

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
FAKULTA STROJNÍ

Studijní program: B0715A270013 – Strojní inženýrství
Studijní specializace: Strojírenské materiály a technologie

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

**Výhody a nevýhody mezi obloukovým svařováním a pájením
tenkých plechů do tloušťky 3 mm**

Autor: Jiří PROKOP
Vedoucí práce: Ing. Petra ČEJKOVÁ, IWE

Akademický rok 2021/2022

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI

Fakulta strojní

Akademický rok: 2021/2022

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení: **Jiří PROKOP**
Osobní číslo: **S21B0031P**
Studijní program: **B0715A270013 Strojní inženýrství**
Specializace: **Strojírenské materiály a technologie**
Téma práce: **Výhody a nevýhody mezi obloukovým svařováním a pájením tenkých plechů do tloušťky 3 mm**
Zadávající katedra: **Katedra materiálu a strojírenské metalurgie**

Zásady pro vypracování

1. Obloukové svařování MIG, MAG, TIG
2. Zásady při pájení tenkých plechů
3. Problematika svařování tenkých plechů v závislosti na použité technologii
4. Praktická část
5. Svařování a pájení vzorků plechů do 3 mm tloušťky
6. Zhodnocení svařených a pájených vzorků včetně metalografického hodnocení
7. Korozní vyhodnocení svařených a pájených spojů plechů do 3 mm
8. Celkové zhodnocení výhod a nevýhod hodnocených technologií

Rozsah bakalářské práce: **30-40 stran**
Rozsah grafických prací: **fotodokumentace, obrázky**
Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná/elektronická**

Seznam doporučené literatury:

KOVAŘÍK, R., R. Technologie svařování. 1. vyd. Plzeň:, ZČU, 2000. 185 s. ISBN 80-7082-697-5.

AMBROŽ, Oldřich, Technologie svařování. 1. vyd., Ostrava: ZEROSS, 2005. 393 s. ISBN 80-85771-81-0.

SINDOU KOU, Welding Metallurgy . second edidion, ISBN 0-471-43491-4.

OLSON, David LeRoy (volume editor) ASM Handbook: ASM Handbook: Volume 6: Welding, Bra-
zing, and Soldering: Handbook of Workability and Process Design. United States of America, Materials
Park: ASM International, 1993. 1299 s. ISBN 0-87170-382-3.

BARTÁK, Jiří a Václav PILOUS a Rudolf KOVAŘÍK. Učební texty pro evropské svářečské specia-
listy, praktiky a inspektory. 1. vyd. Ostrava: ZEROSS, 2002. 417 s. Svařování. ISBN 80-85771-97-7.

Materiály a jejich svařitelnost: učební texty pro kurzy svářečských inženýrů a technologů., Ost-
rava: ZEROSS,1999. ISBN 80-857-7163-2.

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Petra Čejková, IWE**
Katedra materiálu a strojírenské metalurgie

Konzultant bakalářské práce: **Ing. Anton Florek, CSc., Ph.D.**
Centrum energetického výzkumu

Datum zadání bakalářské práce: **15. října 2021**

Termín odevzdání bakalářské práce: **27. května 2022**

L.S.

Doc. Ing. Milan Edl, Ph.D.
děkan

Ing. Josef Odehnal, Ph.D.
vedoucí katedry

Prohlášení o autorství

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

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

V Plzni dne:

.....

podpis autora

ANOTAČNÍ LIST BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

AUTOR	Příjmení Prokop	Jméno Jiří		
STUDIJNÍ PROGRAM	B0715A270013 Strojní inženýrství			
VEDOUCÍ PRÁCE	Příjmení (včetně titulů) Ing. Čejková, IWE	Jméno Petra		
PRACOVIŠTĚ	ZČU - FST – KMM			
DRUH PRÁCE	DIPLOMOVÁ	BAKALÁŘSKÁ	Nehodící se škrtněte	
NÁZEV PRÁCE	Výhody a nevýhody mezi obloukovým svařováním a pájením tenkých plechů do tloušťky 3 mm			

FAKULTA	strojní	KATEDRA	KMM	ROK ODEVZD.	2022
----------------	---------	----------------	-----	--------------------	------

POČET STRAN (A4 a ekvivalentů A4)

CELKEM	72	TEXTOVÁ ČÁST	72	GRAFICKÁ ČÁST	0
---------------	----	---------------------	----	----------------------	---

<p>STRUČNÝ POPIS (MAX 10 ŘÁDEK)</p> <p>ZAMĚŘENÍ, TÉMA, CÍL POZNATKY A PŘÍNOSY</p>	<p>Hlavním cílem této bakalářské práce je pojednání o svařování a pájení tenkých ocelových a hliníkových plechů. Důraz práce je kladen na parametry a specifika procesu svařování metodou MIG/MAG, TIG a pájení. Práce je tematicky dělena na obecnou problematiku svařování metodami MIG/MAG, TIG, tvrdého pájení a problematiku svařování tenkých plechů. Praktická část práce je zaměřena na svařování a pájení ocelových a hliníkových plechů do tloušťky 3 mm a následné kvalitativní zhodnocení spojů s důrazem na odolnost proti korozi.</p>
<p>KLÍČOVÁ SLOVA</p> <p>ZPRAVIDLA JEDNOSLOVNÉ POJMY, KTERÉ VYSTIHUJÍ PODSTATU PRÁCE</p>	<p>MIG, MAG, TIG, svařování, svařovací parametry, svařovací zdroje, svařovací software, pájení, tvrdé pájení</p>

SUMMARY OF BACHELOR SHEET

AUTHOR	Surname Prokop	Name Jiří
STUDY PROGRAMME	B0715A270013 Mechanical Engineering	
SUPERVISOR	Surname (Inclusive of Degrees) Ing. Čejková, IWE	Name Petra
INSTITUTION	ZČU - FST - KMM	
TYPE OF WORK	DIPLOMA	BACHELOR
TITLE OF THE WORK	Delete when not applicable	
	Advantages and disadvantages between arc welding and soldering of thin sheets up to 3 mm thick	

FACULTY	Mechanical Engineering	DEPARTMENT	KMM	SUBMITTED IN	2022
----------------	------------------------	-------------------	-----	---------------------	------

NUMBER OF PAGES (A4 and eq. A4)

TOTALLY	72	TEXT PART	72	GRAPHICAL PART	0
----------------	----	------------------	----	-----------------------	---

BRIEF DESCRIPTION TOPIC, GOAL, RESULTS AND CONTRIBUTIONS	The main goal of this bachelor thesis is a dissertation on welding and production of thin steel and aluminum sheets. The emphasis is on the parameters and the specific process of welding by MIG / MAG, TIG and soldering. The work is a thematic work on the general issues of welding methods MIG / MAG, TIG, brazing and welding of thin sheets. The practical part of the work is focused on welding and production of steel and aluminum sheets up to a thickness of 3 mm and on the basis of qualitative evaluation of joints with emphasis on corrosion resistance.
KEY WORDS	MIG, MAG, TIG, welding, welding parameters, welding sources, welding software, soldering, brazing

Poděkování

Touto cestou bych rád poděkoval vedoucí této bakalářské práce Ing. Petře Čejkové, IWE za věcné rady při vypracovávání práce a Ing. Antonu Florkovi CSc., Ph.D., IWE za pomoc při vizuální zkoušce a kontrolu práce. Také bych rád poděkoval zaměstnancům Katedry materiálů a strojírenské metalurgie za pomoc s praktickou částí práce.

Dále bych rád poděkoval Bc. Martinu Brunclíkovi, IWT za cenné rady, a pomoc při zpracování bakalářské práce a týmu ze společnosti HRC-H a.s. za možnost vyzkoušení nových technologií a svařovacích zdrojů v testovací laboratoři společnosti.

Obsah

Přehled použitých zkratk a symbolů	10
Seznam obrázků	11
Seznam tabulek	13
Seznam grafů	14
Úvod.....	15
1 Obloukové svařování MIG, MAG, TIG	16
1.1 Svařování MIG, MAG.....	16
1.1.1 Princip metody MIG	16
1.1.2 Princip metody MAG.....	16
1.1.3 Svařovací zdroje pro MIG, MAG	16
1.1.4 Parametry a podmínky svařování.....	17
1.1.5 Ochranné plyny.....	18
1.1.6 Přídavné materiály	18
1.1.7 Přednosti svařovacích metod MIG, MAG před jinými metodami obloukového svařování.....	19
1.2 Svařování TIG	19
1.2.1 Princip metody	19
1.2.2 Technika svařování	20
1.2.3 Netavící se elektrody.....	20
1.2.4 Ochranné plyny	21
1.2.5 Přídavné materiály	21
1.2.6 Vady svarových spojů.....	21
1.3 Porovnání svařovací metody MIG/MAG s metodou TIG.....	21
1.4 Nové technologie ve svařování	21
1.4.1 Svařovací zdroje a softvérové produkty Kemppi.....	22
1.4.2 Svařovací zdroje a softvérové produkty Fronius	24
1.4.3 Vyhodnocení dostupných svařovacích zdrojů	25
2 Zásady při pájení tenkých plechů	26
2.1 Měkké a tvrdé pájení.....	26
2.1.1 Způsoby pájení.....	26
2.1.2 Princip pájení	26
2.1.3 Technologie pájení.....	27
3 Problematika svařování tenkých plechů v závislosti na použité technologii.....	28
3.1 Příprava tenkých plechů před svařováním	28

3.1.1	Příprava základního materiálu před svařováním tenkých hliníkových plechů ...	28
3.2	Problematika svařování tenkých plechů metodou MIG/MAG	28
3.2.1	Problematika svařování tenkých plechů z hliníkových slitin metodou MIG.....	28
3.2.2	Problematika svařování tenkých plechů z uhlíkové oceli metodou MAG	29
3.2.3	Problematika svařování tenkých plechů z austenitické oceli metodou MAG ...	29
3.3	Problematika svařování tenkých plechů metodou TIG	29
3.3.1	Problematika svařování tenkých plechů z hliníkových slitin metodou TIG.....	29
3.3.2	Problematika svařování tenkých plechů z uhlíkové oceli metodou TIG	29
3.3.3	Problematika svařování tenkých plechů z austenitické oceli metodou TIG	29
3.4	Problematika spojování tenkých plechů metodou tvrdého pájení.....	30
3.5	Jiné alternativy spojení tenkých plechů	30
3.5.1	Svařování tenkých plechů metodou CMT	30
3.5.2	Svařování tenkých plechů metodou LBW	30
3.6	Nevhodné svařovací technologie pro svařování tenkých plechů	31
4	Praktická část. Svařování a pájení vybraných materiálů z plechů o tloušťce do 3 mm....	32
4.1	Použité materiály.....	32
4.1.1	Základní materiál S235JR.....	32
4.1.2	Základní materiál AlMg3.....	32
4.1.3	Přídavné materiály	33
4.2	Použitá zařízení	33
4.2.1	Svařovací zdroj FastMig X WFX 300	33
4.2.2	Svařovací zdroj MASTER TIG 335ACDC	34
4.3	Zhotovení svarů.....	35
5	Kvalitativní vyhodnocení svařovaných a pájených spojů plechů do 3 mm.....	37
5.1	Vizuální kontrola.....	37
5.2	Kapilární kontrola	37
5.3	Metalografické vyhodnocení.....	38
5.4	Korozní vyhodnocení svařených a pájených spojů plechů do 3 mm	46
6	Diskuze výsledků.....	49
7	Závěr	51
	Seznam použitých zdrojů.....	52
	Přílohy.....	54

Přehled použitých zkratk a symbolů

Označení	Legenda
AC	Střídavý proud
CMT	Metoda svařování přenosem studeného kovu
ČSN	Česká státní norma
DC	Stejnoseměrný proud
EAN	Čárový kód
EN	Evropská norma
ISO	Mezinárodní organizace pro standardizaci
JR	Jakostní třída materiálu
LBW	Svařování laserovým paprskem
MAG	Metoda svařování tavící se elektrodou v aktivním plynu
MIG	Metoda svařování tavící se elektrodou v inertním plynu
MMA	Metoda svařování obalenou elektrodou
NDT	Nedestruktivní testování
NSS	Neutrální solná mlha
PA	Poloha svařování vodorovná shora
PB	Poloha svařování vodorovná šikmo shora
QR	Kódy rychlé akce (převzato do českého jazyka jako QR kód)
QS	Jakostní třída materiálu
RGT	Technologie svařování do zúžené mezery
RTG	Rentgenové záření
TIG, WIG, GTAW	Svařování netavící se wolframovou elektrodou v inertním plynu
TOO	Tepelně ovlivněná oblast
TPSI	Modulární platforma pro svařovací zdroje MIG/MAG
TRANSTIG	Svařovací zdroj pro svařování metodou TIG
WPS	Specifikace prostupu svařování

Seznam obrázků

Obr. 1 - Vliv ochranného plynu na tvar housenky [2]	17
Obr. 2 - Svařovací drát navinutý na plastové cívice [4].....	18
Obr. 3 - Princip svařování TIG [4].....	20
Obr. 4 - Zařízení Kemppi FastMig X [3].....	22
Obr. 5 - Zlatá medaile ocenění z Mezinárodního strojního veletrhu v Brně za rok 2015 pro svařovací zdroj Kemppi FastMig X [3]	22
Obr. 6 - Ukázka svaru do zúženého místa při použití WiseFusion™ [3]	23
Obr. 7 - Znázornění funkce WisePenetration [3].....	23
Obr. 8 - Zařízení Fronius TransTig 230i [8].....	24
Obr. 9 - Kapilární zkouška, nanesení vývojky na 4. svar	37
Obr. 10 - Kapilární zkouška, nanesení vývojky na 5. svar	38
Obr. 11 - Zhotovené metalografické vzorky.....	38
Obr. 12 - Makrostruktura 1. svaru	39
Obr. 13 - Mikrostruktura 1. svaru	39
Obr. 14 - Mikrostruktura 1. svaru přechod svar a TOO.....	39
Obr. 15 - Mikrostruktura 1. svaru přechod TOO a základního materiálu.....	39
Obr. 16 - Makrostruktura 3. svaru	40
Obr. 17 - Mikrostruktura 3. svaru	40
Obr. 18 - Mikrostruktura 3. svaru v TOO.....	40
Obr. 19 - Mikrostruktura 3. svaru základního materiálu	40
Obr. 20 - Makrostruktura 5. spoje.....	41
Obr. 21 - Mikrostruktura 5. spoje	41
Obr. 22 - Mikrostruktura 5. spoje přechod spoje a difúzní oblasti	41
Obr. 23 - Mikrostruktura 5. spoje základního materiálu.....	41
Obr. 24 - Makrostruktura 7. spoje.....	42
Obr. 25 - Mikrostruktura 7. spoje	42
Obr. 26 - Mikrostruktura 7. spoje přechod spoje a difúzní oblasti	42
Obr. 27 - Mikrostruktura 7. spoje základního materiálu.....	42
Obr. 28 - Makrostruktura 9. svaru	43
Obr. 29 - Mikrostruktura 9. svaru	43
Obr. 30 - Mikrostruktura 9. svaru v TOO.....	43
Obr. 31 - Mikrostruktura 9. svaru přechod TOO a základního materiálu.....	43
Obr. 32 - Makrostruktura 11. svaru	44
Obr. 33 - Mikrostruktura 11. svaru	44

Obr. 34 - Mikrostruktura 11. svaru TOO.....	44
Obr. 35 - Mikrostruktura 11. svaru přechod TOO a základního materiálu.....	44
Obr. 36 - Makrostruktura 13. svaru	45
Obr. 37 - Mikrostruktura 13. svaru	45
Obr. 38 - Mikrostruktura 13. přechod svaru a TOO	45
Obr. 39 - Mikrostruktura 13. svaru v TOO.....	45
Obr. 40 - Mikrostruktura 13. svaru přechod TOO a základního materiálu.....	45
Obr. 41 - Vyznačení pozice odebíraných vzorků z koutového svaru číslo 3.....	46
Obr. 42 - Vyznačení pozice odebíraných vzorků z tupého svaru číslo 14.....	47
Obr. 43 - Vzorky v korozní komoře.....	48
Obr. 44 - Vzorky vyndané z korozní komory.....	48
Obr. 45 - Závislost proudu a napětí při svařování 1. svaru.....	54
Obr. 46 - Závislost proudu a napětí při svařování 2. svaru.....	54
Obr. 47 - Závislost proudu a napětí při svařování 3. svaru.....	55
Obr. 48 - Závislost proudu a napětí při svařování 4. svaru.....	55
Obr. 49 - Závislost proudu a napětí při svařování 5. spoje	56
Obr. 50 - Závislost proudu a napětí při svařování 6. spoje	56
Obr. 51 - Závislost proudu a napětí při svařování 7. spoje	57
Obr. 52 - Závislost proudu a napětí při svařování 8. spoje	57

Seznam tabulek

Tab. 1 - Chemické složení základního materiálu S235JR [26].....	32
Tbl. 2 - Mechanické vlastnosti základního materiálu S235JR [26].....	32
Tab. 3 - Chemické složení základního materiálu AlMg3 [29].....	33
Tab. 4 - Mechanické vlastnosti základního materiálu AlMg3 [29].....	33
Tab. 5 - Technická data svařovacího zdroje FastMig X WFX 300 [31].....	34
Tab. 6 - Technická data svařovacího zdroje MASTERTIG 335ACDC [31].....	35
Tab. 7 - Parametry korozního testu.....	47
Tbl. 8 - Vizuální vyhodnocení svarů.....	58
Tab. 9 - Vyhodnocení kapilární zkoušky.....	59
Tab. 10 - Navážené hodnoty 1. svaru korozní zkoušky.....	60
Tab. 11 - Navážené hodnoty 3. svaru korozní zkoušky.....	61
Tab. 12 - Navážené hodnoty 5. spoje korozní zkoušky.....	62
Tab. 13 - Navážené hodnoty 7. spoje korozní zkoušky.....	63
Tab. 14 - Navážené hodnoty 9. svaru korozní zkoušky.....	64
Tab. 15 - Navážené hodnoty 12. svaru korozní zkoušky.....	65
Tab. 16 - Navážené hodnoty 14. svaru korozní zkoušky.....	66
Tab. 17 - Vyhodnocení navážených hodnot 1. svaru.....	67
Tab. 18 - Vyhodnocení navážených hodnot 3. svaru.....	67
Tab. 19 - Vyhodnocení navážených hodnot 5. spoje.....	67
Tab. 20 - Vyhodnocení navážených hodnot 7. spoje.....	68
Tab. 21 - Vyhodnocení navážených hodnot 9. svaru.....	68
Tab. 22 - Vyhodnocení navážených hodnot 12. svaru.....	68
Tab. 23 - Vyhodnocení navážených hodnot 14. svaru.....	69

Seznam grafů

Graf 1 - Navážené hodnoty 1. svaru korozní zkoušky pro 1/1 vzorek	69
Graf 2 - Navážené hodnoty 3. svaru korozní zkoušky pro 3/2 vzorek	70
Graf 3 - Navážené hodnoty 5. spoje korozní zkoušky pro 5/2 vzorek.....	70
Graf 4 - Navážené hodnoty 7. spoje korozní zkoušky pro 7/1 vzorek.....	71
Graf 5 - Navážené hodnoty 9. svaru korozní zkoušky pro 9/3 vzorek	71
Graf 6 - Navážené hodnoty 12. svaru korozní zkoušky pro 12/2 vzorek	72
Graf 7 - Navážené hodnoty 14. svaru korozní zkoušky pro 14/3 vzorek	72

Úvod

Význam i rozsah použití technologie svařování a pájení neustále narůstá, stejně tak i nároky na kvalitu svařovaných a pájených spojů, při co možná nejnižších nárocích na svařovací personál.

Při svařování a pájení tenkých plechů dochází k několika problémům, kterým se při vytváření těchto spojů musíme vyvarovat. Při zhotovování takovýchto spojů nastává problém se zápalem elektrického oblouku, nárůst deformace, než bývá u plechů větších tloušťek. Dalším problémem svařování tenkých plechů je samotná volba rychlosti svařování. Při chybně zvolené rychlosti dojde ke spalování základního materiálu, propálení základního materiálu, nebo se může vytvořit naopak nežádáný studený spoj.

Práce se zabývá rozborem ručních svařovacích metod MIG/MAG, TIG a metodou tvrdého pájení tenkých plechů a dále analýzou problematiky svařování a pájení tenkých plechů se zaměřením na jednotlivé metody a materiály.

Výsledkem práce je vytvoření svařovacích a pájených spojů za pomoci využití různých metod svařování a vyhodnocení vzniklých svařovaných a pájených spojů. Dále se práce zabývá vytvořením spojů vytvořených zkušeným odborníkem v oblasti svařování a spojů vytvořenými svářečem začátečníkem, při stejných podmínkách a svařovacích parametrech za pomoci nových svařovacích zdrojů opatřeným svařovacím softwarem. Následné vyhodnocení zhotovených svarů a spojů s důrazem za problematiku koroze spojů.

