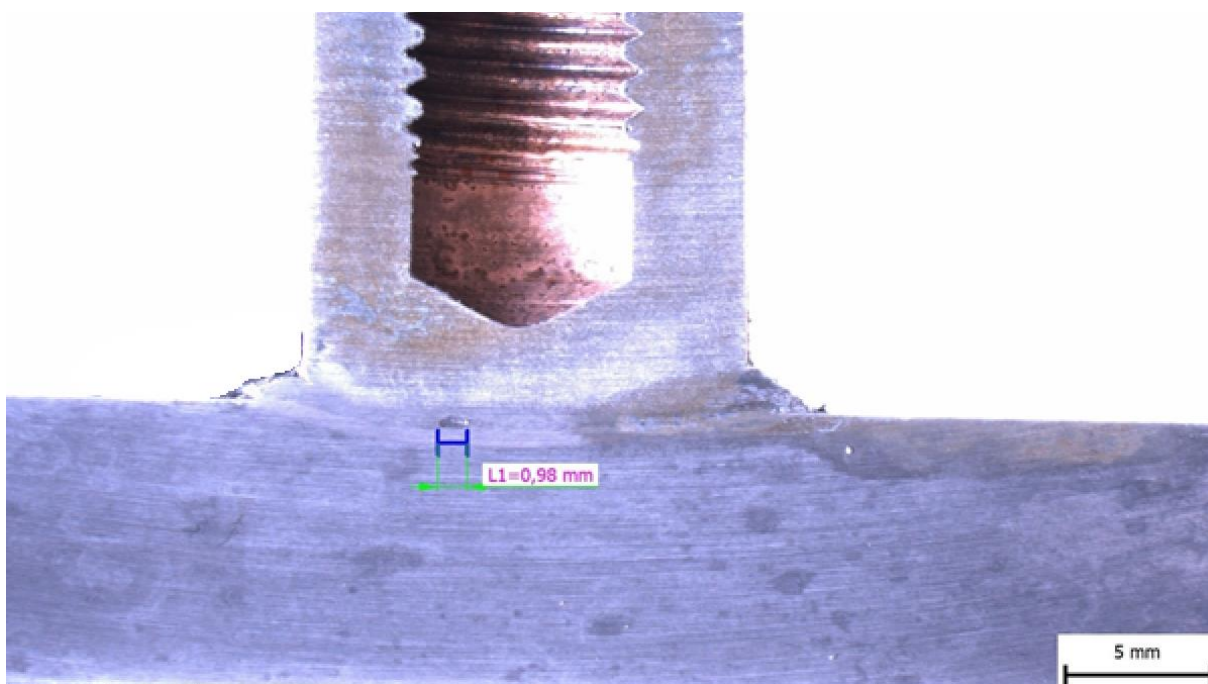
Příloha 14: Makrostruktura vzorku 3d - vyhovuje



