

SVAŘOVÁNÍ HLINÍKOVÝCH SLITIN

Bc. Stanislav Hrabica

Diplomová práce
2022



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně

Fakulta technologická

Ústav výrobního inženýrství

Akademický rok: 2021/2022

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení:	Bc. Stanislav Hrabica
Osobní číslo:	T20036
Studijní program:	N0788A270002 Výrobní inženýrství
Specializace:	Stroje a nástroje pro zpracování polymerů a kompozitů
Forma studia:	Kombinovaná
Téma práce:	Svařování hliníkových slitin

Zásady pro vypracování

1. Vypracování literární studie se zaměřením na hlavní skupiny hliníkových slitin, jejich použití, zpracování a problematiku svařování hliníku.
2. Návrh postupů svařování u vybrané součásti.
3. Ověření navržených řešení.
4. Diskuze výsledků a závěr.

Forma zpracování diplomové práce: **tištěná/elektronická**

Seznam doporučené literatury:

1. KOU, Sindo. *Welding metallurgy*. 2nd ed. Hoboken, N. J: Wiley-Interscience, c2003, xiv, 461 s. ISBN 0471434027
2. *ASM handbook*. 6th print. Materials Park: ASM International, 2003. ISBN 0-87170-382-3.
3. KOLAŘÍK, Ladislav. *Konstrukce a navrhování svarových spojů: učební texty pro mezinárodní/evropské svářečské inženýry a technology (I/EWE, I/EWT)*. Praha: ČVUT v Praze, Fakulta strojní, Ústav strojírenské technologie, 2017. ISBN 978-80-01-06315-6.

Vedoucí diplomové práce: **Ing. Martin Bednařík, Ph.D.**
Ústav výrobního inženýrství

Datum zadání diplomové práce: **3. ledna 2022**
Termín odevzdání diplomové práce: **13. května 2022**

prof. Ing. Roman Čermák, Ph.D. v.r.
děkan

L.S.

prof. Ing. Berenika Hausnerová, Ph.D. v.r.
ředitel ústavu

Ve Zlíně dne 18. února 2022

PROHLÁŠENÍ AUTORA DIPLOMOVÉ PRÁCE

Beru na vědomí, že:

- diplomová práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitním informačním systému a dostupná k nahlédnutí;
- na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, zejm. § 35 odst. 3;
- podle § 60 odst. 1 autorského zákona má Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona;
- podle § 60 odst. 2 a 3 autorského zákona mohu užít své dílo – diplomovou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití jen s předchozím písemným souhlasem Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše);
- pokud bylo k vypracování diplomové práce využito softwaru poskytnutého Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně nebo jinými subjekty pouze ke studijním a výzkumným účelům (tj. k nekomerčnímu využití), nelze výsledky diplomové práce využít ke komerčním účelům;
- pokud je výstupem diplomové práce jakýkoliv softwarový produkt, považují se za součást práce rovněž i zdrojové kódy, popř. soubory, ze kterých se projekt skládá. Neodevzdání této součásti může být důvodem k neobhájení práce.

Prohlašuji,

- že jsem diplomové práci pracoval samostatně a použitou literaturu jsem citoval. V případě publikace výsledků budu uveden jako spoluautor.
- že odevzdaná verze diplomové práce a verze elektronická nahraná do IS/STAG jsou obsahově totožné.

Ve Zlíně dne:

Jméno a příjmení studenta:

.....
podpis studenta

ABSTRAKT

Tato diplomová práce se zabývá svařováním hliníkových slitin. V teoretické části práce jsou popsány hlavní skupiny hliníkových slitin, základní pojmy svařování a vybrané metody. Dále jsou zde probírány možné problémy při svařování tvářených hliníkových slitin. V praktické části následuje popis výrobku z hliníkové slitiny, základní materiál a výběr vhodného přídatného materiálu. Následuje volba parametrů svařování, jejich ověření, technologický postup, ekonomické vyhodnocení postupů a popis dílčích kroků výroby.