1 Obloukové svařování MIG, MAG, TIG

1.1 Svařování MIG, MAG

Jedná se o svařování v ochranných atmosférách s využitím přídavného drátu jako tavící se elektrodou, které se uvádí jako proces MIG/MAG. Tyto metody mají uplatnění při spojování ocelkových konstrukcí a technických zařízení a opravách kovových spojů. Svařování MIG používá při svařování vysokolegovaných ocelí a nezelezných kovů, zatímco svařování MAG se využívá převážně při svařování nelegovaných a nízkolegovaných ocelí. [1]

Metody MIG a MAG lze zefektivnit zavedením automatizace svařovacího procesu. Automatizace procesu má příznivý vliv na jakost svařovacích spojů a hygienu pracovního prostředí. Zlepší se i podmínky obsluhujícího personálu svařovacího zařízení. [1]

Díky technickým a technologickým přednostem svařovacích metod MIG a MAG získali významné postavení obloukovými metodami svařování. Vývoj těchto metod je zaměřen na zvýšení produktivity, jakosti svarových spojů, stability hoření oblouku a hygieny práce. S tímto vývojem je možnost využít i méně kvalifikovaný personál obsluhy svařovacího zařízení, aniž by se výrazně zhoršila kvalita svarového spoje. [1]

Použitím jedno-komponentního plynu, popřípadě směsi plynů se mění chemické složení svarového kovu a tím i jeho mechanické vlastnosti. Při použití jednotlivých směsí plynů se zlepší stabilita hoření elektrického oblouku, zlepší se formování svaru a sníží se rozstřík roztaveného kovu. [1]

1.1.1 Princip metody MIG

Zdrojem tepla pro při svařování metodou MIG je elektrický oblouk, který hoří mezi koncem tavícího se drátu a základním materiálem. Prostředím je inertní plyn argon (Ar) a hélium (He). Tavná lázeň a její blízké okolí je chráněno před okolní atmosférou. [1]

1.1.2 Princip metody MAG

Zdrojem tepla je stejně jako u metody MIG elektrický oblouk, který hoří mezi tavícím se koncem drátu a základním materiálem. Liší se však prostředím. U metody MAG využíváme aktivního plynu oxidu uhličitého (CO_2), nebo směsi plynů oxidu uhličitého (CO_2) a argonu (Ar), popřípadě směsi plynů oxidu uhličitého (CO_2), argonu (Ar) a kyslíku (O_2). [1]

1.1.3 Svařovací zdroje pro MIG, MAG

Svařování MIG a MAG se realizuje jako ruční, poloautomatické, strojní nebo robotické. Každý svařovací zdroj je složen ze základních komponent: svařovací zdroj, podávací mechanismus drátu, vedení drátu, svařovací hořák, řídicí jednotka, zásobník drátu, zásobník plynu, chladicí jednotka, vodiče elektrického proudu, hadice pro rozvod ochranného plynu, chladicí voda, ochranné a bezpečnostní plyny. [1]

Pro svařovací zdroje MIG a MAG je konstrukční uspořádání pro podávání drátu řešeno různými způsoby. Přídavný materiál ve formě drátu můžeme táhnout v bowdenu, můžeme jej tlačit v bowdenu, nebo můžeme využít systém, který drát bowdenem současně tlačí i táhne. [1]

1.1.4 Parametry a podmínky svařování

Faktory ovlivňující tvar a rozměry svaru nazýváme základními parametry svařování. Tyto parametry ovlivňují teplený příkon svařování, do kterého patří: svařovací proud (I), svařovací napětí (V) a posuvná svařovací rychlost (vS). Dále udáváme Měrný tepelný příkon svařování (q), který určuje množství tepla (J·mm⁻¹), které působí na jednotku délky svaru. [1]

Nejen základní podmínky svařování ovlivňují tvar a rozměr svarů při využití metod MIG a MAG. Jedná se o podmínky svařování, které udávají doplňkové veličiny. Mezi tyto podmínky patří průměr a druh přídavného drátu, délka vysunutého drátu z kontaktní koncovky, sklon hořáku, množství a druh ochranného plynu, rozměr a tvar svarových ploch, teplota základního materiálu, směr a poloha svařování. [1]

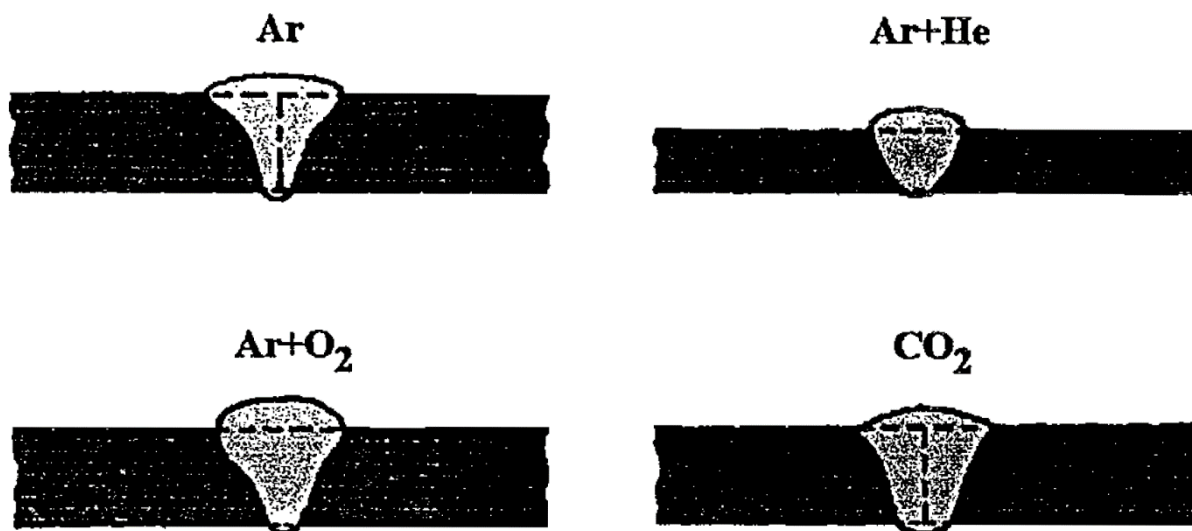
Při svařování technologií MIG/MAG se používá drát malého průměru od 0,8 do 1,6 mm, stejnosměrný proud a nepřímá polarita, což je plusový pól na svařovacím hořáku. Vzdálenost hořáku od povrchu svařovacího materiálu značenou (H) při ručním svařování je třeba udržovat v rozmezí od 15 do 25 mm, podle typu stroje a průměru dýzy. Délku oblouku značenou (h), dělíme na svařovací oblouk se zkratovým přenosem cca 3 mm a bez-zkratovým přenosem cca 6 mm. [1]

Svařování dopředu se v praxi aplikuje pod úhlem větším než 90° sklonu hořáku a povrchu základního materiálu. Tvar svaru se liší při svařování dopředu. Jeho šířka je větší a stejně tak převýšení svaru a hloubka průvaru je větší. Pro svařování dozadu je úhel mezi základním materiálem a hořákem menší než 90°. Svar, při svařování dozadu, je užší, převýšení svaru a hloubka průvaru je menší. Předehřev základního materiálu má velký vliv na hloubku průvaru a šířku svaru. Zlepšuje se kresba svarové housenky a zmenšuje se převýšení svaru. [1]

Předehřev základního materiálu zmenší převýšení svaru, zvětší se šířka a hloubka průvaru. Kresba svarové housenky se zlepšuje. [1]

Přenos kovu v oblouku ovlivňuje rozměry a formu svaru. Při bez-zkratovém přenosu kovu v oblouku je jemnější kresba svarové housenky než při zkratovém přenosu kovu v oblouku. Zkratový přenos se využívá pro svařování materiálů do 3 mm tloušťky a pro kořenové vrstvy. Sprchový přenos se používá při svařování středních a velkých tlouštěk materiálů. Sprchový přenos se také používá pro svařování kořenových housenek. [1]

Druhy ochranných plynů velmi podstatně ovlivní rozměry a tvar svarů. [1]



Obr. 1 - Vliv ochranného plynu na tvar housenky [2]

1.1.5 Ochranné plyny

Pro metodu MIG/MAG jsou ochranné plyny rozděleny pod normou ČSN EN 439. Ochranné plyny při svařování mají funkce ochrany konce drátu (elektrody), povrchu základního materiálu a svarové lázně, před nepříznivými účinky okolní atmosféry. Díky ochrannému plynu máme vytvořené vhodné podmínky pro zápal a hoření elektrického oblouku, přenos kovu a dosáhneme stabilního hoření oblouku. [1]

Ochranné plyny ovlivňují tepelný výkon elektrického oblouku, chemické složení, přenos kovu v elektrickém oblouku a samotný tvar potažmo celistvost svarového spoje. [1]

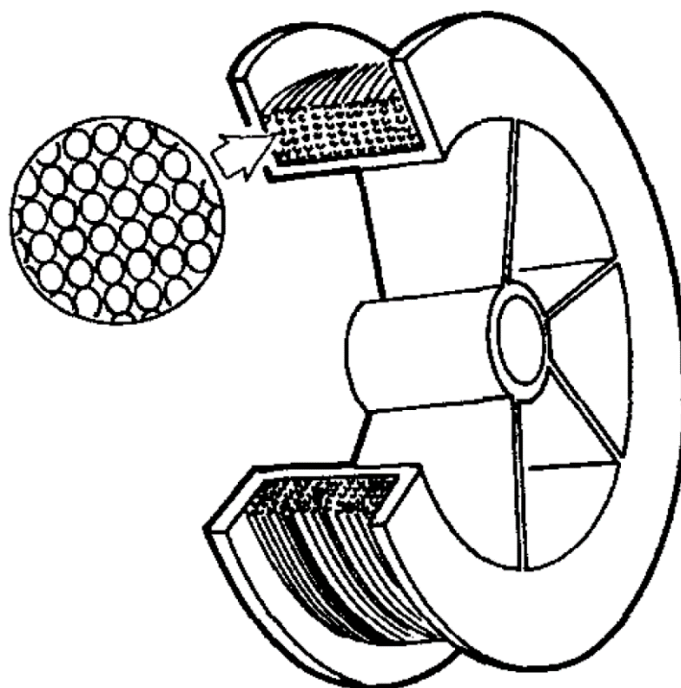
Při svařování MIG/MAG se používá ochranný plyn argon, helium, kyslík, oxid uhličitý nebo směsi těchto ochranných plynů. Směsi plynů se využívají, aby byl zaručen stabilní proces svařování a bylo dosaženo požadovaných vlastností svarového spoje. Jednosložkové ochranné plyny by nezaručili dodržení požadovaných kritérií pro svar u některých kovů a slitin. [1]

Pro svařování metodou MAG se nejčastěji používá jako ochranný plyn oxid uhličitý, kvůli své nízké ceně. Při vyšších požadavcích na kvalitu svarového spoje používáme kombinaci oxidu uhličitého a dalších plynů. Například při přidání 2 % kyslíku do použité směsi plynů, zajistíme lepší průvar svarového spoje. [3]

1.1.6 Přídavné materiály

Pro svařování MIG/MAG se používají přídavné dráty ve formě trubičkové elektrody nebo drátu. Přídavný materiál musí mít vhodné chemické složení. Dráty i trubičky se dodávají navinuté a cívkách, které jsou umístěny do ochranného obalu, který zabraňuje znehodnocení přídavného materiálu. [1]

Pro svařování MIG/MAG se používají přídavné dráty ve formě trubičkové elektrody nebo drátu. Přídavný materiál musí mít vhodné chemické složení. Dráty i trubičky se dodávají navinuté a cívkách, které jsou umístěny do ochranného obalu, který zabraňuje znehodnocení přídavného materiálu. [1]



Obr. 2 - Svařovací drát navinutý na plastové cívce [4]

1.1.7 Přednosti svařovacích metod MIG, MAG před jinými metodami obloukového svařování

Při využití těchto metod dosáhneme vysoké produktivity a hospodárnosti. Výhoda je také snadná manipulace při svařování v polohách ve stísněných prostorech. Stejně tak možnost využití metody pro ruční, mechanické i robotizované svařování. Nedílnou výhodou jsou nízké náklady na realizaci těchto metod v klasickém provedení. Při využití této metody dochází k malé deformaci svařovaných konstrukcí a svařenců, takže má tato metoda příznivé podmínky pro samotné uplatnění v praxi. Dostupnost svařovací techniky a přídavných materiálů je vysoká. [1]

1.2 Svařování TIG

Metoda obloukového svařování wolframovou elektrodou v inertním plynu známé také pod zkratkou WIG neboli Wolfram Inert Gas. V Americe se pro označení používá označení GTAW neboli Gas Tungsten Arc Welding. [5]

Tuto metodu můžeme uplatnit pro svařování technických zařízení a svařovaných konstrukcí. Podíl této metody se neustále zvětšuje díky velkému množství výhod. Mezi výhody patří například hygiena prostředí, možnost svařování železných i neželezných kovů, vysokolegovaných ocelí a pro svařování nejnáročnějších svarových spojů v jaderné energetice, kosmické i letecké technice. [2]

1.2.1 Princip metody

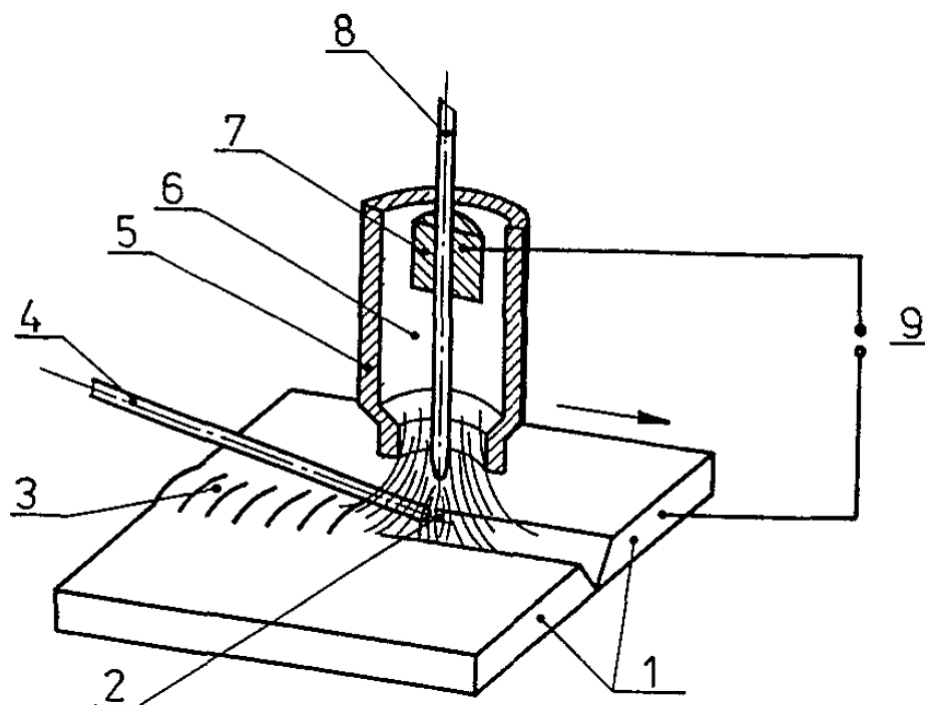
Princip metody TIG spočívá v hoření elektrického oblouku mezi netavicí se wolframovou elektrodou a základním materiálem. Při tomto svařování inertní plyn chrání svarovou lázeň, elektrodu i blízké okolí svaru. Pro netavicí se elektrodu, která bývá vyrobena pouze z wolframu, se používá ochranný plyn argon nebo helium. [2]

Metoda TIG využívá jako zdroj tepla elektrický oblouk. Svarová lázeň se tvoří natavením svarových ploch základního materiálu a přídavným materiálem. Tato lázeň následně tuhne a vytvoří nerozebíratelný spoj mezi základním materiálem a materiálem spojovaným. [2]

Pro tuto svařovací metodu můžeme využít proud stejnosměrný a pulzující proud při přímé nebo nepřímé polaritě. Také můžeme využít proud střídavý. Střídavý proud s přímou polaritou se při svařování TIG využívá nejčastěji, jelikož zajišťuje stabilní oblouk a svarový spoj s dobrými vlastnostmi i pro hůře svařitelné materiály, u kterých se na povrchu vytváří vrstva oxidů. Jedinečné je využití stejnosměrného proudu a nepřímé polarity. Tato varianta se příliš nevyužívá, a to kvůli velkému tepelnému zatížení wolframové elektrody. [2]

K samotnému zapálení elektrického oblouku může dojít dvojím způsobem. Dotykově, kdy dojde k přímému kontaktu wolframové elektrody a povrchu svařovaného materiálu, po kterém následuje rychlé oddálení při zachování malé vzdálenosti od povrchu. Druhá varianta zapálení elektrického oblouku je bezdotyková. Ionizací plynu při vysokém napětí s vysokou frekvencí zdroje dojde k zapálení oblouku. [2]

Na obrázku číslo 3 můžeme vidět: 1. svařovaný materiál, 2. elektrický oblouk, 3. svar, 4. přídavný materiál, 5. plynovou hubici, 6. ochranný plyn, 7. kontaktní kleštiny, 8. wolframovou elektrodu, 9. zdroj proudu. [4]



Obr. 3 - Princip svařování TIG [4]

1.2.2 Technika svařování

Svařovací technika určuje pohyby a polohu přídavného materiálu a svařovacího hořáku vzhledem k poloze svařovaného materiálu. Tato metoda svařování vyžaduje postup svařování vpřed. Tento pohyb znamená, že se hořák spolu s přídavným materiálem pohybují od pravého okraje plechu směrem doprava a přídavný materiál se pohybuje před hořákem. Postupně odtavovaný přídavný materiál a natavená část základního materiálu tvoří pravidelnou kresbu svaru a ochranný plyn ve formě proudu není narušen. [2]

1.2.3 Netavící se elektrody

Použité elektrody, které se natavují, mají při svařování metodou TIG tvar tyčinky o kruhovém průřezu. Jsou vyrobeny z čistého wolframu, nebo wolframu, který je obohacený oxidy titanu, zinku, lanthanu, popřípadě ceria. Důvodem použití wolframu jako elektrody je jeho teplota tavení. Pohybuje se kolem 3400 °C. Pro použití uvedených oxidů zvyšujeme emisní schopnost wolframu. Tato schopnost zajistí klidné koření elektrického oblouku. Dojde k zvýšení trvanlivosti elektrod a také ke zlepšení zápalu elektrického oblouku. [2]

Volba typu elektrody je závislá na typu použitého proudu, požadované kvalitě spoje a na oblasti použití. Zakončení elektrod se liší. Konec elektrod se může brousit nebo výjimečně lepit. [2]

Wolframové elektrody s 2 % ceru nebo thoria mají lepší emisivitu elektronů. Kapacitu přenosu proudu a odolnost proti kontaminaci mají lepší než čisté wolframové elektrody. Výsledkem je snazší zápal oblouku a samotný oblouk je stabilnější. Emisivita elektronů se týká schopnosti hrotu elektrody emitovat elektrony. Nižší emisivita elektronů znamená vyšší teplotu hrotu elektrody potřebnou k vyzařování elektronů, a tudíž větší riziko roztavení hrotu. [6]

1.2.4 Ochranné plyny

Ochranný plyn chrání při svařování TIG wolframovou elektrodu, tavnou lázeň a blízké okolí základního materiálu před nepříznivými účinky okolní atmosféry. Ochranný plyn má také vliv na svařovací oblouk po celou dobu svařovacího procesu. Konkrétně má vliv na tepelný výkon oblouku, zápal oblouku a stabilitu hoření. [2]

Pro volbu ochranného plynu je důležité zvážit cenu svařovaného materiálu. Pro vysokolegované oceli je vhodný ochranný plyn argon nebo helium, popřípadě jejich směs, aby byla zajištěna dostatečná kvalita svarového spoje. [2]

1.2.5 Přídavné materiály

Pro volbu přídavného materiálu pro svařování v ochranné atmosféře je důležité chemické složení a mechanickým vlastnostem základního materiálu. Dále záleží na požadovaných vlastnostech a typu svarového spoje. Základním požadavkem pro volbu je, že spoj musí mít alespoň stejně, nebo lepší vlastnosti než samotný základní materiál. Při svařování ocelových dynamicky namáhaných konstrukcí se volí přídavný materiál, díky kterému jsme schopni dosáhnout do jednu řadu vyšší pevnost, proti základnímu materiálu. [2]

Přídavný drát při svařování austenitických vysokolegovaných ocelí je přidán do svarové lázně za účelem dosažení požadovaného tvaru spoje a zvýšit odolnost proti vzniku dutin a trhlin svaru díky přídavným legujícím prvkům. Přídavný materiál nahradí prvky, které se při svařování vypálí a vylepší formování svaru. [2]

1.2.6 Vady svarových spojů

Jakost svarového spoje určuje celistvost svarového spoje. Důraz je kladen na mechanické vlastnosti spoje. Jsou vypracované normy ČSN EN 25817 pro ocel a ČSN EN 30042 pro hliník, ve kterých je definován stupeň jakosti spoje a vad. Požadovanou bezpečnosti předepisuje konstruktér za pomoci jakostního stupně. [2]

1.3 Porovnání svařovací metody MIG/MAG s metodou TIG

Při porovnávání svařovacích metod MIG/MAG a metody TIG se zaměřujeme na odlišnost jednotlivých metod a zaměřujeme se na výhody, které jednotlivé metody nabízí. [7]

Metoda MIG/MAG se liší pouze v dodávání přídavného kovu do svarové lázně. Hlavní výhody metody MIG/MAG pro ruční svařování jsou možnost svařování ve všech polohách, malá deformace díly malému množství tepla vneseného do svarového spoje a velmi rychlá svařovací rychlost. [7]

Metoda TIG se naopak liší použitím wolframové elektrody pro svařování. Kdy elektrický oblouk hoří mezi netavicí se elektrodou a základním svařovacím materiálem. Hlavní výhody metody TIG jsou v samotné kvalitě svarového spoje díky velmi dobré kontrole nad svarovou lázní. Dále mezi výhody této metody patří možnost svařovat bez přídavného materiálu a úzké a silné teplotní pole. [7]

1.4 Nové technologie ve svařování

Dnešní svařovací zdroje jsou ovládané pomocí softwarů. Díky softwarovému ovládní můžeme přizpůsobit svařovací charakteristiky pro MIG/MAG svařování. Pracovník, který příslušný svařovací zdroj ovládá, si může jednoduše vybrat specifický oblouk, který je vhodnější pro dané použití. Softwary zlepšují samotnou kvalitu svaru a zefektivňují produktivitu práce. [3]

1.4.1 Svařovací zdroje a softvérové produkty Kemppi

Kemppi OY zefektivňuje procesy svařování. Modifikace proudů se u této společnosti nazývá WISE. Software se využívá pro svařovací zdroje řady FastMig X8 a robotické svařovací zdroje Kemppi A7. [3]



Obr. 4 - Zařízení Kemppi FastMig X [3]



Obr. 5 - Zlatá medaile ocenění z Mezinárodního strojírenského veletrhu v Brně za rok 2015 pro svařovací zdroj Kemppi FastMig X [3]

1.4.1.1 WiseFusion™

Jedná se o proces oblouku, který má velmi dobrou kontrolu svařovací lázně ve všech pozicích. Zhotovíme svar s lepším průvarem, rychleji o a do základního materiálu vneseme menší teplo přibližně. Uplatnění je zejména v místech, kde potřebujeme zúžit svařovací oblouk. Díky tomuto softwaru jsme schopni zvýšit rychlost svařování o 30 %, vnesené teplo snížit o 25 % a dokonce můžeme ušetřit přídavný materiál o téměř 38 %. [3]

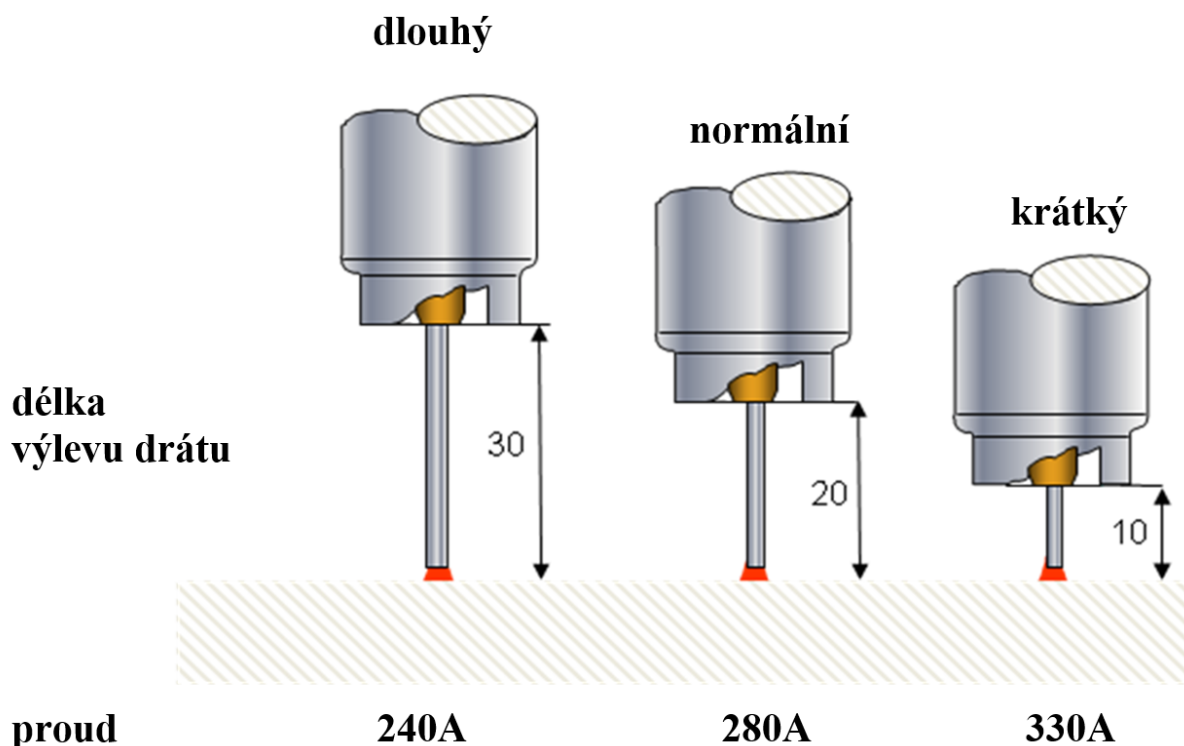
Tento software napomáhá svářeči udržet oblouk dokonale fokusovaný i při nedodržení požadovaných úhlů při jednotlivých pozicích. Jedná se o upravený oblouk, pomocí kterého zaostříme vyšší hustotu energie, což vede ke snížení příkonu tepla. [3]