Příloha 15: Makrostruktura vzorku 3e - vyhovuje

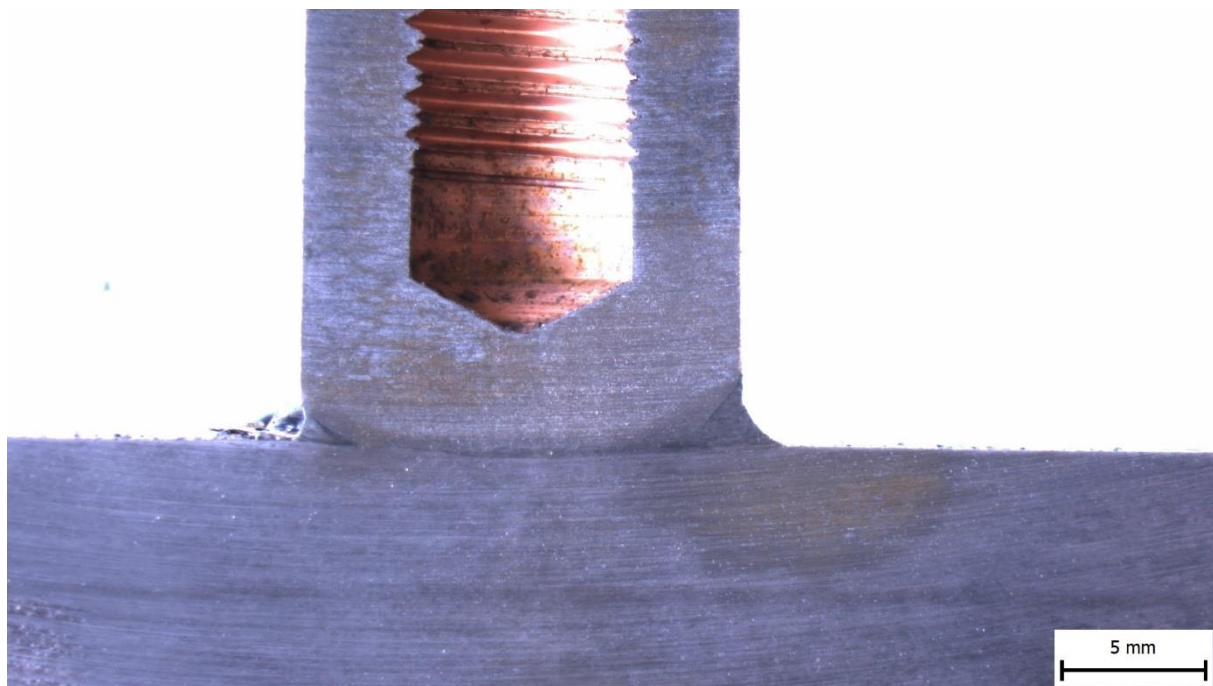


Příloha 16: Makrostruktura vzorku 4a - vyhovuje

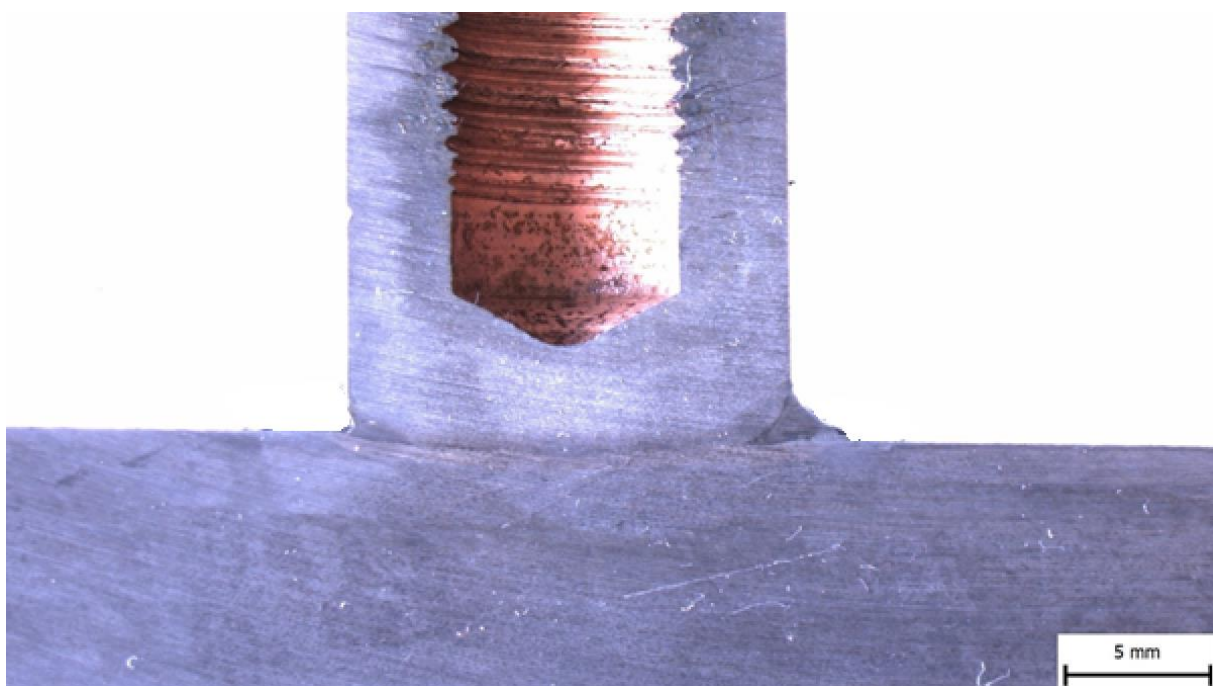


Příloha 17: Makrostruktura vzorku 4b - vyhovuje