Klíčová slova: hliníkové slitiny, svařování

ABSTRACT

This bachelor thesis deals with welding of aluminium alloys. The theoretical part of this work describes the main groups of aluminium alloys. The basic concepts of welding and selected methods are described here. Furthermore, possible problems in welding aluminium alloys are discussed. The practical part is a description of the aluminium alloy product, the basic material and the selection of a filler material. The following is the selection of welding parameters, their verification, technological process and a description of the partial steps of production.

Keywords: aluminium alloys, welding

Děkuji vedoucímu této práce Ing. Martinu Bednařikovi, Ph.D. za užitečné rady a vedení při tvorbě této práce. Děkuji také svojí ženě za podporu a trpělivost v průběhu celého studia.

Prohlašuji, že odevzdaná verze bakalářské/diplomové práce a verze elektronická nahraná do IS/STAG jsou totožné.

OBSAH

ÚVOD	10
I TEORETICKÁ ČÁST	11
1.1 VLASTNOSTI HLINÍKU	12
2 STRUKTURA HLINÍKOVÝCH SLITIN	13
2.1 ROZDĚLENÍ HLINÍKOVÝCH SLITIN	14
2.2 VLIV PŘÍSADOVÝCH PRVKŮ NA STRUKTURU	14
3 ZNAČENÍ HLINÍKOVÝCH SLITIN	16
3.1 SYSTÉM ČÍSELNÉHO OZNAČOVÁNÍ ČSN EN 573-1	16
3.1.1 Skupina 1xxx.....	16
3.1.2 Skupina 2xxx až 8xxx	16
3.2 SYSTÉM CHEMICKÉHO ZNAČENÍ ČSN EN 573-2.....	17
3.3 ZNAČENÍ SLÉVÁRENSKÝCH SLITIN ČSN EN 1706	17
3.4 OZNAČENÍ STAVU SLITIN ČSN EN 515	17
3.5 ZAŘAZENÍ HLINÍKU DO SKUPIN PRO ÚČELY SVAŘOVÁNÍ	18
4 TVÁŘENÉ SLITINY	20
4.1 ZPRACOVÁNÍ URČUJÍCÍ STAV SLITINY	20
4.1.1 Deformační zpevnění	21
4.1.2 Žihání	22
4.1.3 Vytvrzování.....	23
4.2 NEVYTVRDITELNÉ SLITINY	24
4.2.1 Skupina slitin 1XXX	24
4.2.2 Skupina slitin 3XXX	25
4.2.3 Skupina slitin 4XXX	25
4.2.4 Skupina slitin 5XXX	26
4.2.5 Skupina slitin 8XXX	27
4.3 VYTVRDITELNÉ SLITINY	27
4.3.1 Skupina slitin 2XXX	27
4.3.2 Skupina slitin 6XXX	28
4.3.3 Skupina slitin 7XXX	29
5 SVAŘOVÁNÍ HLINÍKOVÝCH SLITIN	31
5.1 VLASTNOSTI OVLIVŇUJÍCÍ PROCES SVAŘOVÁNÍ	31
5.2 TRHLINY	33
5.2.1 Příčiny a omezení vzniku horkých trhlin	34
5.3 DEFORMACE.....	36
5.4 KOROZE SVAROVÝCH SPOJŮ	37
6 METODY SVAŘOVÁNÍ HLINÍKOVÝCH SLITIN	39