Obr. 6 - Ukázka svaru do zúženého místa při použití WiseFusion™ [3]

1.4.1.2 WisePenetration

Jedná se o software, který je navržen pro vytvoření a udržení konzistentní kvality svaru, při které je svařovací hořák v náročné pozici. Je navržen pro změny délky svařovacího oblouku a delším výlevem přídavného drátu. Software zajistí rovnoměrnost průvaru při změnách délky oblouku a dodávání konstantního proudu pro svařování. [3]



Obr. 7 - Znárodnění funkce WisePenetration [3]

1.4.1.3 WiseRoot+

WiseRoot+ je software určený pro svařování kořenové vrstvy svaru, kdy efektivně uzavře kořenový spoj. Díky tomuto softwaru můžeme ve všech polohách svařovat kořen, a to i v poloze shora dolů. Mezera mezi svařovaným materiálem může být i 6 mm bez potřeby podložení. [3]

Společnost Kemppi při tomto procesu využívá i velmi přesné měření napětí, aby mohla být udržena aktuální hodnota proudu. Při detekci zkratu se okamžitě zvýší proud, který spustí přenos kapky kovu, která je přidána z přidavného drátu do svarové lázně. Následně dojde ke snížení proudu a kapka kovu se oddělí. Zkrat skončí. V bodě nízkého proudu zkrat končí a dochází k jinému přenosu přidavného kovu, při kterém se minimalizuje rozstřík. [3]

1.4.1.4 *WiseThin™*

WiseThin je software, který zajišťuje modifikovaný oblouk pro svařování a pájení tenkých plechů bez rozstříku přidavného kovu. Software také zvyšuje rychlost svařování a zmenšuje vnesené teplo. Umožňuje svařovat vertikálně dolů a snižuje tepelný příkon až o 15 %. Díky tomu se snižuje pnutí ve svařovaných konstrukcích. [3]

1.4.1.5 *Kemppi RGT pro automatizované svařování*

Kemppi Reduced Gap Technology je řešení automatizovaného svařování MIG/MAG materiálů o tloušťce do 30 mm do velmi úzké mezery. Při využití standardních softwarů a vybavení. RTG je kombinace dříve uvedených softwarů WiseFusion a WisePenetration za účelem mechanizovaného svařování. Tento systém řízení zajistí rovnoměrný průvar a silný fokusovaný oblouk. [3]

1.4.1.6 *WeldEye*

Jde o kompletní systém pro sledování, řízení výroby, vyhodnocení kvality svařování a evidenci. Slouží pro sledování odchylek od WPS a podporu managementu. Po propojení se čtecím zařízením čárových kódů, software zjednoduší a zefektivní výrobu při přečtení EAN nebo QR kódu. Svařovací software lze použít pro svařovací zdroje od všech výrobců. [3]

1.4.2 Svařovací zdroje a softvérové produkty Fronius

Tato společnost v posledních letech zaměřila své úsilí na svařovací zdroje pro metody TIG. Zejména se jedná o zlepšení mobilní varianty svařovacího zdroje pro ruční svařování TRANSTIG. Nicméně ani u ostatních svařovacích metod nezůstala pozadu oproti konkurenčním společnostem. Pro svařovací metodu MIG/MAG využívají zajímavou variantu provedení TPSI. [8]



Obr. 8 - Zařízení Fronius TransTig 230i [8]

1.4.2.1 WeldCube

WeldCube je software který slouží pro dokumentaci a následnou analýzu dat. V aplikaci můžeme použít funkce, pomocí kterých můžeme spravovat data. Výstupem této aplikace je grafické zobrazení získaných dat. Společnost Fronius tento software dodává v různých variantách, které se liší samotnou funkčností. Od omezené varianty nazvané Basic, až po plnohodnotnou verzi softwaru, která je značena jako Premium. [8]

Nevýhodou WeldCube je uplatnění. Svařovací software lze použít pouze na zdroje od výrobce Fronius. [3]

1.4.2.2 WeldConnect

WeldConnect je aplikace díky které svářeč získá přesné informace o konkrétním svaru. Svářeč se před samotným svařováním z aplikace dozví, jaký materiál, ochranný plyn a přídavný materiál má pro svarový spoj použít. Data do aplikace uživatel přidává ručně nebo zavedením označení materiálu QR kódem. [8]

1.4.2.3 Welducation Basic

Jde o aplikaci, kterou společnost Fronius používá pro vzdělávání v oblasti svařování. Nejedná se zde o výuku učení nazpaměť. Jednoduchou hravou formou se uživatel dozví zajímavé informace z oblasti svařování. [8]

1.4.3 Vyhodnocení dostupných svařovacích zdrojů

Volba svařovacího zdroje se bude lišit podle různých faktorů. Především záleží na následném využití svařovacích zdrojů. Zda-li zdroje budou využity pro komerční či akademické účely. Dále musíme zohlednit softwarové požadavky a požadavky na kvalitu svařovacích zdrojů. V případě ceny svařovacích zdrojů můžeme vybírat z celé škály výrobců například ESAB nebo méně známé výrobce jako je například Kührtreiber. [9]

Pro zvýšení produktivity a kvality svarových spojů je vhodné použít svařovací zdroje se softwarem, které jsou určeny pro zefektivnění práce, jako jsou například produkty Wice od společnosti Kemppi. [3]

2 Zásady při pájení tenkých plechů

Při pájení je nejdůležitější rychlost posuvu. Při nízké rychlosti posuvu u pájení dochází k difúzi mědi do základního materiálu a tím základní materiál křehne. Avšak použití přídavného materiálu na bázi Cu vede ke snížení tepelného příkonu a ve srovnání se současně používanými svařovacími procesy, použití Cu může mít výhody týkající se deformací, dodatečného zpracování a pevnosti spoje v tahu. [10]

2.1 Měkké a tvrdé pájení

Pájení je proces, při kterém za pomoci roztavené pájky vytváříme nerozebíratelný spoj. Spojované plechy, při tomto procesu, nejsou natavené. Jsou pouze smáčené v pájce. Při pájení dochází k rozpuštění stykových ploch základního materiálu v roztavené pájce a k difúzi. Přídavný materiál neboli pájka má nižší teplotu tavení než základní materiál. Při této metodě spojování materiálů se používá ochranný plyn nebo tavidlo. Tavidlo chrání pájenou plochu před další oxidací, příznivě ovlivňuje povrchové napětí pájky a odstraňuje oxidy. [5]

2.1.1 Způsoby pájení

Pájení rozdělujeme podle teploty. Měkké pájení je, když pájka má teplotu tavení pod 450 °C a používá se tavidlo. Tvrdé pájení je, když pájka má teplotu tavení nad 450 °C a používá se také tavidlo. Vysokoteplotní pájení je, když pájka má teplotu nad 950 °C a pájíme v ochranném plynu nebo ve vakuu. [5]

2.1.2 Princip pájení

Předpoklad pro vytvoření kvalitního spoje je, aby tavidlo, pájka i základní materiál byly dostatečně ohřáty na svou pracovní teplotu a aby měly pájka spolu se základním materiálem dobré vlastnosti pro pájení. [5]

Smáčivost je vlastnost roztavené pájky vytvořit na povrchu povlak smáčení menší než 90°. Tento úhle záleží na pájce, tavidle i druhu základního materiálu. Dá se však zlepšit přidáním některých prvků. Mezi tyto prvky patří například nikl nebo olovo. [5]

Pájitelnost lze charakterizovat jako komplexní vyjádření vzájemné vhodnosti pájky, tavidla i základního materiálu vytvořit spoj s požadovanou kvalitou. Pájitelnost je ovlivněna pracovní teplotou, velikostí mezery i samotné doby pájení. [5]

Další důležitou vlastností je roztékavost roztavené pájky nebo tavidla. Kdy se na vodorovné ploše základního materiálu a při určité teplotě může pájka nebo tavidlo roztékat. [5]

Vzlínavost je další vlastností roztavené pájky, díky čemuž lze vyplnit mezeru o určité velikosti za působení kapilární síly při určité teplotě. Kapilární síla je ovlivněna napětím na povrchu základního materiálu a roztavené pájky. [5]

Již zmiňovaná pájecí teplota je dosažena, když roztavená pájka dosáhne všech požadovaných vlastností. [5]

Při pájení dochází k metalurgické reakci v místě, kde na základní materiál působí roztavená pájka. V tomto místě dochází k několika reakcím. Vzájemné difúzi pájky a základního materiálu, k adheznímu působení, reakcí s povrchovými oxidy a k samotnému rozpuštění základního materiálu roztavenou pájkou. Vznikne zde přechodová oblast jak na straně pájky, tak na straně základního materiálu. V této oblasti dochází ke změně fyzikálních i mechanických vlastností. V této oblasti dochází ke snížení kvality spoje. Zejména při

přítomnosti intermediálních fází, které jsou křehké. Šířka přechodové oblasti je ovlivněna vzájemnou rozpustností základního materiálu a pájky. Čím je vzájemná rozpustnost větší, tím roste šířka přechodové vrstvy. Strukturu pájky, kterou pájka bude mít v přechodové oblasti, můžeme hodnotit za pomoci rovnovážných diagramů. [5]

2.1.3 Technologie pájení

Pájení je proces, který se skládá z několika různých operací. Od přípravy pro pájení, dosažení pájecí teploty, vytvoření spoje, chladnutí spoje a očištění vzniklého spoje. Někdy se do procesu zařazuje i tepelné zpracování. [5]

Příprava ploch pro pájení se nejčastěji provádí soustružením nebo frézováním. Pro proces pájení postačí povrch válcovaný nebo lisovaný. Důležitá je následná příprava povrchu, kdy jej důkladně očištíme a odmastíme, jelikož během pájení nesmí dojít ke změnám vlastností spojovací mezery. Pájka má více podob. Může být ve formě folie, pásku nebo drátu. Nutné je pájku umístit co nejbližší k spoji, tak aby se předem zformovala do požadovaného tvaru. Po zahřátí dojde k dobrému zaplnění mezery. Samotný ohřev může být lokální nebo se může zahřát celá spojovaná součást. [5]

V případě potřeby zařazujeme do postupu pájení takzvaný předeheřev. Výjimečně do procesu pájení zařazujeme proces rozpouštěcího žihání hned po vytvoření spoje. Po tomto žihání následuje pokles teploty. Této teplotě říkáme teplota manipulační, po které následuje proces popouštění. Konečné operace spočívají v odstranění zbytků tavidla.

Výhodou spojování materiálů procesem pájení je velmi vysoká produktivita práce. Pájení lze mechanizovat i automatizovat. Spoj má menší vnitřní pnutí, dobrou rozměrovou přesnost. Hlavní výhodou tohoto spojování je možnost spojovat kovové, nekovové materiály i jejich vzájemná kombinace. [5]

2.1.3.1 Měkké pájení

Měkké pájení má svůj název kvůli měkkým pájkám, které mají teplotu tavení pod 450 °C. Tyto pájky mají poměrně nízkou pevnost. Jsou tedy vhodné pro spoje, které jsou málo namáhané pevnostně a také pro spoje, které nemají zvýšenou provozní teplotu. Hlavní skupinou těchto pájek jsou pájky na bázi cínu a také pájky speciální. Zvláštní skupinu měkkých pájek jsou pájky, které jsou z lehkých kovů. [1]

2.1.3.2 Tvrdé pájení

Tvrdé pájení je pájení za pomoci takzvaných tvrdých pájek, které budou muset přenést vyšší mechanické namáhaní a mohou mít vyšší pracovní teplotu než měkké pájky. Tvrdé pájení můžeme využít i pro spoj, který bude určen pro velmi nízké teploty až teploty kryogenní. [1]

3 Problematika svařování tenkých plechů v závislosti na použité technologii

Většina kovů může být odporově bodově svařena, pokud je použito vhodné zařízení ve spojení s vhodnými svařovacími podmínkami. To platí zejména pro výrobky z tenkých plechů nebo pásových ocelí, bez povlaku i s povlakem. [11] Při svařování tenkého materiálu je cílem minimalizovat zkreslení a rozstřík, zabránit propálení a vytvořit kvalitní svar s odpovídající fúzí. [12]

3.1 Příprava tenkých plechů před svařováním

Pro získání více kusů základního materiálu můžeme pro tenké plechy použít celou řadu technologií pro řezání tenkého materiálu. Stříhání je velmi často používanou technologií. Při použití této technologie si musíme dát pozor na ořep, který vzniká na střížné hraně. Tento ořep se musí před svařováním odstranit. U stříhání tenkého materiálu o malé šířce může nastat zkroucení výstřižku, které je také nežádoucí a rovnání tenkých plechů je problematické. Řezání vodním paprskem je vhodnou variantou pro dělení tenkých plechů, kvůli nevnesenému teplu, nicméně je tato metoda nákladnější, kvůli pomalé řezné rychlosti. Při řezání plazmou dochází ke zkosení řezné plochy, ale pro malé tloušťky plechů toto zkosení můžeme zanedbat. Pro plazmové řezání je řezná rychlost dostatečná, abychom nedocházelo k značným deformacím. Plazmové řezání je vhodnější než řezání plamenem, jelikož při řezání plamenem dochází ke značným deformacím díky velkému tepelnému ovlivnění. Řezání laserem je pro dělení tenkých plechů nejvýhodnější. Přesnost, nízké deformace, dostatečná kvalita řezu, velká řezná rychlost jsou hlavní výhody řezání laserem. Po nadělení tenkých plechů je velmi důležité přesné sestavení základního materiálu do požadovaného tvaru, jelikož by i malá odchylka negativně ovlivnila nastavené svařovací parametry. [13]

3.1.1 Příprava základního materiálu před svařováním tenkých hliníkových plechů

Při svařování hliníku je velmi důležitá příprava hran, kde vznikne svarový spoj. Hliník je jedinečný v tom, že má vrstvu těžkého oxidu, která má vyšší teplotu tání než základní materiál. Příprava spoje drátěným kartáčováním nebo broušením oxidové vrstvy a použitím rozpouštědla k jejímu čištění usnadní svařování a vytvoří čistší svar. [12] Hliníkové a mosazné plechy se však lépe odporově svařují než plechy měděné. Je to způsobeno vyšším elektrickým odporem a nižší tepelnou vodivostí materiálu. [14]

3.2 Problematika svařování tenkých plechů metodou MIG/MAG

3.2.1 Problematika svařování tenkých plechů z hliníkových slitin metodou MIG

Metoda MIG je pro svařování tenkých hliníkových plechů používána pouze výjimečně. Je to způsobeno velkou tepelnou vodivostí hliníku. Dochází k rychlému ohřívání celého dílu v průběhu svařování. Tato vlastnost hliníku vyžaduje snížení svařovacích parametrů, nebo rychlosti svařování v průběhu svařování. Kvůli vysoké rychlosti může nastat problém se zapálením oblouku, nebo může vzniknout takzvaný hrbol rychlým natavením základního materiálu. Hrbol vzniká na začátku svarového spoje. Při použití této metody je nutné zvolit malý průměr přídavného drátu. I přesto lze vytvořit kvalitní svar s úhlednou strukturou metodou MIG. Ochranný plyn volíme čistý Ar nebo směs s héliem v případě, že svařujeme hliníkové slitiny o různých tloušťkách. Helium umožní rychlejší nahřátí materiálu o větší tloušťce, což snižuje riziko upálení základního materiálu o menší tloušťce. [13]

3.2.2 Problematika svařování tenkých plechů z uhlíkové oceli metodou MAG

Svařování metodou MAG je často voleno při svařování tenkých plechů z uhlíkové oceli. Kvalita svaru i rychlost svařování jsou hlavní aspekty pro volbu této metody. Problém při svařování vzniká při svařování menších tloušťek základního materiálu a použití této metody je obtížnější. Z tohoto důvodu se v normách objevují parametry svařování od 1,5 mm tloušťky základního materiálu. Základní podmínka při svařování metodou MIG tenkých plechů je, že průměr přídavného materiálu by neměl překročit 1 mm. Ochranný plyn se používá směs s nižším obsahem Ar. Tenké plechy bývají často ošetřeny povlakem. Plechy mohou být pozinkované nebo pohliníkové. Při svařování takto ošetřených plechů se používají směsi ochranných plynů s vyšším zastoupením CO₂. [13]

3.2.3 Problematika svařování tenkých plechů z austenitické oceli metodou MAG

Při svařování austenitické oceli metodou MAG je vhodné použít směs ochranného plynu s nižším zastoupením vodíku, kvůli jeho vlastnosti dobrého vedení tepla. Ochranný plyn je zvolen s větším zastoupením CO₂. Přídavný materiál pro svařování tenkých plechů neměl přesáhnout 1 mm. [13]

3.3 Problematika svařování tenkých plechů metodou TIG

V případě svařování metodou TIG není nutný předehřev základního materiálu. Při svařování tenkých plechů do 3 mm se používá pulzní proud, na rozdíl od svařování materiálů větší tloušťky, kde se používá stejnosměrný svařovací proud. Při tomto svařování se nepoužívá tavidlo, ale ochranný plyn Ar s vysokou čistotou. Nejméně 99,95 % zastoupení hmotnosti Ar. Chemické složení přídavného materiálu musí být stejné jako u základního materiálu. [15]

3.3.1 Problematika svařování tenkých plechů z hliníkových slitin metodou TIG

Pro svaření tenkých hliníkových plechů se nejčastěji používá metoda TIG. Pro odstranění oxidů na povrchu hliníku se používá pro svařování střídavý proud. Při rozdílné tloušťce základního materiálu se používá jako ochranný plyn směs argonu s héliem. Moderní svařovací zdroje zjednodušují svařování slitin hliníkových plechů. Software upravuje půvlivnu střídavého proudu na optimální úroveň v plusových i minusových hodnotách. Vzniká kvalitní svarový spoj. [13]

3.3.2 Problematika svařování tenkých plechů z uhlíkové oceli metodou TIG

Tato metoda se používá méně často pro svařování tenkých plechů z uhlíkové oceli, kvůli nízké produktivitě této metody. Přesto je tato metoda pro spojení těchto plechů používána, kvůli vynikající kvalitě svarového spoje. Ochranný plyn se používá argon. Proud volíme stejnosměrný. Při svařování základního materiálu o tloušťce do 2 mm, volíme průměr wolframové elektrody v rozmezí od 1 do 1,6 mm. Můžeme však použít i větší průměry wolframových elektrod. [13]

3.3.3 Problematika svařování tenkých plechů z austenitické oceli metodou TIG

Pro svařování tenkých plechů z austenitické oceli se nejčastěji používá svařovací metoda TIG, jelikož jde často o výrobky pro chemický nebo potravinářský průmysl, kde jsou vysoké požadavky na kvalitu svarového spoje, a také o plynulý přechod základního materiálu a svarového spoje. Ochranná atmosféra je zde velmi důležitá. Používá se jako ochranný plyn argon nebo směs argonu a vodíku pro zajištění větší tekutosti svarové lázně, a tedy získání

možnosti zvýšení svařovací rychlosti. Při svařování austenitické oceli metodu TIG je kladen větší důraz na ochranu kořene. [13]

3.4 Problematika spojování tenkých plechů metodou tvrdého pájení

Spojování tenkých plechů metodou tvrdého pájení ovlivňuje mezera. Mezera mezi základním materiálem pro tvrdé pájení mědi musí být velmi malá, jelikož je měď v kapalném stavu velmi tekutá. Při konstrukci a výrobě pájených komponent se musí brát v úvahu tepelná roztažnost použitých kovů, to je tekutá je pájecí slitina při pájení a hloubku spoje, aby se dosáhlo požadované pevnosti spoje. [16]

3.5 Jiné alternativy spojení tenkých plechů

3.5.1 Svařování tenkých plechů metodou CMT

Cold Metal Transfer (CMT) je považována za novou metodu spojování, která uspokojuje stále přísnější požadavky, z nichž nejdůležitější jsou stabilita procesu, reprodukovatelnost a nákladová efektivita. Běžně se pro svařování tenkých plechů používá dip oblouk nebo zkratový oblouk. Proces CMT je založen na řízeném pulzním svařovacím proudem a napětím a je v zásadě derivátem procesu MIG/MAG. Probíhá zde přenos přídavného kovu do svařovací lázně bez aplikovaného napětí a proudu. Přídavný drát je neustále zatahován ve velmi krátkých intervalech. Přesně definované posuny drátu usnadňuje řízené oddělování kapiček a zajišťuje čistý přenos materiálu bez rozstříku. K pohybu drátu dochází s vysokou frekvencí. Přibližně se oddělí 70 kapiček za sekundu. Obzvláště zajímavý je vysoce dynamický podavač drátu, přímo ve svařovacím hořáku. V okamžiku, kdy je zdroj energie detekuje zkrat, svařovací proud poklesne a přídavný drát se začne zasunovat. Jedna kapička je oddělena, bez nebo s několika stříkanci. Plnicí drát se poté opět pohybuje vpřed a cyklus se opakuje. Vysoká frekvence a přesná kontrola pohybů jsou základními požadavky pro řízený přenos materiálu. Pohon drátu na svařovacím hořáku je navržen pro rychlost, nikoli pro vysoké tažné síly. Drát je proto podáván výkonnějším, ale vzhledem k výše uvedeným skutečnostem pomalejší hlavní podavačem drátu. Nárazník drátu na hadici pro jeho podávání se používá k přeměně superponovaného vysokofrekvenčního pohybu drátu na lineární posuv. [17]

Při svařování hliníkových slitin plechů metodou CMT bylo zjištěno zpomalení rekrystalizace za studena válcovaného hliníkového plechu během procesu svařování oproti jiných svařovacím metodám. Minimální přivedené teplo zvyšuje pevnost a tvrdost svarového spoje. Velikost mezery mezi základním materiálem ovlivňuje kvalitu svarového spoje vytvořeného metodou CMT. Při menší mezeře se zvyšují tavné vlastnosti přídavného materiálu. [18]

3.5.2 Svařování tenkých plechů metodou LBW

Laser Beam Welding (LBW) je moderní svařovací proces používaný k vytvoření homogenních i heterogenních spojů pomocí laserového paprsku. Laserové svařování je založeno na interakci laserového světla s hmotou. Laser je obecně zaměřen na povrch materiálu a je částečně absorbován. Prvním krokem při laserovém svařování je laserová absorpce. Absorbovaná energie se přenáší vedením na přídavný materiál v sypaném svaru. Tavný materiál okamžitě ztuhne a vytvoří svarový spoj. Tato metoda má široké spektrum využití. [19] Laserové svařovací systémy jsou schopné svařovat mnoho kovových i nekovových materiálů. [20]

Při svařování tenkých plechových slitin hliníku je důležité vzít v úvahu vliv vzdálenosti rozostření, protože jeho zvětšení nebo zmenšení způsobí prudký pokles hustoty výkonu laserového paprsku na horním povrchu svaru. [21]

3.6 Nevhodné svařovací technologie pro svařování tenkých plechů

Nízkoenergetické procesy, často označované jako studené procesy, jsou omezeny rychlostí posuvu drátu, a proto nejsou vhodné pro vysokorychlostní svařování materiálů o tloušťce 3–6 mm. [22]

MMA svařování lze v zásadě použít pro tloušťku základního materiálu začínající od 1,5 mm, ale mnoho výrobců vyrábí tyčové obalené elektrody začínající od průměru 2,0 mm, protože velmi tenké plechy jsou nejčastěji svařovány metodou TIG. Tím se zvyšuje minimální tloušťka základního materiálu pro svařování MMA na 2 mm. [23]

4 Praktická část. Svařování a pájení vybraných materiálů z plechů o tloušťce do 3 mm

Cílem experimentální části bylo zhotovení tupých a koutových pájených a svařovaných spojů plechů z různých materiálů o tloušťce od 3 mm. Pro zhotovení svarů bylo použito více svařovacích zdrojů, různé ochranné plyny a svary byly zhotoveny svářeči s různými zkušenostmi, aby byla ověřena funkčnost použitých svařovacích softwarů s důrazem na kvalitu svařovaných a pájených spojů.