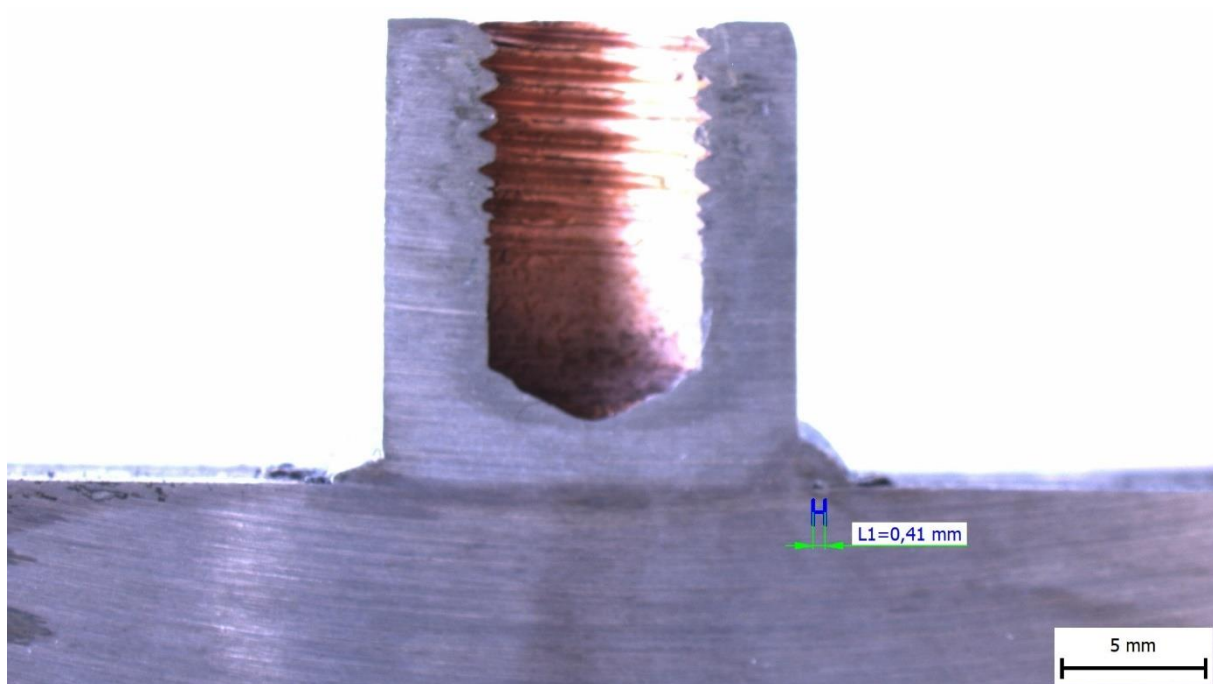




*Příloha 18: Makrostruktura vzorku 4c - vyhovuje*



*Příloha 19: Makrostruktura vzorku 4d - vyhovuje*



Příloha 20: Makrostruktura vzorku 4e - vyhovuje