4.1 Použité materiály

V rámci této práce je realizováno homogenní svařování, tedy svařování dvou plechů ze stejného materiálu konstrukční nízkolegovaná oceli S235JR a použitého přídavného materiálu G_3Si . Pájení již použité oceli S235JR s požitím přídavného materiálu $CuSi_3$. Dále je realizováno svařování hliníkových plechů $AlMg_3$ s použitím přídavného materiálu $AlSi_5$. Tyto materiály byly vybrány jako vhodné zástupci slitin s vynikající svařitelností a hojnému využití těchto materiálů a jejich zástupců ve strojírenství a automobilovém průmyslu. Použité základní i přídavné materiály mají odlišnou odolnost proti korozi.

4.1.1 Základní materiál S235JR

Jedná se o nelegovanou ocel, která se používá jako konstrukční materiál pro nízko namáhané konstrukce a ve strojírenství. Ocel má vysokou houževnatost a velmi dobrou svařitelnost. [24] Pro svařování nosných konstrukcí se používá jakost oceli QS, což je plně uklidněná ocel. Ocel jakostního stupně JR je vhodná pro méně zatížené konstrukce. Tato ocel není odolná proti atmosférické korozi a je nutná povrchová ochrana. [25]

Chemické složení a fyzikální vlastnosti pro ocel S235JR jsou uvedeny v tabulce číslo 1 a 2.

Tab. 1 - Chemické složení základního materiálu S235JR [26]

Chemické složení – rozbor tavby	C	Si	Mn	P	S	N
Hmotnostní podíl v %	0,17	-	1,4	0,04	0,04	0,009

Tbl. 2 - Mechanické vlastnosti základního materiálu S235JR [26]

Minimální mez kluzu [MPa]	235
Minimální pevnost v tahu [MPa]	360
Tažnost [%]	40

4.1.2 Základní materiál AlMg3

Materiálem je slitina hliníku a hořčíku. Tato slitina je dobře svařitelná všemi běžnými svařovacími metodami. [27] Tento materiál má zvýšenou odolnost proti korozi, proto se používá u lodních konstrukcí v chemickém i potravinářském průmyslu. [28]

Tab. 3 - Chemické složení základního materiálu AlMg3 [29]

Chemické složení – rozbor tavby	Mn	Si	Cr	Ti	Al	Mg	Zn	Fe
Hmotnostní podíl v %	0,3	0,25	0,3	0,1	zbytek	3	0,2	0,2

Tab. 4 - Mechanické vlastnosti základního materiálu AlMg3 [29]

Minimální mez kluzu [MPa]	80
Minimální pevnost v tahu [MPa]	190
Tažnost [%]	20

4.1.3 Přídavné materiály

Přídavný materiál G_3Si je dodáván jako poměděný drát označený jako Weld G_3Si1 , který je určený pro svařování nelegovaných a nízko legovaných konstrukčních ocelí metodou MAG. Typické použitím tohoto drátu je při svařování ocelových konstrukcí při výrobě. Drát je vhodný pro svařování tupých i koutových svarů ve všech polohách. Lze použít ochranný plyn Ar/ CO_2 i čistý CO_2 . [30]

Přídavný materiál $CuSi_3$ v podobě svlařovacího drátu pro svařování metodou MIG/MAG. Jako ochranný plyn se používá čistý Ar. [30]

Přídavný materiál $AlSi_5$ ve formě drátu pro svařování hliníku a hliníkových slitin AlMgSi a slitin typu AlSi s obsahem Si do 7 %. [30]

4.2 Použitá zařízení

K samotnému svařování byly použity dvě svařovací sestavy pro ruční svařování od firmy Kemppi. Svařovací sestavy se skládají ze svařovacího zdroje, svařovací hlavy, podavače drátu, ovládacího panelu a láhve s ochranným plynem. Pro svařování metodou MAG a tvrdého pájení byl použit svařovací zdroj FastMig X WFX 300, který je poprán v dalším bodě práce. Pro svary vytvořené svařovací metodou TIG byl použitý svařovací zdroj MASTERTIG 335ACDC.

4.2.1 Svařovací zdroj FastMig X WFX 300

Svařovací zdroj MastMig X je představitel nejnovější generace invertorových svařovacích zdrojů. Výrobce zde kombinuje nejnovější technologie v oblasti svařování spolu se softwarovou výbavou aplikovanou v různých konfigurovatelných modulech. [31]

Použitý svařovací zdroj byl opatřen svařovacím softwarem WiseFusion a WiseThin. Technická data svařovacího zdroje FastMig X WFX 300 jsou uvedeny v tabulce číslo 5.

Tab. 5 - Technická data svařovacího zdroje FastMig X WFX 300 [31]

Napětí sítě	3 □ 50/60 Hz	400 V (-15...+20%)
Jmenovitý výkon	60 % ED	
	80 % ED	16.0kVA
	100 % ED	15,3kVA
Výstup 40 °C	60 % ED	
	80 % ED	350 A
	100 % ED	330 A
Rozsah svařovacího proudu a napětí	MMA	15 A/20 V – 350 A/46 V
	MIG	20 A/12 V – 350 A/46 V
Maximální svařovací napětí MMA		46 V
Otevřený okruh napětí	MMA	U ₀ = 70 – 98 V, U _{av} = 50 V
	MIG/MAG, Pulse	U ₀ = 80 – 98 V
Otevřený okruh výkonu		100 W
Účinnost při maximálním proudu		0,85
Účinnost při maximálním proudu		87 %
Rozsah provozních teplot		-20...+40 °C
Rozsah teplot skladování		-40...+60 °C
EMC třída		A
Stupeň ochrany		IP235
Vnější rozměr	L x W x H	590 x 230 x 430 mm
Hmotnost		38 kg

4.2.2 Svařovací zdroj MASTER TIG 335ACDC

Jedná se o svařovací zdroj nových generací AC a DC TIG svařování. Tento svařovací zdroj pracuje při poměrně velké energetické účinnosti. Technická data svařovacího zdroje MASTER TIG 335ACDC jsou uvedené v tabulce číslo 6. [31]

Tab. 6 - Technická data svařovacího zdroje MASTERTIG 335ACDC [31]

Napětí síťového připojení	3 50/60 Hz	380...460 V AC
Jištění		16 A
Napětí otevřeného obvodu (průměr)	MMA	50 V
Jmenovitý maximální výkon 40 °C	40 % TIG	300 A / 22 V
Rozsah výstupu	TIG	10 A / 1 V...300 A / 38 V
Rozsah provozních teplot		-20...+40 °C
EMC třída		A
Stupeň ochrany		IP23S
Vnější rozměry L x W x H	mm	544 x 205 x 443
Hmotnost bez příslušenství	kg	22.0 kg
Doporučený výkon generátoru (min)	Sgen	20 kVA
Průměry tyčových elektrod	ø mm	1,6...6,0 mm
Normy		IEC 60974-1, -3, -10 IEC 61000-3-12 AS 60974, 1-2006 *

4.3 Zhotovení svarů

Pro bakalářskou práci bylo zhotoveno celkem 10 svařovaných a 4 pájené spoje ve svařovací laboratoři ARC-H Welding s.r.o. v Plzni. Svary byly zhotoveny metodou MAG, metodou tvrdého pájení a metodou TIG. Svary byly vytvořeny paralelně svářeči s rozdílnými zkušenostmi v oblasti svařování svářečem začátečníkem, tedy mnou a svářečem profesionálem s více jak dvaceti lety praxe v oblasti svařování. Svary byly zhotovovány pro spojení tenkých plechů o různé tloušťce až do tloušťky 3 mm a pro práci bylo vytvořeno 12 koutových svarů a spojů ve svařovací poloze PB a 2 tupé svary ve svařovací poloze PA. Každý z vytvořených svarů byl označen pořadovým číslem.

Svary vytvořené metodou MAG byly 4 v poloze PB za pomoci svařovacího zdroje FastMig X WFX 300. Základní materiál byly použité ocelové plechy S235JR o různých tloušťkách a přídavný materiál byl použit G3Si ve formě drátu o různých průměrech. Pro tyto svary byl použit ochranný plyn 18 % Ar + CO₂. Pořadově 1. svar byl zhotoven z plechů o tloušťce 1 mm, druh svaru byl koutový, průměr přídavného materiálu byl 0,8 mm. Použitý svařovací software byl WiseThin a použité svařovací parametry byly 65 A, 16,3 V s posuvem drátu 3,7 m/min. Tento svar byl zhotoven svářečem profesionálem. Pořadově 2. svar byl vytvořen za stejných podmínek, jak svar 1., jen jej zhotovil svářeč začátečník. Svar 3. byl zhotoven z plechů o tloušťce 3 mm, druh svaru byl také koutový, průměr přídavného materiálu byl 1 mm. Použitý svařovací software byl tentokrát WiseFusion, použité svařovací parametry byly 131 A, 20,4 V s posuvem drátu 7 m/min a svařil svářeč profesionál. Svar 4. byl opět vytvořen za stejných podmínek jako svar 3., jen jej svařil svářeč začátečník.

Spoje metodou tvrdého pájení byly vytvořeny 4 v poloze PB za pomoci stejného svařovacího stroje, jako předchozí svary. Jde o svařovací zdroj FastMig X WFX 300.

Základní materiál byl použit taky ocelový plech S235JR o různých tloušťkách a přídavný materiál by použit CuSi3 o tloušťce 1 mm ve formě drátu. Jako ochranný plyn byl zvolen 100% Ar a při pájení nebyl použit žádný software. Spoj s označením 5. byl zhotoven z plechů o tloušťce 1 mm, druh svaru byl koutový. Zvolené parametry byly 107 A, 15,7 V a posuv drátu byl 5,4 m/min a tento svar svařoval svářeč profesionál. Spoj číslo 6 vytvořil svářeč začátečník za použití stejných parametrů, jako tomu bylo u spoje číslo 5. Spoj 7. byl vytvořen svářečem profesionálem na plechu o tloušťce 3 mm za použití parametrů 187 A, 21,7 V a rychlostí podávání drátu 10,9 m/min. Svar byl vytvořen jako koutový. Spoj 8. byl vytvořen za stejných podmínek jako spoj 7., jen byl vytvořen svářečem začátečníkem.

Koutové svary vytvořené metodou TIG byly 4 v poloze PB svařovacím zdrojem MASTER TIG 335ACDC. U metody TIG byl nastaven svařovací zdroj na pulzní svařovací proud. Pro tyto svary byl použit základní materiál AlMg3 o různých tloušťkách a přídavný materiál AlSi5 o průměru 2,4 mm ve formě drátu. Pro tyto typy svarů nebyl použit žádný svařovací software a jako ochranný plyn byl použit 100 % Ar. Svar číslo 9 byl zhotoven z plechu o tloušťce 2 mm a použité svařovací parametry byly 85 A, frekvence 100 Hz, AC balance -35 %. Tento svar byl zhotoven svářečem profesionálem. Svar 10. byl vytvořen za stejných podmínek jako svar 9., jen jej vytvořil svářeč začátečník. Svar 11. byl zhotoven z plechů o tloušťce 3 mm. Použité svařovací parametry byly 110 A, frekvence 60 Hz, AC balance -25 % a tento svar svařil svářeč začátečník. Svar 12. byl opět vytvořen za stejných podmínek jako svar 11., jen jej zhotovil svářeč profesionál.

Tupé svary byly dva vytvořeny metodou TIG v poloze PA za pomoci svařovacího zdroje MASTER TIG 335ACDC. Při zhotovování tupých svarů byl také nastaven svařovací zdroj na pulzní svařovací proud. Základní materiál byl použit AlMg3 o tloušťce 2 mm. Přídavný materiál byl použit drát AlSi5 o průměru 2,4 mm ve formě drátu. Ochranný plyn 100% Ar a při svařování nebyl použit žádný svařovací software. Svar číslo 13 byl zhotoven s následujícími svařovacími parametry 75 A, frekvence 100 Hz a AC balance -30 %. Svar byl zhotoven svářečem začátečníkem. Svar 14. byl zhotoven svářečem profesionálem a za použití stejných parametrů, jako bylo použito pro svar číslo 13.

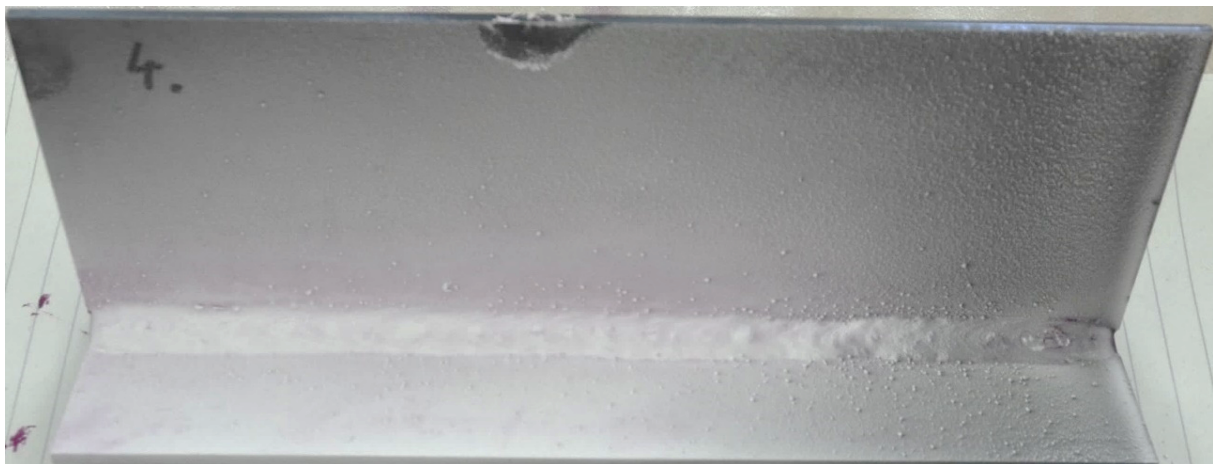
5 Kvalitativní vyhodnocení svařovaných a pájených spojů plechů do 3 mm

5.1 Vizuální kontrola

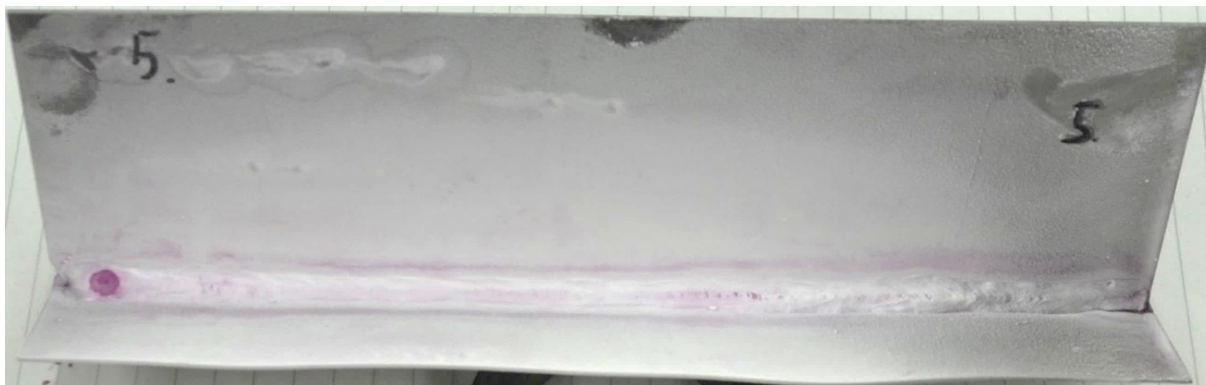
První provedenou kontrolou byla vizuální zkouška dle normy ČSN EN ISO 6520. Podle této normy byla určena kvalifikace vad. Dle normy ČSN EN ISO 5817 byl určen stupeň kvality svarových a pájených spojů. Svařované a pájené spoje byly vyhodnocovány od počátku spoje z levé strany směrem doprava do konce po celé délce spoje. Při detekci vady byla vada zapsána do tabulky číslo 8 v příloze na straně 58, kde je uvedeno místo nebo úsek vizuální vady umístěn od počátku svaru. V případě tupých svarů byly kontrolovány obě viditelné stany svarového spoje. Detekované vady byly popsány dle normy ČSN EN ISO 6520-1 a dle normy ČSN EN ISO 6520-2. Všechny vady svarů a pájených spojů splňují stupeň kvality B.

5.2 Kapilární kontrola

Další nedestruktivní kontrolou byla kapilární zkouška dle normy ČSN EN ISO 3452-1. Svařené a pájené spoje byly odmaštěny čisticím prostředkem. Po usušení vzorků byl následně nanesen na vzorky penetrant, který byl znovu nanesen po 10 minutách. Po dalších 10 minutách byly vzorky omyty vodou. Vzorky byly následně vysušeny. Na suché vzorky byla následně nanesena vývojka. Tato vývojka detekuje penetrant, který zůstane v hlubokých povrchových vadách. Penetrant vystoupí z vývojky, která má bílou barmu, sytou vínovou barvou.



Obr. 9 - Kapilární zkouška, nanesení vývojky na 4. svar



Obr. 10 - Kapilární zkouška, nanesení vývojky na 5. svar

Následně byly detekované vady zaneseny a popsány v příloze na straně 59 v tabulce číslo 9 včetně vzdálenosti od levého počátku svarového spoje. U pájených spojů kapilární zkouška detekovala pór u každého spoje, zatímco u svarů nebyla odhalena žádná vada touto zkouškou.

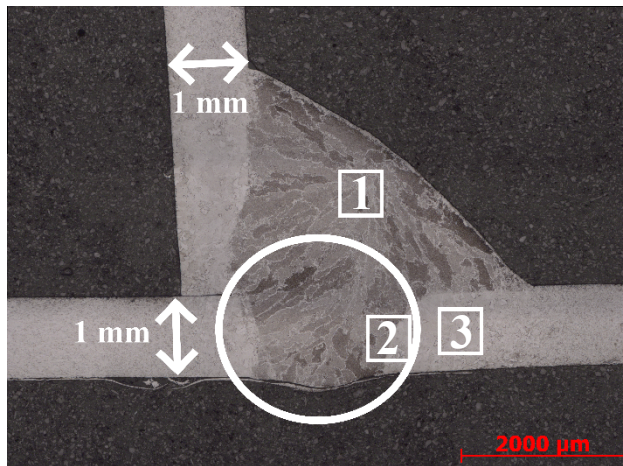
5.3 Metalografické vyhodnocení

Zkouška makro a mikrostruktury byla provedena dle normy ČSN EN ISO 17693 a vyhodnocena dle normy ČSN EN ISO 13919-1. Zkouška byla provedena u všech 14 svařovaných a pájených spojů. Z těchto spojů byly odebrány vzorky ve stejné vzdálenosti od počátku. Z každého spoje byl odebrán pro metalografii jeden vzorek. Aby nedošlo k tepelnému ovlivnění vzorků, byly vzorky odebrány metalografickou pilou. Nařezané kusy spojů byly umístěny spolu s práškem polyfast umístěny do metalografického lisu, kde byly vytvořeny metalografické vzorky. Tyto vzorky byly následně ručně broušeny na metalografické brusce a leštěny na metalografické leštičce. Na vzorky vytvořené metodou MAG byla použito leptadlo Nital 1 %. Vzorky vytvořené tvrdým pájením byly leptány v HCL +10 g Fe a na hliníkové vzorky byla použito leptadlo $A_2O + 10 \text{ g NaOH} + 59K_3CN_6$. Leptadla naleptala svorky svařovaných a pájených spojů, zvýraznila tepelně ovlivněnou oblast a nenarušila základní materiál.

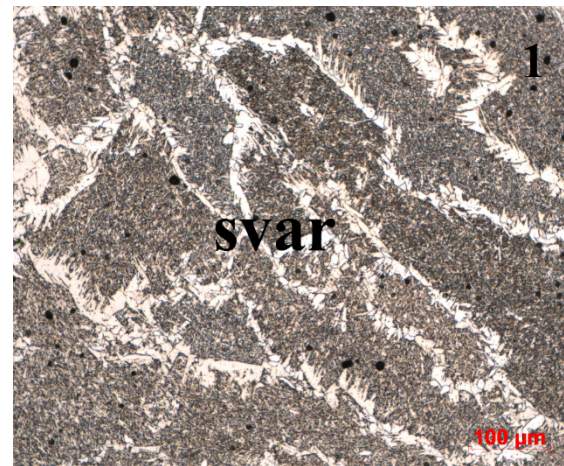


Obr. 11 - Zhotovené metalografické vzorky

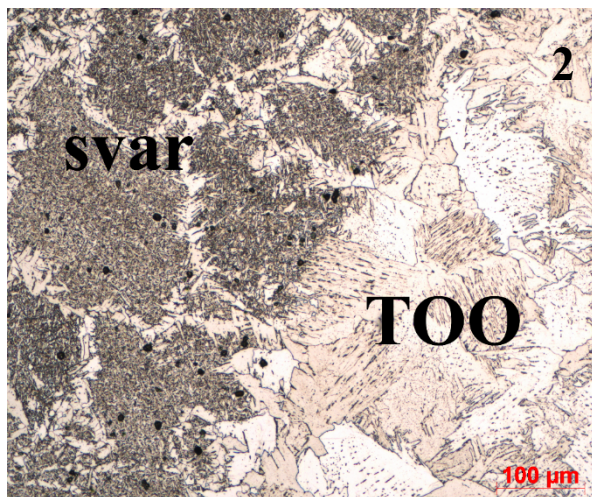
Vzorky v naleptaném stavu byly umístěny do metalografických mikroskopů, kde byly zhotoveny snímky mikrostruktury a makrostruktury jednotlivých vzorků.



Obr. 12 - Makrostruktura 1. svaru



Obr. 13 - Mikrostruktura 1. svaru

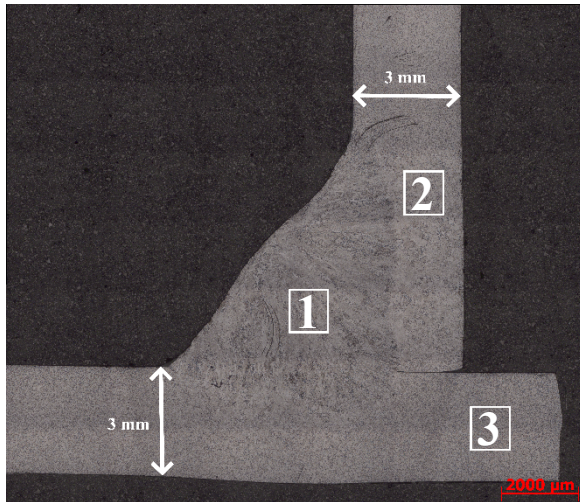


Obr. 14 - Mikrostruktura 1. svaru přechod svar a TOO



Obr. 15 - Mikrostruktura 1. svaru přechod TOO a základního materiálu

Na obrázku číslo 12 je viditelná vada svaru číslo 1.. Jedná se o vadu nadměrného průvaru. Tato vada spoňuje mezní hodnoty pro stupeň kvality B. Tato vada negativně ovlivní pevnost svarového spoje, nicméně pro standartní použití můžeme tuto vadu zanedbat. U samotného svarového spoje a v tepelně ovlivněné oblasti vidíme hrubnutí zrna oproti základnímu materiálu. Hrubnutí zrna snižuje pevnost materiálu.



Obr. 16 - Makrostruktura 3. svaru



Obr. 17 - Mikrostruktura 3. svaru

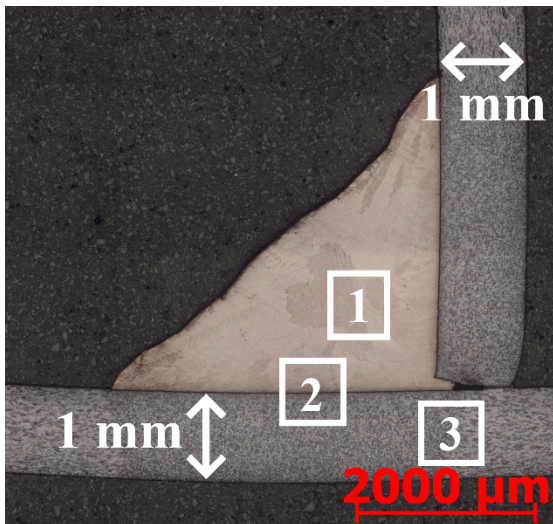


Obr. 18 - Mikrostruktura 3. svaru v TOO



Obr. 19 - Mikrostruktura 3. svaru základního materiálu

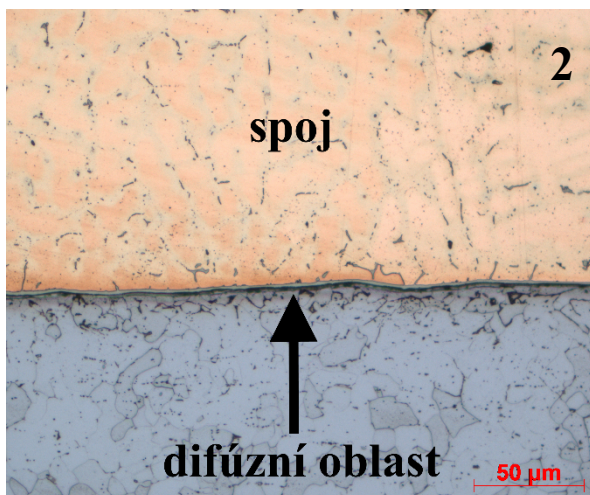
Na snímcích svaru číslo 3. vidíme větší nárůst zrna, než byl u svaru číslo 1. Větší nárůst je způsoben větší koncentrací vneseného tepla. U svaru číslo 3. nebyla nalezena žádná vada svarového spoje.



Obr. 20 - Makrostruktura 5. spoje



Obr. 21 - Mikrostruktura 5. spoje

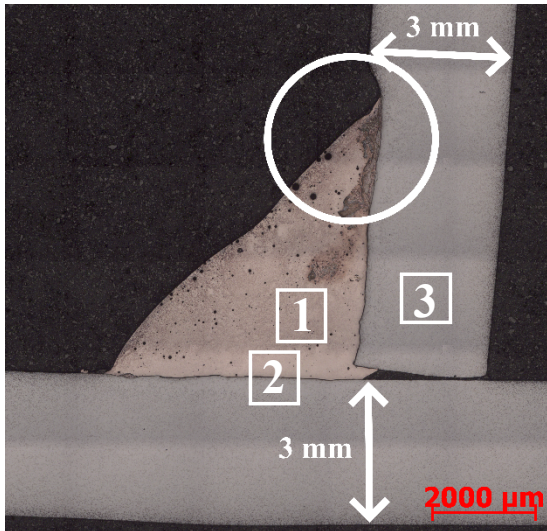


Obr. 22 - Mikrostruktura 5. spoje přechod spoje a difúzní oblasti

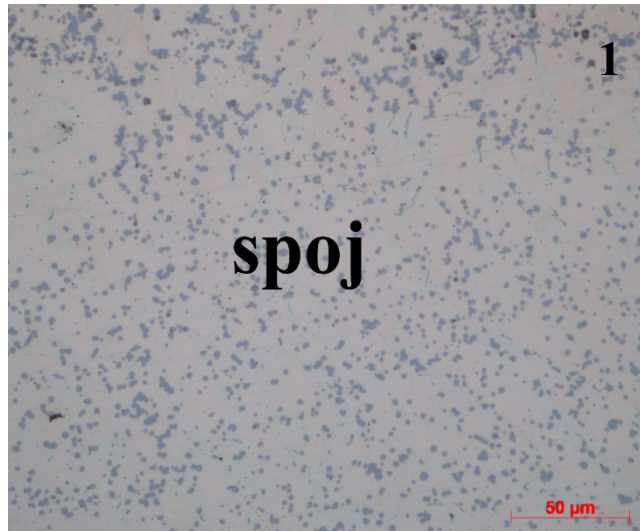


Obr. 23 - Mikrostruktura 5. spoje základního materiálu

U pájeného spoje číslo 5. nebyla nalezena žádná vada. Samotný pájený spoj je vytvořený z přídatného materiálu CuSi_3 . Křemík v přídatném materiálu je na obrázku číslo 21 viditelný na hranicích zrn mědi. Difúzní oblast je na obrázku číslo 22 označena šipkou.



Obr. 24 - Makrostruktura 7. spoje



Obr. 25 - Mikrostruktura 7. spoje

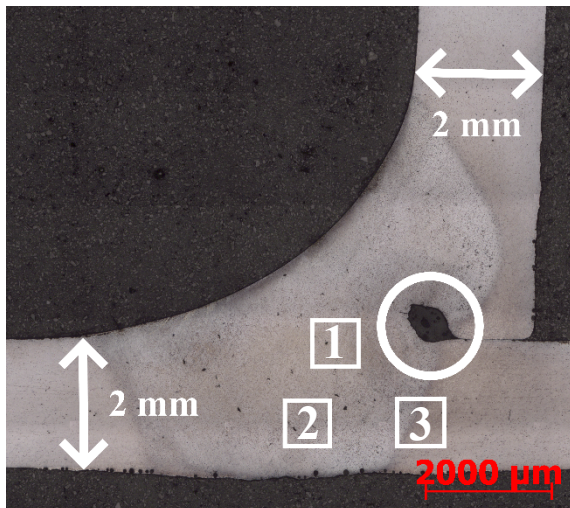


Obr. 26 - Mikrostruktura 7. spoje přechod spoje a difúzní oblasti

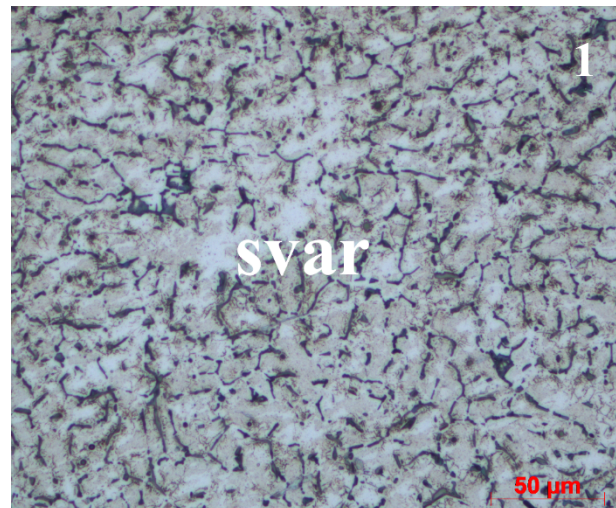


Obr. 27 - Mikrostruktura 7. spoje základního materiálu

Makrostruktura spoje číslo 7. odhalila částečné rozpuštění základního materiálu v horní části snímku a tento kov se snížil z přídavným materiálem. Jedná se o vadu tvaru a tato vada byla vyhodnocena a splňuje mezní hodnoty pro stupeň kvality B. Tato vada je zvýrazněna na obrázku číslo 24. Jiné viditelné vady nebyly pro spoj číslo 7. nalezeny a výsledky se shodují se spojem číslo 5.



Obr. 28 - Makrostruktura 9. svaru



Obr. 29 - Mikrostruktura 9. svaru

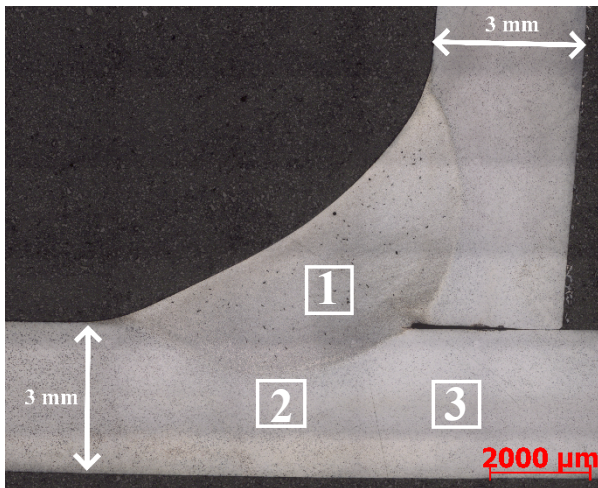


Obr. 30 - Mikrostruktura 9. svaru v TOO

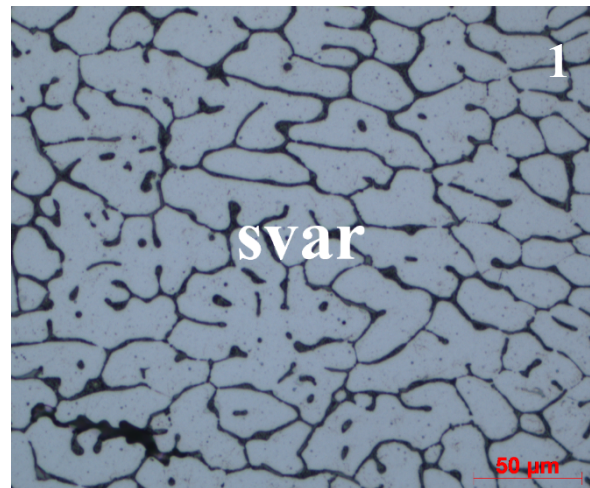


Obr. 31 - Mikrostruktura 9. svaru přechod TOO a základního materiálu

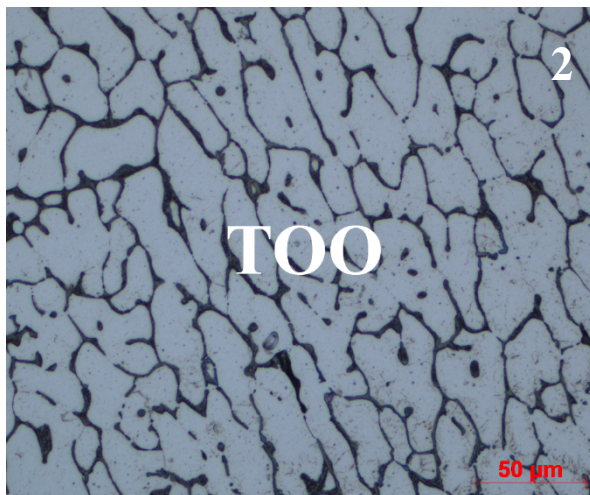
U makrostruktury svaru číslo 9. je zvládněná vada označovaná číslem 4013 dle normy ČSN EN ISO 13919-1. Jedná se o vadu studeného spoje v hoření, kde vznikla dutina. Tato vada byla vyhodnocena jako nepípustná. Svar číslo 9. nevyhověl.



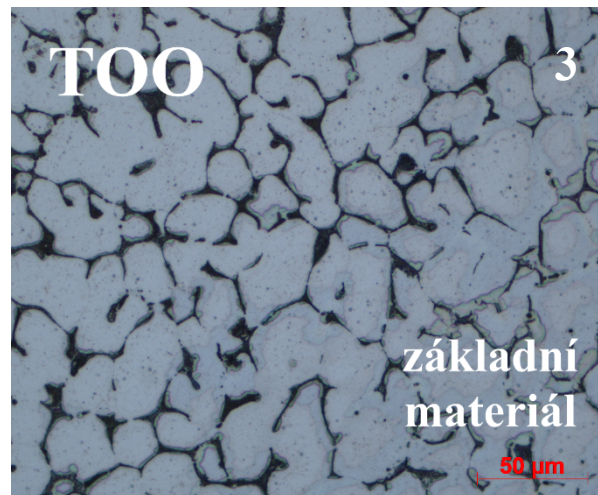
Obr. 32 - Makrostruktura 11. svaru



Obr. 33 - Mikrostruktura 11. svaru

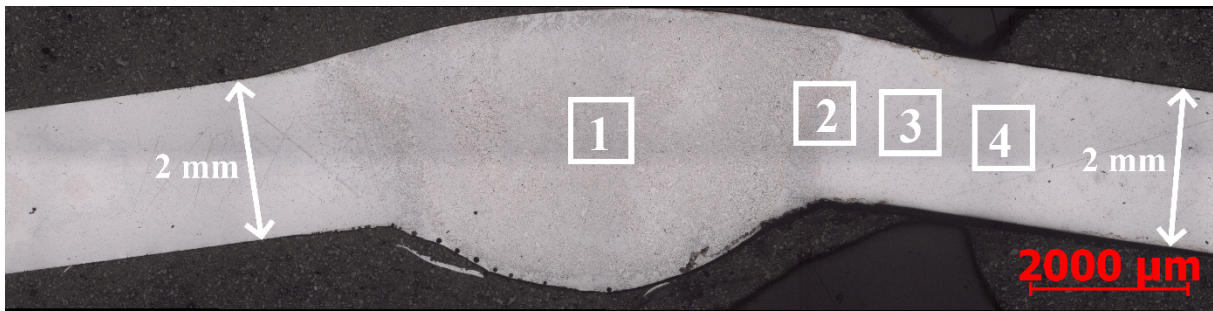


Obr. 34 - Mikrostruktura 11. svaru TOO

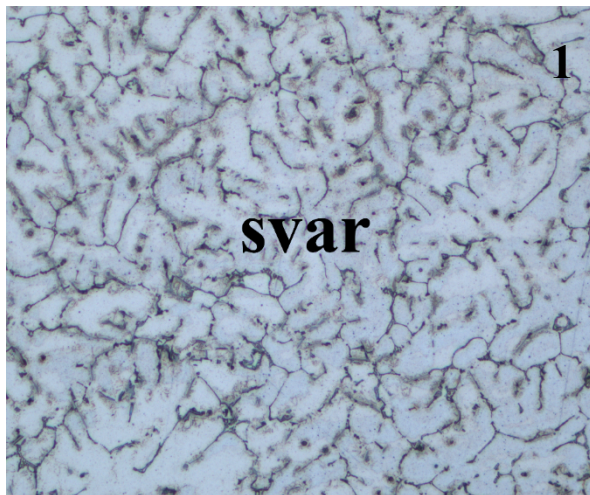


Obr. 35 - Mikrostruktura 11. svaru přechod TOO a základního materiálu

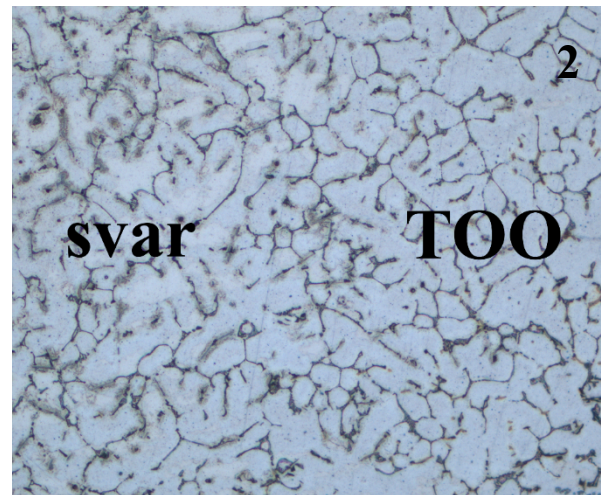
U svaru číslo 11. nebyla nalezena žádná vada. Na obrázcích 32 až 35 vyzobrazen svar číslo 11.



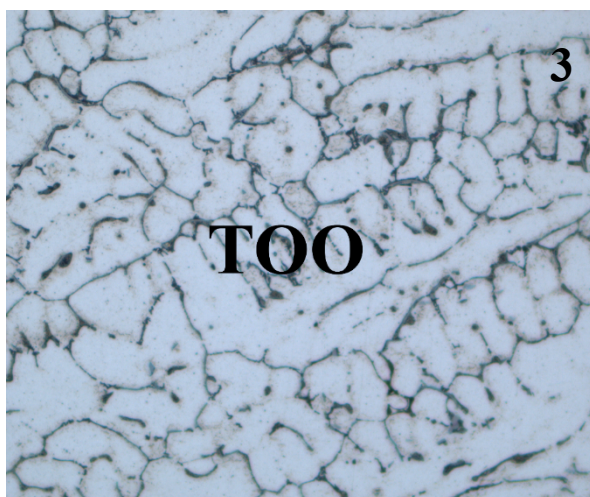
Obr. 36 - Makrostruktura 13. svaru



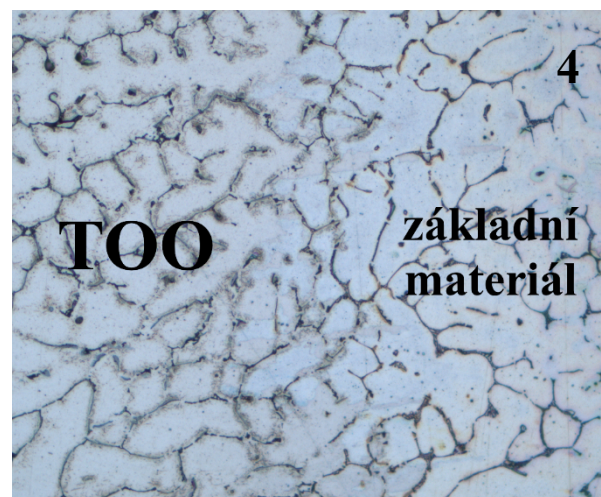
Obr. 37 - Mikrostruktura 13. svaru



Obr. 38 - Mikrostruktura 13. přechod svaru a TOO



Obr. 39 - Mikrostruktura 13. svaru v TOO



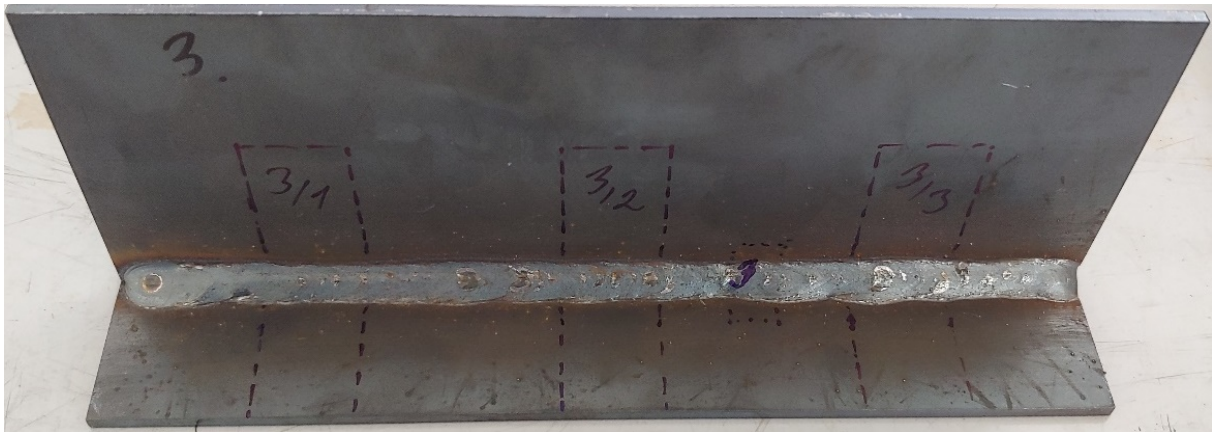
Obr. 40 - Mikrostruktura 13. svaru přechod TOO a základního materiálu

U tupého svaru číslo 13. nebyla nalezena žádná vada. Na obrázcích 37 až 40 vyzobrazen svar číslo 13.

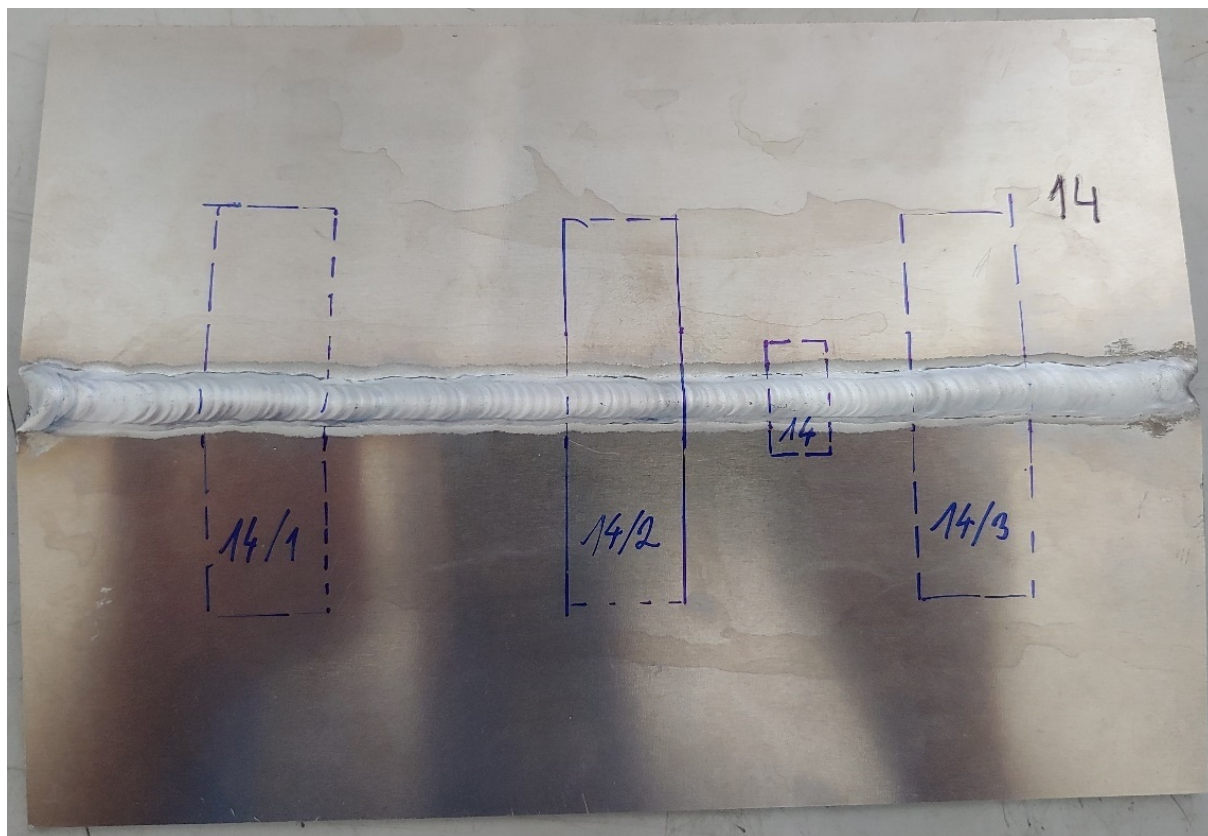
Svařované a pájené spoje, které zde nebyly zobrazeny, byly také metalograficky vyhodnoceny. Výsledky těchto neuvedených vzorků se shodují se zde vyhodnocenými snímky. Tato shoda vznikala duplikací jednotlivých variant spojů a zkušenosti svářeče neměly vliv na metalografické vyhodnocení svarů. U neuvedených svarů nebyly nalezeny žádné neočekávané vady. Svařovaný spoj číslo 10. vyhověl na rozdíl od svaru číslo 9., a to i přes to, že byly zhotoveny za stejných podmínek.

5.4 Korozní vyhodnocení svařených a pájených spojů plechů do 3 mm

Zkouška byla provedena dle normy ČSN ISO 8407. Dle této normy bylo prováděno odleptání korozních produktů. Korozní odolnost byla měřena pomocí hmotnostního úbytku. Pro potřeby korozní zkoušky byly z každého unikátního svarového a pájeného spoje odebrány tři stejné vzorky na metalografické pile. Pro spoje, které se lišily pouze obsluhou svařovacího zdroje, se vzorky pro korozní test neodebíraly. Celkem bylo tedy odebráno 21 vzorků, které byly označeny číslem spoje a pořadovým číslem odebíraného vzorku za lomítkem. Na obrázku číslo 41 je znázorněno místa odebrání jednotlivých vzorků z koutového svaru a z obrázku číslo 42 je znázorněn příklad odebrání vzorků ze svaru tupého.



Obr. 41 - Vyznačení pozice odebíraných vzorků z koutového svaru číslo 3.

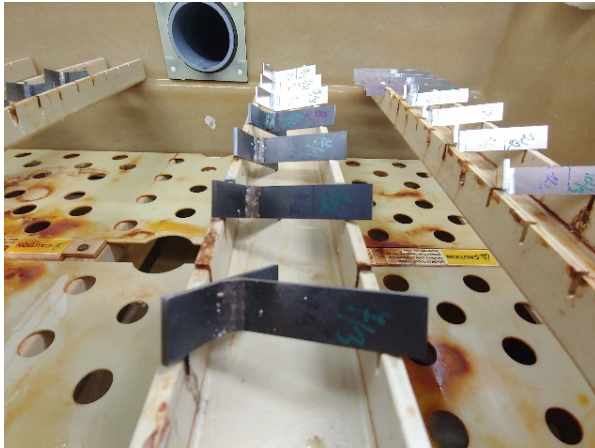


Obr. 42 - Vyznačení pozice odebíraných vzorků z tupého svaru číslo 14.

Před vložením do korozní komory, byly vzorky zváženy na tisícinu gramu na přesné váze RADWAG AS 220/C/2, na které můžeme zvážit vzorky až na desetitisícinu gramu a získané hodnoty zapsány do tabulek číslo 10 až 16 v příloze na straně 59 až 65. Vzorky byly umístěny do korozní komory Q-FOG/CCT600 serial number 12-3031-40-CCT600. Korozní test byl proveden dle normy ISO 9227, a jedná se o zkoušku v neutrální solné mlze neboli NSS. Test v korozní komoře byl prováděn 166h.

Tab. 7 - Parametry korozního testu

Koncentrace solného roztoku	$5 \pm 1 \%$
Hodnota pH solného roztoku	6,5 – 7,2
Teplota ve zkušební komoře	$35 \pm 2 \text{ } ^\circ\text{C}$
Spád roztoku (sběrač 80cm ²)	1,5 ml/h
Doba testu, celkem	166 h



Obr. 43 - Vzorky v korozní komoře



Obr. 44 - Vzorky vyndané z korozní komory

Po korozním testu byly vzorky vysušeny, zváženy a hodnoty byly zapsány do tabulky. Následně byla odstraněna koroze u vzorků částečným leptáním. Doba leptání se postupně zvětšovala, až byla koroze úplně odleptána. Mezi každým postupným leptáním byly vzorky zváženy. Ocelové vzorky vytvořené metodou MAG byly leptány v roztoku, který byl připraven z 1000 ml destilované vody, 75 g hydroxidu sodného (NaOH), 25 g síranu sodného (Na_2SO_4) a 75 g uhličitanu sodného (Na_2CO_3). Pro úplně odleptání koroze tento roztok nestačil, proto byla při posledním odleptávání použita 50 % roztok kyseliny chlorovodíkové a destilované vody. Takto kyselina byla použita i při odleptávání koroze ze vzorků vytvořených metodou tvrdého pájení. Koroze u hliníkových vzorků vytvořených metodou TIG byla odleptávána 100 % kyselinou dusičnou. Všechny vzorky byly odleptávány při teplotě 20 °C. Po dokončení odleptávání koroze byla vidět zřetelné odleptání základního materiálu, které bylo zohledněno při vyhodnocování hmotnostního korozního úbytku. Zaznamenané hmotnostní hodnoty byly zanesené do tabulky 10 až 16 v příloze na straně 60 až 66. Pro získání předmětných výsledků byly maximální a minimální hmotnostní rozdíly odleptávaných vzorků vyřazeny z korozní zkoušky pro každý svar. Tento rozhodovací princip je zapsán v tabulkách 17 až 23 v příloze na straně 67 až 69. Zbylé relevantní hodnoty pro jednotlivé svary byly znázorněny na příslušných grafech 1 až 7 v příloze na straně 69 až 72. Za pomoci vizuálního zobrazení hmotnosti před korozním testem a jednotlivým naměřeným hmotnostem korozního úbytku byly získané hodnoty vyhodnoceny. U všech hliníkových vzorků byla naměřena nižší hmotnost po vyndání z korozní komory, než měli před korozním testem. Tento úbytek byl způsoben oxidací povrchu hliníkových vzorků.

6 Diskuze výsledků

Jedním z cílů této bakalářské práce bylo odladění procesu svařování homogenních svarů a spojů pro dosažení dostatečně kvalitních spojů tenkých plechů. Pro odladění svařovacích parametrů pro jednotlivé tloušťky a materiály byly vytvořeny desítky zkušebních vzorků před zhotovením 10 svarů a 4 pájených spojů pro tuto bakalářskou práci.

V rámci experimentálního programu bylo zhotoveno 5 variant svarů a 2 varianty spojů tvrdým pájením. Jednotlivé varianty byly vytvořeny svářečem profesionálem a následně tyto varianty vytvořil svářeč začátečník. Tato část experimentu byla zařazena do bakalářské práce pro ověření funkčnosti svařovacích softwarů, které byly zmíněny v teoretické části práce. U jednotlivých svarů a spojů nelze určit, zdali je vytvořil svářeč profesionál, či svářeč začátečník. Kresba, množství přídavného materiálu, tloušťka svaru kvalita svarových a pájených spojů i počet vad je shodný a zkušenosti svářeče se nijak na vytvořených vzorcích neprojevily. Použití nových svařovacích zdrojů se svařovacím softwarem WiseFusion a WiseThin bylo úspěšné. Rozdíl zkušeností se projevil pouze na klidnosti křivek závislosti proudu a napětí při svařování znázorněných na obrázku 45 až 52 v příloze na straně 54 až 57. Lze tedy prohlásit, že při použití těchto nových svařovacích zdrojích opatřených svařovacím softwarem WiseFusion a WiseThin při obloukovém svařování a tvrdém pájení klesají nároky na svařovací personál a zhotovení svaru a pájených spojů je jednodušší a vnesené teplo do svaru je menší.

V rámci kvalitativního zhodnocení byla provedena vizuální zkouška, kapilární zkouška a metalografie jednotlivých vzorků.

Vizuální zkouška odhalila geometrické vady. U pájeného spoje 3 mm ocelového plechu nastal nadměrný rozstřík. Všechny vady svařovaných a pájených spojů byly vyhodnoceny jako nezávadné. Všechny vzorky byly vyhodnoceny stupněm kvality B. Svary vytvořené metodou TIG byly téměř bez viditelných vad a kresba těchto svarů byla vysoce kvalitní.

V rámci kapilární zkoušky byl nalezen pór u všech pájených spojů. Žádný z pórů nebyl vyhodnocen jako závadný, tedy u pájených spojů povrchová vada výrazně neovlivňuje kvalitu spoje. U svařovaných spojů nebyly nalezeny žádné vady.

Zkouška makro a mikrostruktury odhalila tři vady. U svaru číslo 1. se jedná o vadu nadměrného průvaru, u pájeného spoje číslo 7. jde o vadu tvaru. Tyto vady splňují mezní hodnoty stupně kvality B. U svaru číslo 9. byla nalezena vada studeného spoje v kořeni, která je nepřijatelná. Svar číslo 9. tedy nevyhověl. Tato zkouška neodhalila u zbylých vzorků žádné vady a zbylé vzorky tedy v této zkoušce vyhověly. Průvar svarových spojů byl dostatečný. U svarů je na snímcích patrný nárůst zrna. Velikost tepelně ovlivněné oblasti odpovídá tloušťce plechů, což odpovídá minimálnímu vnesenému teplu do základního materiálu.

Korozní zkouška byla provedena nejpřesnější metodou, tedy metodou korozního úbytku. U svarů a spojů ocelových plechů byla hmotnost větší než před korozním testem. Jedná se o důsledek korozního příbytku. Při posledním odleptávání korozního nánosu byla odleptána spolu s posledním zbytkem korozního nánosu i část základního materiálu. Pro získání předmětných výsledků byly maximální a minimální hmotnostní rozdíly odleptávaných vzorků vyřazeny z korozní zkoušky pro každý svar. Maximální korozní úbytek po úplném odleptání byl 1,5 g u vzorku 7/1 tedy u pájeného spoje číslo 7. o tloušťce 3 mm plechu. Korozní úbytek u hliníkových vzorků nastal během samotného testu, což bylo způsobeno oxidací povrchu. Díky oxidaci povrchu hliníkového materiálu koroduje materiál pomaleji než například materiál z oceli. Pro získání dostatečně kvalitních výsledků korozní zkoušky postačilo odebraných 21 vzorků. Výsledkem korozního testu bylo zjištění, že svarový a pájený spoj korodoval spolu s tepelně ovlivněnou oblastí rychleji než základní materiál.

Kvalita vytvořených svařovaných a pájených spojů byla vyhodnocena jako dostatečná pro většinu použití. V případě větších nároků na svařovaný nebo pájený spoj by bylo

zapotřebí provést nedestruktivní testování, například prozáření pro odhalení vnitřních vad a dále využití destruktivních zkoušek pro ověření mechanických vlastností svarů a spojů. Svar číslo 9. při zkoušce marko a mikrostruktury nevyhověl. Nároky na kvalitu jako jediný nesplňuje. Tato vada byla způsobena chybou svářeče.

7 Závěr

Přínosem bakalářské práce bylo ověření funkčnosti nejnovějších svařovacích zdrojů pro ruční svařování a svařovacích softwarů, které zajistily zhotovení svarů a spojů tenkých plechů bez závažných vad. Vady v podobě studených spojů, zápalů a propálení základního materiálu byly odstraněny již před vytvořením 10 svarů a 4 pájených spojů do bakalářské práce. Tyto vady se podařilo odstranit správným nastavením svařovacích parametrů pro jednotlivé varianty spojů a svarů. Vytvořené svařované a pájené spoje byly kontrolovány vizuální zkouškou, kapilární zkouškou, zkouškou makro a mikrostruktury a korozní zkouškou. Zkouška makro a mikrostruktury odhalila nepřípustnou vadu studeného spoje v kořeni u svaru číslo 9. Všechny ostatní vady, které se byly zkouškami nalezeny u svarů a pájených spojů byly klasifikovány stupněm B. Zhotovené svary a pájené spoje vyhovují a jsou tedy vhodné pro většinu použití. V případě větších nároků na spoj je zapotřebí provést další zkoušky. U tenkých plechů můžeme dobře uplatnit zkoušku vířivých proudů nebo radiologickou zkoušku pro odhalení vnitřních vad svarů a spojů. Dalším vhodným způsobem pro spojení tenkých plechů může být například svařování laserem, mikroplasmou, nebo odporové svařování plechů do 1 mm tloušťky, které můžeme snadno automatizovat v hromadné výrobě.

Seznam použitých zdrojů

- [1] BARTÁK, Jiří. Svařování kovů v praxi: materiály, výpočty, technologie, požadavky na jakost, bezpečnost práce. Praha: Dashöfer, 2008. ISSN 1803-2834.
- [2] BARTÁK, Jiří, Václav PILOUS a Rudolf KOVAŘÍK. Učební texty pro evropské svářečské specialisty, praktiky a inspektory. Ostrava: ZEROSS, 2002. Svařování. ISBN isbn80-85771-97-7.
- [3] BRUNCLÍK Martin. Nový vývoj v oblasti automatizace softwarů, Technické podklady ARC- H a.s. a Kemppi OY
- [4] Technologie svařování a zařízení: učební texty pro kurzy svářečských inženýrů a technologů. Ostrava: ZEROSS, 2001. Svařování. ISBN 80-85771-81-0.
- [5] KOVAŘÍK, R. Technologie svařování. 1. vyd. Plzeň: ZČU, 2000. 185 s. ISBN 80-7082-697-5.
- [6] SINDOU KOU Welding Metallurgy. second edition ISBN 0-471-43491-4
- [7] HRIVŇÁK, Ivan. Zváranie a zvariteľnosť materiálů. 1. vyd. Bratislava: STÚ Bratislava, 2009, 492 s. ISBN 978-80-227-3167-6.
- [8] Fronius online – Výrobky [online]. Dostupné z: <https://www.fronius.com/cs-cz/czech-republic> [cit. 12. 12. 2020]
- [9] Váš pomocník online – Nejlepší svářečky 2020 [online]. Dostupné z: <https://vas-pomocnik.cz/svarecky/> [cit. 12. 12. 2020]
- [10] C. Mittelstädt^{a,*}, T. Seefeld^a, D. Reitemeyer^b, F. Vollertsen^c. Two-beam laser brazing of thin sheet steel for automotive industry using Cu-base filler material, 8th International Conference on Photonic Technologies LANE 2014
- [11] ASM handbook: Welding, brazing and soldering. Vol. 6. 10 edition. USA: ASM International, 1993. ISBN 0-87170-382-3.
- [12] ESAB online – Tips for welding thin materials [online]. Dostupné z: <https://www.esabna.com/us/en/education/blog/tips-for-welding-thin-materials.cfm> [cit. 8. 12. 2020]
- [13] Konstrukce online – Svařování slabých plechů [online]. Dostupné z: <http://old.konstrukce.cz/clanek/svarovani-slabych-plechu/> [cit. 8. 12. 2020]
- [14] Y. ZHOU,^{1,3} P. GORMAN,² W. TAN,¹ and K.J. ELY^{2,4}. Weldability of Thin Sheet Metals during Small-Scale Resistance Spot Welding using an Alternating-Current Power Supply, University of Waterloo, Department of Mechanical Engineering, Columbus, Ohio, USA
- [15] Materiály a jejich svařitelnost: učební texty pro kurzy svářečských inženýrů a technologů., Ostrava: ZEROSS, 1999. ISBN 80-857-7163-2.
- [16] Dientje Fortuna, Oerlikon Metco (US) Inc. Wide-Gap Brazing: A Practical Approach to a Difficult Process, Technical documents Oerlikon metco
- [17] Robert Talalaev^a, Renno Veinthal^a, Andres Laansoo^a and Martinš Sarkans^b. Cold metal transfer (CMT) welding of thin sheet metal products, Department of Materials Engineering, Tallinn University of Technology, Tallinn, Estonia

- [18] SciELO online - Cold metal transfer welding of AA1050 aluminum thin sheets [online]. Dostupné z: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1517-70762016000300615 [cit. 8. 12. 2020]
- [19] MR. DHAVALKUMAR K. SONI, PROF. D. M. PATEL. A Review of Laser Welding Process for Thin Steel Sheets, Ganpat University, Mehsana, Gujarat, India
- [20] P. Kah*, R. Suoranta**, J. Martikainen***. Joining of Sheet Metals Using Different Welding Processes. Lappeenranta University of Technology, Lappeenranta, Finland
- [21] P. Kah*, A. Jibril, J. Martikainen and R. Suoranta. Process possibility of welding thin aluminium alloys, Lappeenranta University of Technology, Lappeenranta, Finland
- [22] Lasergruppen online - Optimised MIG/MAG welding of 3-6 mm sheet materials [online] Dostupné z: <https://lasergruppen.eu/fou/rapporterfrancjs/optimisedmigmagweldingof36mmsheetmaterials.4.1e24ab2e146d4b7d93c71a.html> [cit. 8. 12. 2020]
- [23] EWM HIGHTEC WELDING GmbH. Welding Dictionary, Technical documents EWM group
- [24] Thesteel online – Použití oceli [online]. Dostupné z: <https://www.thesteel.com/cz/o-materiallech> [cit. 15. 12. 2020]
- [25] Stavba.tzb online – Ocel pro stavební ocelové konstrukce [online]. Dostupné z: <https://stavba.tzb-info.cz/ocelove-konstrukce/13744-ocel-pro-stavebni-ocelove-konstrukce> [cit. 15. 12. 2020]
- [26] Ferrosteel online – ČSN EN 10219-1 [online]. Dostupné z: <http://www.czferrosteel.cz/pdf/trubky1-S355J2H.pdf> [cit. 15. 12. 2020]
- [27] Alunet online – EN AW-5754 H114 [online]. Dostupné z: <http://www.alunet.cz/ENAW-5754> [cit. 16. 12. 2020]
- [28] Portal online – EN AW-5754 [online]. Dostupné z: <https://proal.cz/hlinik/slitiny-hliniku/en-aw-5754/> [cit. 16. 12. 2020]
- [29] Wirpo online - Materiálový list AlMg3 [online]. Dostupné z: <https://www.wirpo.cz/pridavne-materialy/produkty/105/> [cit. 16. 12. 2020]
- [30] ESAB online – products [online]. Dostupné z: <https://www.esab.cz/cz/cz/products/> [cit. 17. 12. 2020]
- [31] BRUNCLÍK Martin. Equipment manual welding, Technické podklady ARC- H a.s. a Kemppi OY

Přílohy

SVĚŘENÍ

Podrobnosti

Doba sváření 14.05.2020 08:43:24	Doba hoření oblouku 0h 1m 3s	Svářečka Power Source 450A (Power Source 450A)	Spotřeba přídavného materiálu 4.0 m
--	------------------------------------	--	--

Odchytky

⚠ WPS nebyla identifikována ⚠ Svar nebyl identifikován

Parametry svařování

Rychlost podávání drátu

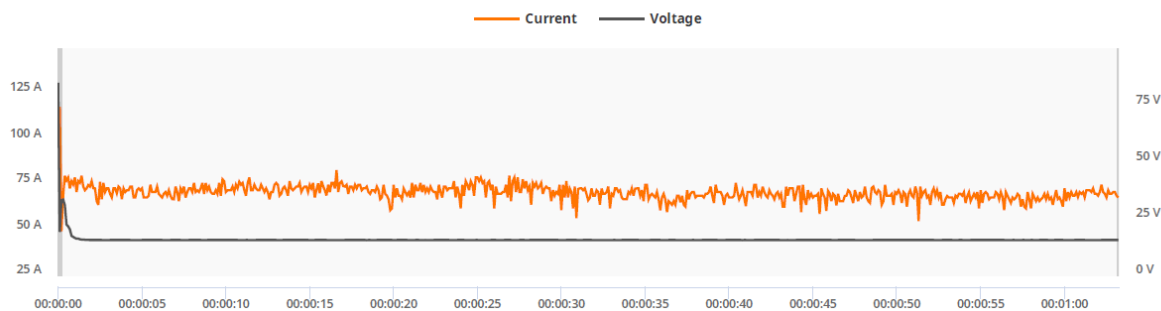
průměr 3.8 m/min / min. 3.7 m/min / max. 3.9 m/min
průměr 3.8 m/min / min. 3.7 m/min / max. 3.9 m/min (filtrované starty a vypnutí)

Proud

průměr 71 A / min. 49 A / max. 118 A
průměr 71 A / min. 55 A / max. 83 A (filtrované starty a vypnutí)

Napětí

průměr 15.9 V / min. 15.6 V / max. 84.9 V
průměr 15.8 V / min. 15.6 V / max. 33.5 V (filtrované starty a vypnutí)



Obr. 45 - Závislost proudu a napětí při svařování 1. svaru

SVĚŘENÍ

Podrobnosti

Doba sváření 14.05.2020 08:57:57	Doba hoření oblouku 0h 0m 50s	Svářečka Power Source 450A (Power Source 450A)	Spotřeba přídavného materiálu 3.1 m
--	-------------------------------------	--	--

Odchytky

⚠ WPS nebyla identifikována ⚠ Svar nebyl identifikován

Parametry svařování

Rychlost podávání drátu

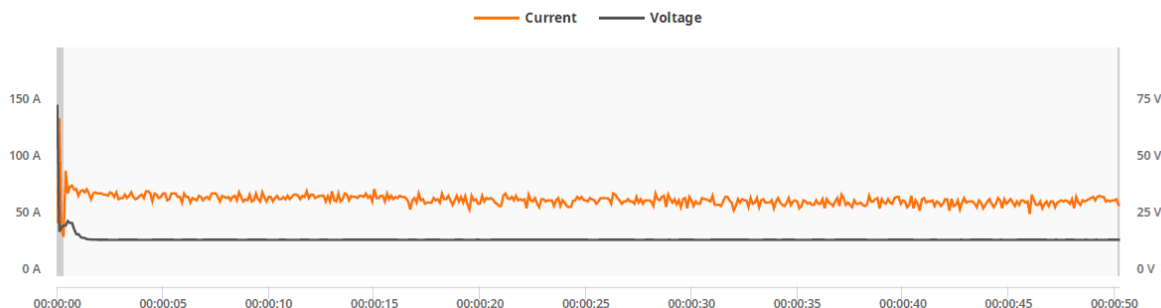
průměr 3.8 m/min / min. 3.7 m/min / max. 3.9 m/min
průměr 3.8 m/min / min. 3.7 m/min / max. 3.9 m/min (filtrované starty a vypnutí)

Proud

průměr 66 A / min. 34 A / max. 138 A
průměr 66 A / min. 34 A / max. 92 A (filtrované starty a vypnutí)

Napětí

průměr 15.9 V / min. 15.6 V / max. 74.9 V
průměr 15.8 V / min. 15.6 V / max. 23.9 V (filtrované starty a vypnutí)



Obr. 46 - Závislost proudu a napětí při svařování 2. svaru

SVÁŘENÍ

Podrobnosti

Doba sváření 14.05.2020 09:26:42	Doba hoření oblouku 0h 0m 35s	Svářečka Power Source 450A (Power Source 450A)	Spotřeba přídavného materiálu 4.1 m
--	-------------------------------------	--	--

Odchytky

⚠ WPS nebyla identifikována ⚠ Svar nebyl identifikován

Parametry svařování

Rychlost podávání drátu

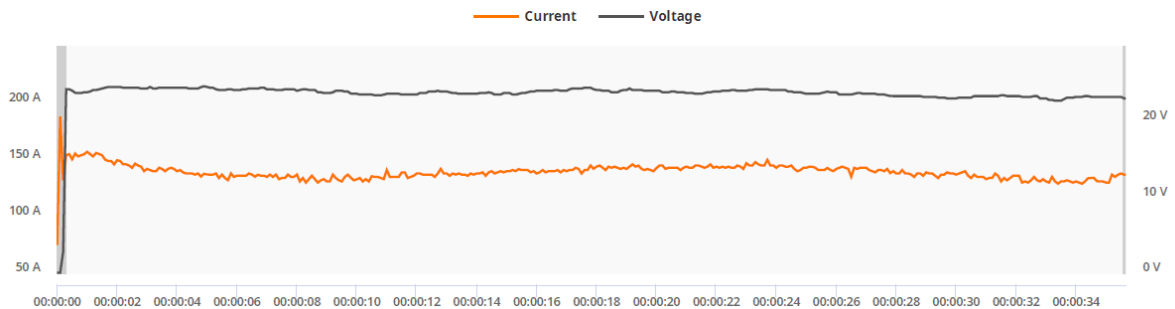
průměr 6.9 m/min / min. 6.7 m/min / max. 7.1 m/min
průměr 6.9 m/min / min. 6.7 m/min / max. 7.1 m/min (filtrované starty a vypnutí)

Proud

průměr 139 A / min. 75 A / max. 188 A
průměr 139 A / min. 129 A / max. 157 A (filtrované starty a vypnutí)

Napětí

průměr 23.7 V / min. 0.1 V / max. 24.7 V
průměr 23.9 V / min. 22.8 V / max. 24.7 V (filtrované starty a vypnutí)



Obr. 47 - Závislost proudu a napětí při svařování 3. svaru

SVÁŘENÍ

Podrobnosti

Doba sváření 14.05.2020 09:41:55	Doba hoření oblouku 0h 0m 33s	Svářečka Power Source 450A (Power Source 450A)	Spotřeba přídavného materiálu 3.8 m
--	-------------------------------------	--	--

Odchytky

⚠ WPS nebyla identifikována ⚠ Svar nebyl identifikován

Parametry svařování

Rychlost podávání drátu

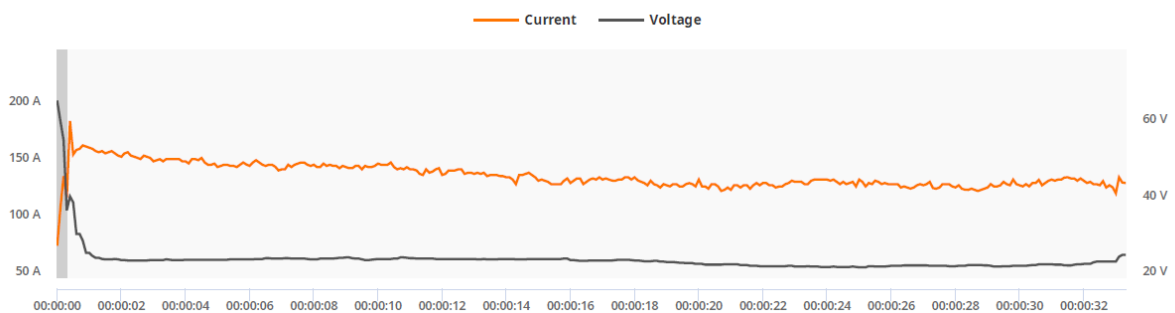
průměr 6.9 m/min / min. 6.7 m/min / max. 7.1 m/min
průměr 6.9 m/min / min. 6.7 m/min / max. 7.1 m/min (filtrované starty a vypnutí)

Proud

průměr 139 A / min. 78 A / max. 187 A
průměr 140 A / min. 120 A / max. 187 A (filtrované starty a vypnutí)

Napětí

průměr 24.7 V / min. 22.7 V / max. 66.6 V
průměr 24.3 V / min. 22.7 V / max. 41.4 V (filtrované starty a vypnutí)



Obr. 48 - Závislost proudu a napětí při svařování 4. svaru

SVÁŘENÍ

Podrobnosti

Doba sváření 14.05.2020 10:18:01	Doba hoření oblouku 0h 0m 21s	Svářečka Power Source 450A (Power Source 450A)	Spotřeba přídavného materiálu 1.9 m
--	-------------------------------------	--	--

Odchytky

⚠ WPS nebyla identifikována ⚠ Svar nebyl identifikován

Parametry svařování

Rychlost podávání drátu

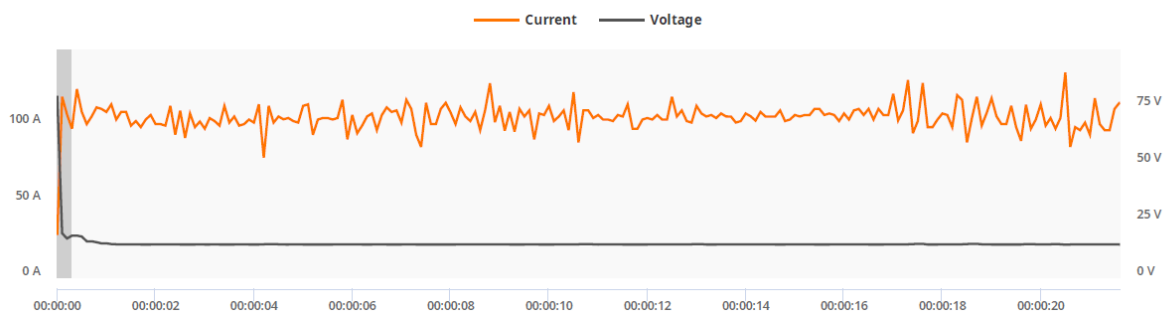
průměr 5.4 m/min / min. 5.3 m/min / max. 5.6 m/min
průměr 5.4 m/min / min. 5.3 m/min / max. 5.6 m/min (filtrované starty a vypnutí)

Proud

průměr 105 A / min. 28 A / max. 135 A
průměr 106 A / min. 79 A / max. 135 A (filtrované starty a vypnutí)

Napětí

průměr 15 V / min. 14.4 V / max. 79.7 V
průměr 14.6 V / min. 14.4 V / max. 18.4 V (filtrované starty a vypnutí)



Obr. 49 - Závislost proudu a napětí při svařování 5. spoje

SVÁŘENÍ

Podrobnosti

Doba sváření 14.05.2020 10:22:05	Doba hoření oblouku 0h 0m 25s	Svářečka Power Source 450A (Power Source 450A)	Spotřeba přídavného materiálu 2.3 m
--	-------------------------------------	--	--

Odchytky

⚠ WPS nebyla identifikována ⚠ Svar nebyl identifikován

Parametry svařování

Rychlost podávání drátu

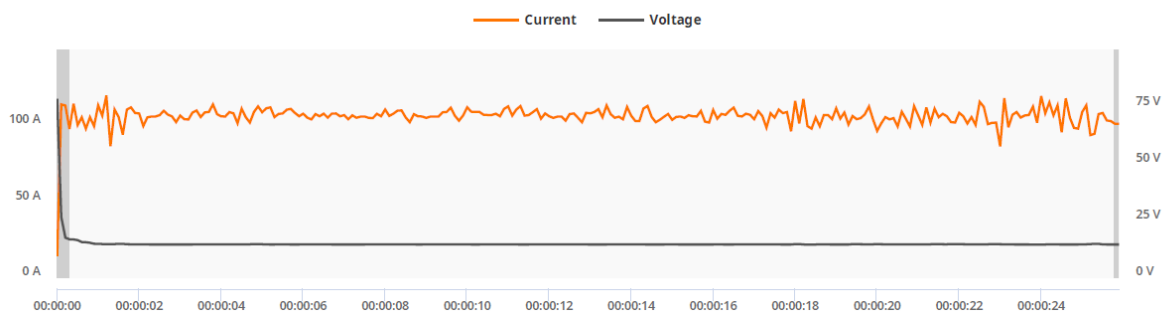
průměr 5.4 m/min / min. 5.3 m/min / max. 5.6 m/min
průměr 5.4 m/min / min. 5.3 m/min / max. 5.6 m/min (filtrované starty a vypnutí)

Proud

průměr 106 A / min. 14 A / max. 120 A
průměr 106 A / min. 86 A / max. 120 A (filtrované starty a vypnutí)

Napětí

průměr 14.9 V / min. 14.4 V / max. 78.4 V
průměr 14.6 V / min. 14.4 V / max. 16.8 V (filtrované starty a vypnutí)



Obr. 50 - Závislost proudu a napětí při svařování 6. spoje

SVÁŘENÍ

Podrobnosti

Doba sváření 14.05.2020 10:27:44	Doba hoření oblouku 0h 0m 18s	Svářečka Power Source 450A (Power Source 450A)	Spotřeba přídavného materiálu 3.4 m
--	-------------------------------------	--	--

Odchytky

⚠ WPS nebyla identifikována ⚠ Svar nebyl identifikován

Parametry svařování

Rychlost podávání drátu

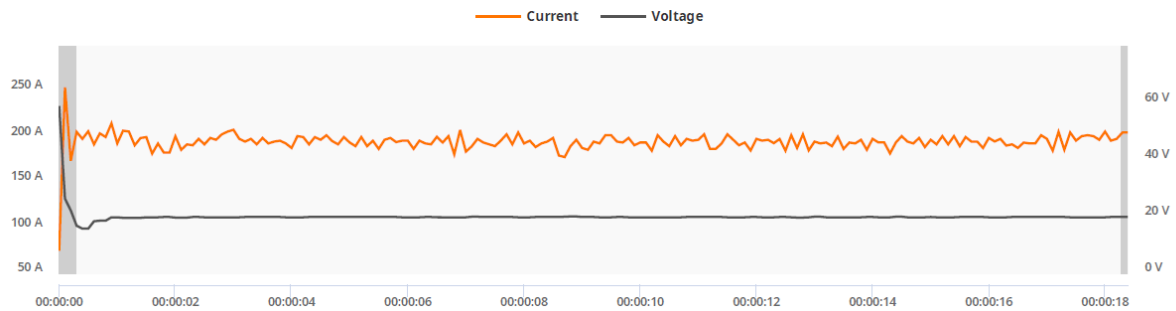
průměr 11 m/min / min. 10.8 m/min / max. 11.2 m/min
průměr 11 m/min / min. 10.8 m/min / max. 11.2 m/min (filtrované starty a vypnutí)

Proud

průměr 195 A / min. 75 A / max. 254 A
průměr 195 A / min. 178 A / max. 215 A (filtrované starty a vypnutí)

Napětí

průměr 20 V / min. 15.8 V / max. 58.9 V
průměr 19.8 V / min. 15.8 V / max. 20.1 V (filtrované starty a vypnutí)



Obr. 51 - Závislost proudu a napětí při svařování 7. spoje

SVÁŘENÍ

Podrobnosti

Doba sváření 14.05.2020 10:32:31	Doba hoření oblouku 0h 0m 25s	Svářečka Power Source 450A (Power Source 450A)	Spotřeba přídavného materiálu 4.7 m
--	-------------------------------------	--	--

Odchytky

⚠ WPS nebyla identifikována ⚠ Svar nebyl identifikován

Parametry svařování

Rychlost podávání drátu

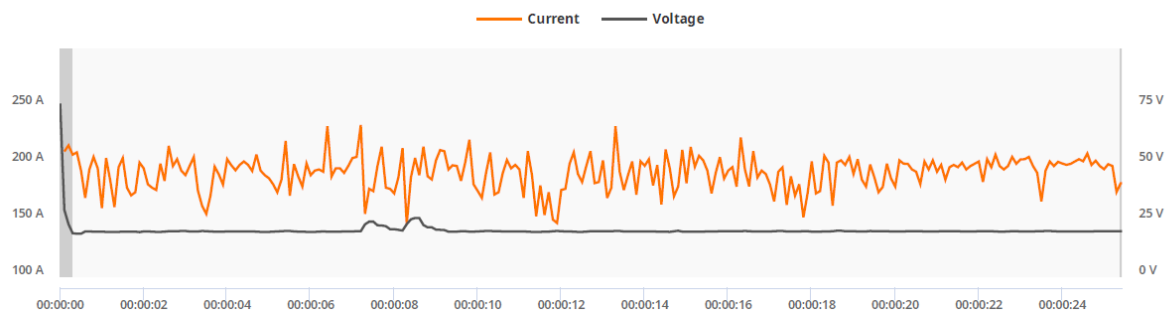
průměr 11 m/min / min. 10.8 m/min / max. 11.2 m/min
průměr 11 m/min / min. 10.8 m/min / max. 11.2 m/min (filtrované starty a vypnutí)

Proud

průměr 190 A / min. 146 A / max. 233 A
průměr 191 A / min. 146 A / max. 233 A (filtrované starty a vypnutí)

Napětí

průměr 20.3 V / min. 18.8 V / max. 75.9 V
průměr 20 V / min. 18.8 V / max. 25.7 V (filtrované starty a vypnutí)



Obr. 52 - Závislost proudu a napětí při svařování 8. spoje

Tbl. 8 - Vizuální vyhodnocení svarů

Číslo svaru nebo spoje	Kontrolovaná vrstva	Pořadí chyby	Referenční číslo chyby dle normy ČSN EN ISO 6520	Vzdálenost od počátku v [mm]	Norma ČSN EN ISO 5817	Splněný stupeň kvality	Název vady dle normy ČSN EN ISO 5817
1.	Povrch	1.	514	125-160	V	B	Nepravidelný povrch
		2.	5013	150	V	B	Vrub v kořeni
2.	Povrch	1.	5013	167	V	B	Vrub v kořeni
3.	Povrch	1.	521	115-170	V	B	Nepravidelný rozměr svaru
4.	Povrch	1.	5013	148	V	B	Vrub v kořeni
		2.	500	185	V	B	Vada tvaru
5.	Povrch	1.	513	190	V	B	Nepravidelná šířka
6.	Povrch	1.	513	95-150	V	B	Nepravidelná šířka
		2.	521	120-130	V	B	Nepravidelný rozměr svaru
7.	Povrch	1.	602	0-200	V	B	Rozstřík
		2.	2014	80-90	V	B	řádek pórů
		3.	5013	110-145	V	B	Vrub v kořeni
		4.	2013	148-155	V	B	Shluk pórů
8.	Povrch	1.	602	0-200	V	B	Rozstřík
		2.	514	80-170	V	B	Nepravidelný povrch
		3.	514	120-180	V	B	Vrub v kořeni
9.	Povrch	1.	513	120-200	V	B	Nepravidelná šířka
10.	Povrch	1.	514	50-60	V	B	Nepravidelný povrch
		2.	514	155-170	V	B	Nepravidelný povrch
11.	Povrch	1.	513	0-40	V	B	Nepravidelná šířka
		2.	513	150-165	V	B	Nepravidelná šířka
		3.	506	155-165	V	B	Přetečení
12.	Povrch	Bez viditelné vady					
13.	Povrch	1.	514	35	V	B	Nepravidelný povrch
		2.	506	147-153	V	B	Přetečení
	Kořen	1.	513	160	V	B	Nepravidelná šířka
14.	Povrch	Bez viditelné vady					
	Kořen	Bez viditelné vady					

Tab. 9 - Vyhodnocení kapilární zkoušky

Číslo svaru nebo spoje	Pořadí chyby	Vzdálenost od počátku v [mm]	Slovní označení vady	Vyhodnocení detekované vady
1.				Bez detekované vady
2.				Bez detekované vady
3.				Bez detekované vady
4.				Bez detekované vady
5.	1.	8	Pór	Vyhovuje
6.	1.	7	Pór	Vyhovuje
7.	1.	11	Pór	Vyhovuje
8.	1.	188	Pór	Vyhovuje
9.				Bez detekované vady
10.				Bez detekované vady
11.				Bez detekované vady
12.				Bez detekované vady
13.				Bez detekované vady
14.				Bez detekované vady

Tab. 10 - Navážené hodnoty 1. svaru korozní zkoušky

Označení vzorku	1/1						
Doba leptání v [min]	0	1	2	3	6	9	10
Hmotnost vzorku před leptáním v [g]	15,678	15,678	15,678	15,678	15,678	15,678	15,678
Hmotnost vzorku po leptáním v [g]	15,973	15,969	15,873	15,795	15,791	15,733	14,839
Označení vzorku	1/2						
Doba leptání v [min]	0	1	2	3	6	9	10
Hmotnost vzorku před leptáním v [g]	15,492	15,492	15,492	15,492	15,492	15,492	15,492
Hmotnost vzorku po leptáním v [g]	15,593	14,632	14,496	14,526	14,519	14,407	13,616
Označení vzorku	1/3						
Doba leptání v [min]	0	1	2	3	6	9	10
Hmotnost vzorku před leptáním v [g]	14,382	14,382	14,382	14,382	14,382	14,382	14,382
Hmotnost vzorku po leptáním v [g]	15,764	15,735	15,584	15,470	15,468	15,467	14,738

Tab. 11 - Navážené hodnoty 3. svaru korozní zkoušky

Označení vzorku	3/1						
Doba leptání v [min]	0	1	2	3	6	9	10
Hmotnost vzorku před leptáním v [g]	61,559	61,559	61,559	61,559	61,559	61,559	61,559
Hmotnost vzorku po leptáním v [g]	61,978	61,767	61,517	61,492	61,004	60,921	60,080
Označení vzorku	3/2						
Doba leptání v [min]	0	1	2	3	6	9	10
Hmotnost vzorku před leptáním v [g]	64,561	64,561	64,561	64,561	64,561	64,561	64,561
Hmotnost vzorku po leptáním v [g]	64,787	64,607	64,552	64,302	63,968	63,942	63,642
Označení vzorku	3/3						
Doba leptání v [min]	0	1	2	3	6	9	10
Hmotnost vzorku před leptáním v [g]	70,562	70,562	70,562	70,562	70,562	70,562	70,562
Hmotnost vzorku po leptáním v [g]	70,806	70,326	70,174	70,226	69,964	69,948	69,798

Tab. 12 - Navážené hodnoty 5. spoje korozní zkoušky

Označení vzorku	5/1				
Doba leptání v [min]	0	1	2	3	6
Hmotnost vzorku před leptáním v [g]	19,957	19,957	19,957	19,957	19,957
Hmotnost vzorku po leptáním v [g]	20,457	19,726	19,287	18,928	18,782
Označení vzorku	5/2				
Doba leptání v [min]	0	1	2	3	6
Hmotnost vzorku před leptáním v [g]	19,762	19,762	19,762	19,762	19,762
Hmotnost vzorku po leptáním v [g]	20,247	19,522	19,148	18,786	18,658
Označení vzorku	5/3				
Doba leptání v [min]	0	1	2	3	6
Hmotnost vzorku před leptáním v [g]	19,512	19,512	19,512	19,512	19,512
Hmotnost vzorku po leptáním v [g]	19,979	19,438	18,805	18,530	18,421

Tab. 13 - Navážené hodnoty 7. spoje korozní zkoušky

Označení vzorku	7/1				
Doba leptání v [min]	0	1	2	3	6
Hmotnost vzorku před leptáním v [g]	62,691	62,691	62,691	62,691	62,691
Hmotnost vzorku po leptáním v [g]	63,256	61,636	61,260	61,181	61,154
Označení vzorku	7/2				
Doba leptání v [min]	0	1	2	3	6
Hmotnost vzorku před leptáním v [g]	60,549	60,549	60,549	60,549	60,549
Hmotnost vzorku po leptáním v [g]	61,118	59,628	59,159	59,035	58,999
Označení vzorku	7/3				
Doba leptání v [min]	0	1	2	3	6
Hmotnost vzorku před leptáním v [g]	64,405	64,405	64,405	64,405	64,405
Hmotnost vzorku po leptáním v [g]	64,898	63,298	62,981	62,862	62,829

Tab. 14 - Navážené hodnoty 9. svaru korozní zkoušky

Označení vzorku	9/1						
Doba leptání v [min]	0	1	2	3	6	9	10
Hmotnost vzorku před leptáním v [g]	15,341	15,341	15,341	15,341	15,341	15,341	15,341
Hmotnost vzorku po leptáním v [g]	15,352	15,337	15,332	15,330	15,328	15,327	15,246
Označení vzorku	9/2						
Doba leptání v [min]	0	1	2	3	6	9	10
Hmotnost vzorku před leptáním v [g]	14,360	14,360	14,360	14,360	14,360	14,360	14,360
Hmotnost vzorku po leptáním v [g]	14,358	14,355	14,353	14,350	14,349	14,348	14,358
Označení vzorku	9/3						
Doba leptání v [min]	0	1	2	3	6	9	10
Hmotnost vzorku před leptáním v [g]	14,566	14,566	14,566	14,566	14,566	14,566	14,566
Hmotnost vzorku po leptáním v [g]	14,563	14,560	14,556	14,555	14,553	14,552	14,460

Tab. 15 - Navážené hodnoty 12. svaru korozní zkoušky

Označení vzorku	12/1						
Doba leptání v [min]	0	1	2	3	6	9	10
Hmotnost vzorku před leptáním v [g]	20,749	20,749	20,749	20,749	20,749	20,749	20,749
Hmotnost vzorku po leptáním v [g]	20,457	20,745	20,742	20,740	20,738	20,736	20,665
Označení vzorku	12/2						
Doba leptání v [min]	0	1	2	3	6	9	10
Hmotnost vzorku před leptáním v [g]	21,992	21,992	21,992	21,992	21,992	21,992	21,992
Hmotnost vzorku po leptáním v [g]	21,989	21,984	21,980	21,977	21,976	21,974	21,896
Označení vzorku	12/3						
Doba leptání v [min]	0	1	2	3	6	9	10
Hmotnost vzorku před leptáním v [g]	21,308	21,308	21,308	21,308	21,308	21,308	21,308
Hmotnost vzorku po leptáním v [g]	21,305	21,299	21,294	21,292	21,290	21,288	21,213

Tab. 16 - Navážené hodnoty 14. svaru korozní zkoušky

Označení vzorku	14/1						
Doba leptání v [min]	0	1	2	3	6	9	10
Hmotnost vzorku před leptáním v [g]	15,860	15,860	15,860	15,860	15,860	15,860	15,860
Hmotnost vzorku po leptáním v [g]	15,857	15,855	15,851	15,850	15,849	15,847	15,747
Označení vzorku	14/2						
Doba leptání v [min]	0	1	2	3	6	9	10
Hmotnost vzorku před leptáním v [g]	15,198	15,198	15,198	15,198	15,198	15,198	15,198
Hmotnost vzorku po leptáním v [g]	15,196	15,193	15,190	15,188	15,187	15,186	15,095
Označení vzorku	14/3						
Doba leptání v [min]	0	1	2	3	6	9	10
Hmotnost vzorku před leptáním v [g]	15,902	15,902	15,902	15,902	15,902	15,902	15,902
Hmotnost vzorku po leptáním v [g]	15,899	15,897	15,895	15,893	15,892	15,890	15,792

Tab. 17 - Vyhodnocení navážených hodnot 1. svaru

Označení vzorku	1/1		
Mezní hodnota	Maximum	Minimum	Rozdíl
Mezní hodnota v [g]	15,973	14,839	1,134
Označení vzorku	1/2		
Mezní hodnota	Maximum	Minimum	Rozdíl
Mezní hodnota v [g]	15,593	13,616	1,977
Označení vzorku	1/3		
Mezní hodnota	Maximum	Minimum	Rozdíl
Mezní hodnota v [g]	15,764	14,738	1,026

Tab. 18 - Vyhodnocení navážených hodnot 3. svaru

Označení vzorku	3/1		
Mezní hodnota	Maximum	Minimum	Rozdíl
Mezní hodnota v [g]	61,978	60,080	1,898
Označení vzorku	3/2		
Mezní hodnota	Maximum	Minimum	Rozdíl
Mezní hodnota v [g]	64,787	63,642	1,145
Označení vzorku	3/3		
Mezní hodnota	Maximum	Minimum	Rozdíl
Mezní hodnota v [g]	70,806	69,798	1,008

Tab. 19 - Vyhodnocení navážených hodnot 5. spoje

Označení vzorku	5/1		
Mezní hodnota	Maximum	Minimum	Rozdíl
Mezní hodnota v [g]	20,457	18,782	1,675
Označení vzorku	5/2		
Mezní hodnota	Maximum	Minimum	Rozdíl
Mezní hodnota v [g]	20,247	18,658	1,589
Označení vzorku	5/3		
Mezní hodnota	Maximum	Minimum	Rozdíl
Mezní hodnota v [g]	19,979	18,421	1,558

Tab. 20 - Vyhodnocení navážených hodnot 7. spoje

Označení vzorku	7/1		
Mezní hodnota	Maximum	Minimum	Rozdíl
Mezní hodnota v [g]	63,256	61,154	2,102
Označení vzorku	7/2		
Mezní hodnota	Maximum	Minimum	Rozdíl
Mezní hodnota v [g]	61,118	58,999	2,119
Označení vzorku	7/3		
Mezní hodnota	Maximum	Minimum	Rozdíl
Mezní hodnota v [g]	64,898	62,829	2,069

Tab. 21 - Vyhodnocení navážených hodnot 9. svaru

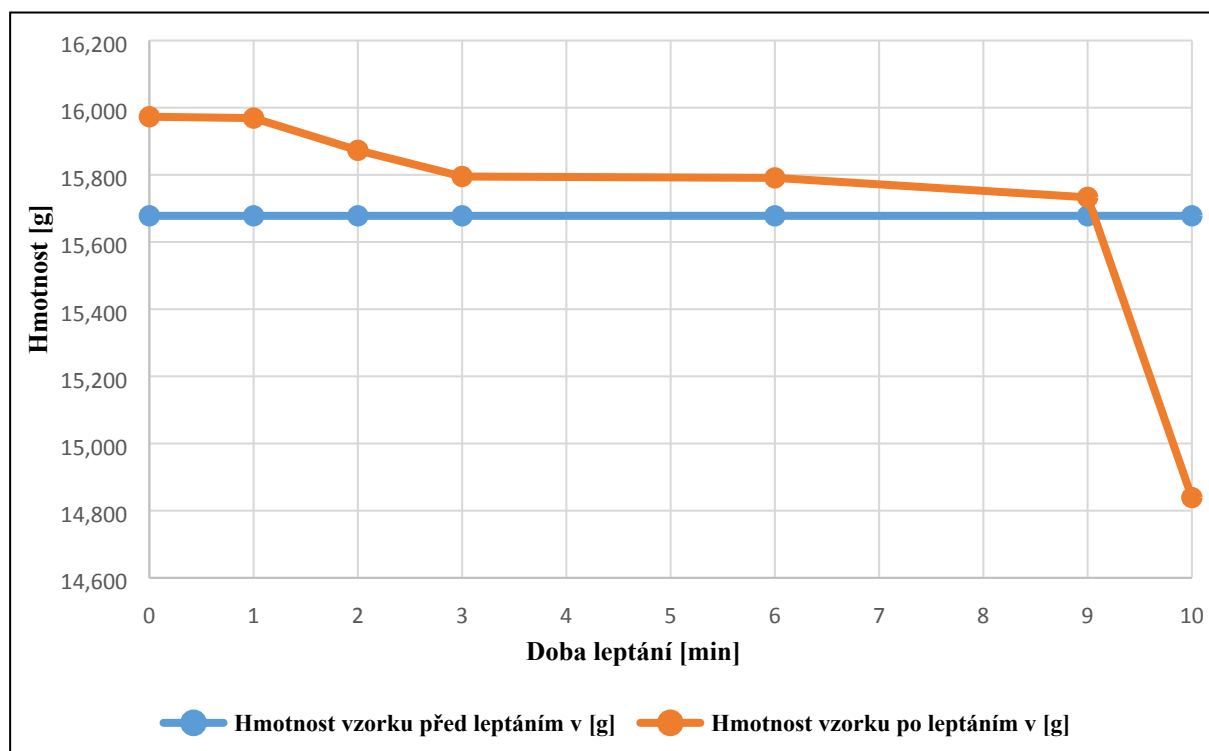
Označení vzorku	9/1		
Mezní hodnota	Maximum	Minimum	Rozdíl
Mezní hodnota v [g]	15,352	15,246	0,106
Označení vzorku	9/2		
Mezní hodnota	Maximum	Minimum	Rozdíl
Mezní hodnota v [g]	14,358	14,348	0,010
Označení vzorku	9/3		
Mezní hodnota	Maximum	Minimum	Rozdíl
Mezní hodnota v [g]	14,563	14,460	0,103

Tab. 22 - Vyhodnocení navážených hodnot 12. svaru

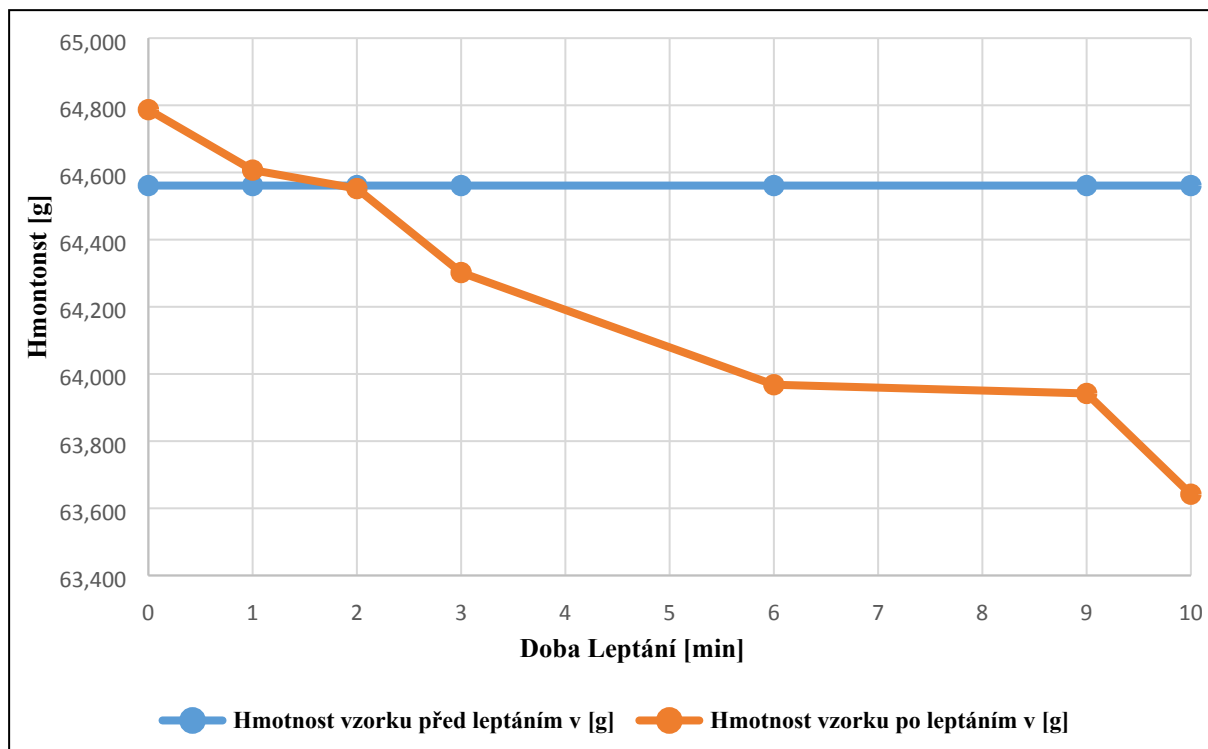
Označení vzorku	12/1		
Mezní hodnota	Maximum	Minimum	Rozdíl
Mezní hodnota v [g]	20,745	20,457	0,288
Označení vzorku	12/2		
Mezní hodnota	Maximum	Minimum	Rozdíl
Mezní hodnota v [g]	21,989	21,896	0,093
Označení vzorku	12/3		
Mezní hodnota	Maximum	Minimum	Rozdíl
Mezní hodnota v [g]	21,305	21,213	0,092

Tab. 23 - Vyhodnocení navážených hodnot 14. svaru

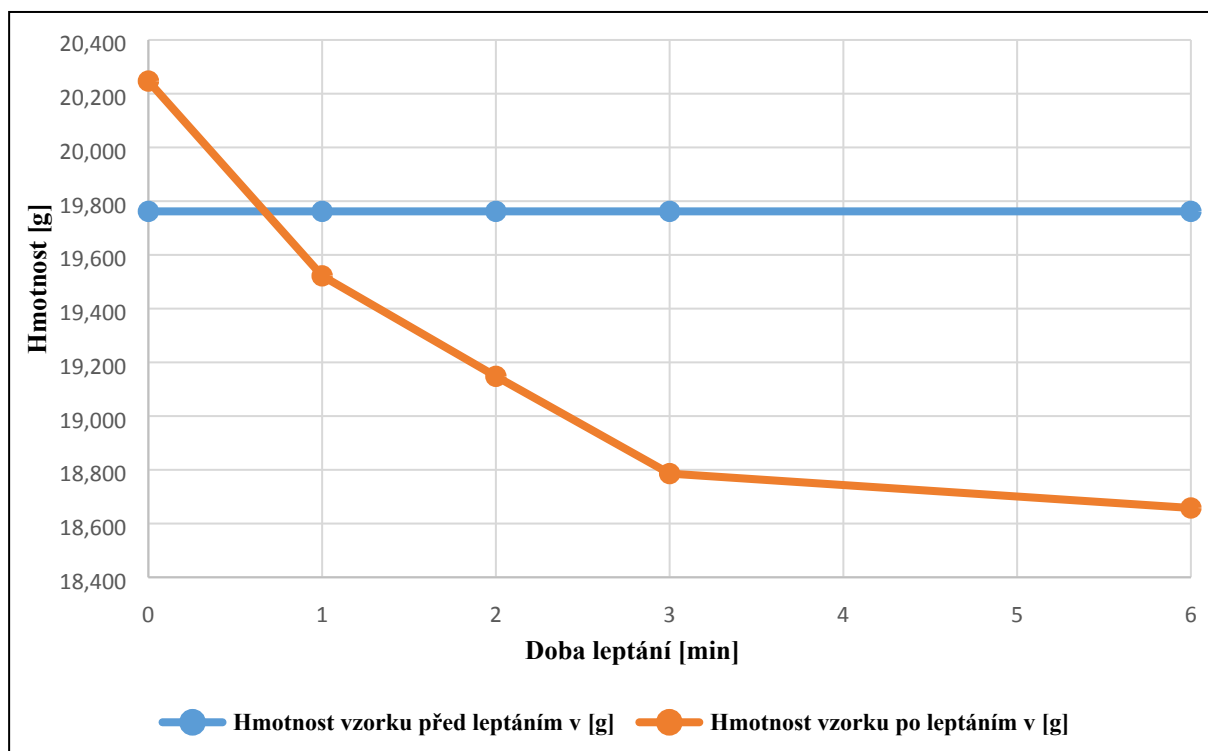
Označení vzorku	14/1		
Mezní hodnota	Maximum	Minimum	Rozdíl
Mezní hodnota v [g]	15,857	15,747	0,110
Označení vzorku	14/2		
Mezní hodnota	Maximum	Minimum	Rozdíl
Mezní hodnota v [g]	15,196	15,095	0,101
Označení vzorku	14/3		
Mezní hodnota	Maximum	Minimum	Rozdíl
Mezní hodnota v [g]	15,899	15,792	0,107



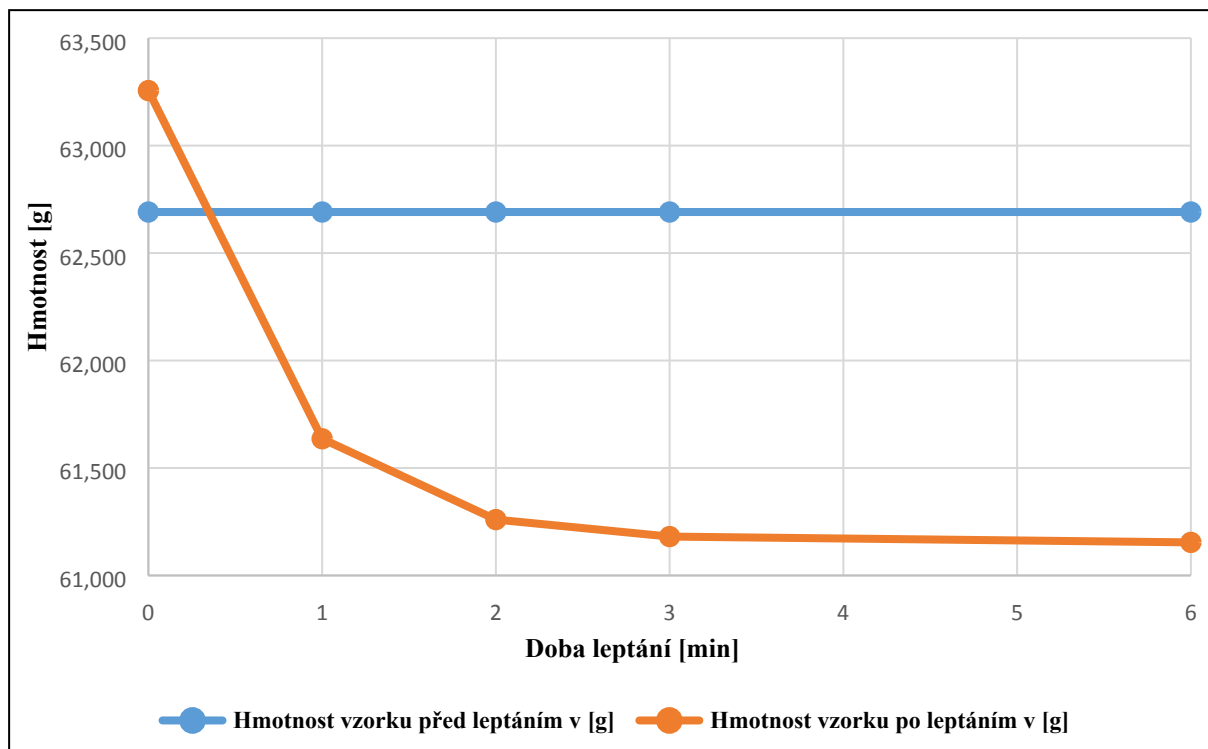
Graf 1 - Navážené hodnoty 1. svaru korozní zkoušky pro 1/1 vzorek



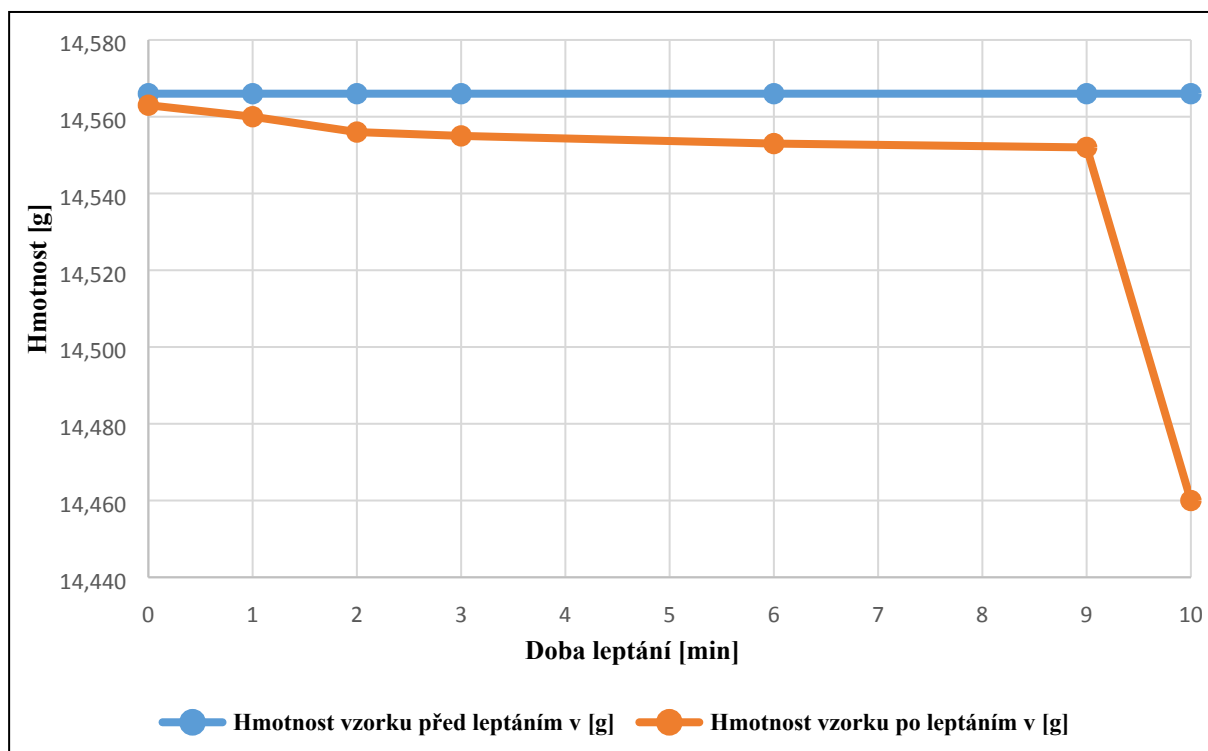
Graf 2 - Navážené hodnoty 3. svaru korozní zkoušky pro 3/2 vzorek



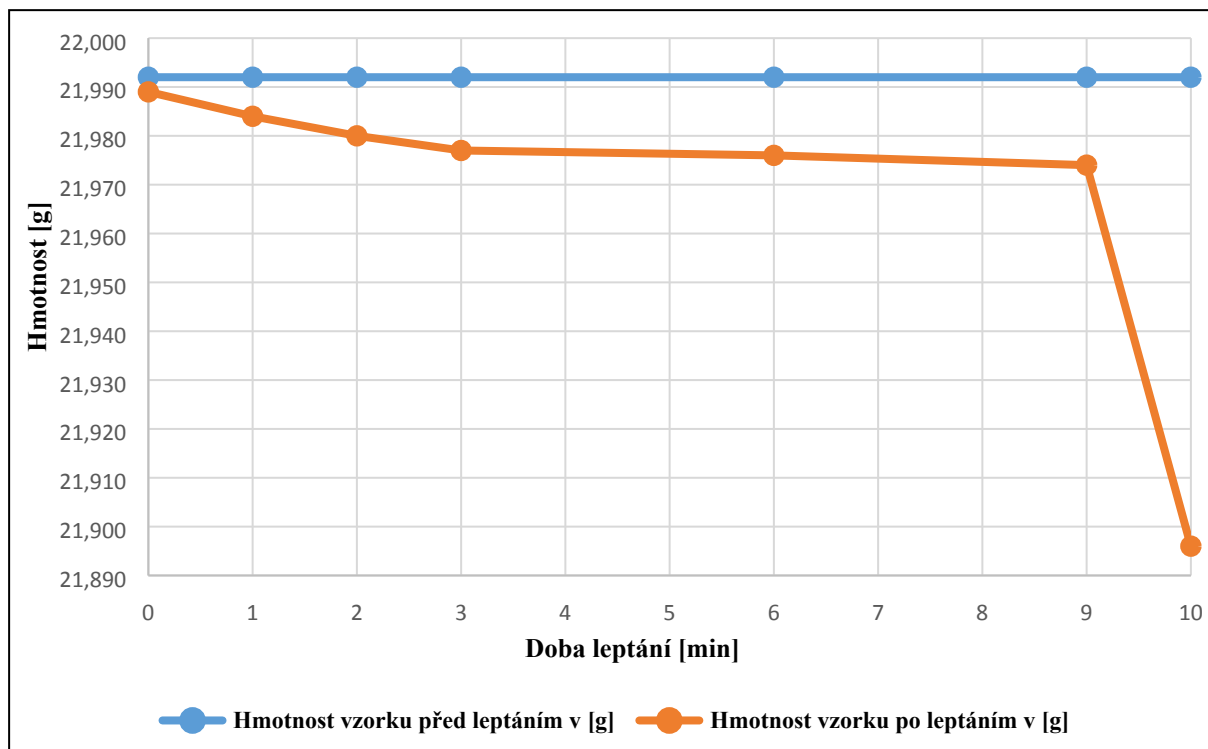
Graf 3 - Navážené hodnoty 5. spoje korozní zkoušky pro 5/2 vzorek



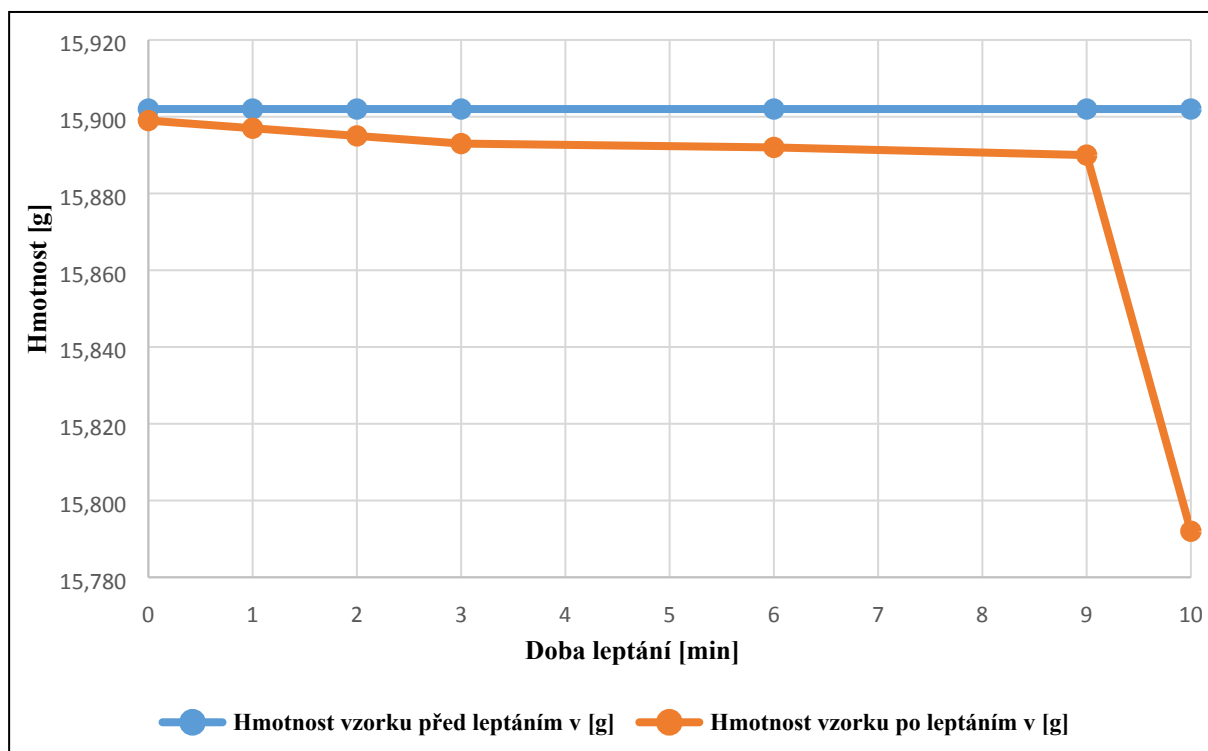
Graf 4 - Navážené hodnoty 7. spoje korozní zkoušky pro 7/1 vzorek



Graf 5 - Navážené hodnoty 9. svaru korozní zkoušky pro 9/3 vzorek



Graf 6 - Navážené hodnoty 12. svaru korozní zkoušky pro 12/2 vzorek



Graf 7 - Navážené hodnoty 14. svaru korozní zkoušky pro 14/3 vzorek