6.1	METODA MIG	39
6.1.1	Přenos kovu v oblouku.....	40
6.1.2	Svařovací zdroje.....	41
6.1.3	Ochranné plyny	42
6.1.4	Podávání drátu.....	43
6.2	METODA TIG	45
6.2.1	Svařování střídavým proudem	45
6.2.2	Zdroje střídavého proudu	47
6.2.3	Parametry svařování.....	48
6.2.4	Elektrody a ochranné plyny pro TIG svařování.....	50
II	PRAKTICKÁ ČÁST.....	52
7	CÍLE DIPLOMOVÉ PRÁCE	53
8	VÝROBEK ZE SLITINY HLINÍKU	54
8.1	MATERIÁL VÝROBKU	55
	Volba metod.....	58
8.3.1	svařování a použitých zařízení	58
9	VOLBA PARAMETRŮ SVAŘOVÁNÍ.....	60
9.1.1	Metoda MIG.....	60
9.1.2	Metoda TIG.....	62
10.1	ZKOUŠKA MAKROSTRUKTURY.....	65
11	ZHODNOCENÍ NÁKLADŮ NA PROCES SVAŘOVÁNÍ.....	71
11.1	MZDOVÉ A REŽIJNÍ NÁKLADY VZTAŽENÉ NA SVÁŘEČE.....	72
11.3	NÁKLADY NA OCHRANNÝ PLYN	74
11.4	CELKOVÉ NÁKLADY	74
12	VÝROBA.....	76
12.1	PŘÍPRAVA POLOTOVARŮ	76
12.2	PŘÍPRAVA SVAROVÝCH PLOCH	76
12.3	SVAŘOVÁNÍ.....	78
14	ZÁVĚR.....	85
	SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK.....	90
	SEZNAM OBRÁZKŮ	93
	SEZNAM TABULEK.....	95
	SEZNAM PŘÍLOH.....	96

ÚVOD

Objev výroby hliníku elektrolýzou je datován do roku 1886. Po uplynutí přibližně půl století vývoje nejen jeho průmyslové výroby, ale i ceny, nastal po 2. světové válce prudký růst oblastí jeho použití až na úroveň každodenního života všech vrstev lidské společnosti.

V současnosti objem jeho výroby stále nedosáhl vrcholu a s nároky na snižování spotřeby paliva v dopravě se tento lehký kov stále častěji vyskytuje nejen v průmyslu a v domácnostech, ale i na moři a ve vzduchu.

S tímto značným rozšířením hliníku nejen v čisté podobě, ale v převážné většině ve formě slitiny, je při zhotovení výrobků důležitým faktorem spolehlivé spojování těchto materiálů.

Tato diplomová práce vznikla při získání nové zakázky v podniku A. Tento podnik má zkušenosti se svařováním běžných i korozivzdorných ocelí. Pro výrobu součástí z hliníkové slitiny, která má z hlediska svařování a přípravných operací v mnoha ohledech jiné zákonitosti, je proto potřeba připravit pevný základ, kterého je tato diplomová práce součástí.

V teoretické části této diplomové práce jsou popsány vlastnosti čistého hliníku a struktura slitiny. Po základním rozdělení slitin následuje shrnutí používaných systémů jejich značení. V následující kapitole jsou popsány tvářené slitiny a jejich zpracování, na které navazuje rozdělení tvářených slitin, jejich vlastnosti a použití v průmyslu. V samostatné kapitole je pak popsáno svařování hliníkových slitin a příčiny vzniku typických vad. Závěr teoretické části se zabývá obloukovými metodami a jejich přizpůsobení pro svařování hliníkových slitin.

Praktická část se zabývá svařováním součástí z tvářené hliníkové slitiny používané v oblasti kolejových vozidel. Zvážením všech možností výrobního podniku jsou zvoleny vhodné postupy pro přípravu polotovarů a metody jejich svařování. Pozornost je věnována také volbě přídavných materiálů a ochranných plynů. Následuje experimentální ověření procesních parametrů vybraných metod a jejich vyhodnocení. Volba vhodného postupu je dokončena vypracováním příslušné dokumentace. Před zahájením výroby je zohledněna spolehlivost zvolených postupů a náklady na proces svařování zvolených metod. Samotná výroba součástí pak probíhala na základě ověřených parametrů a poznatků získaných studií literatury.

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 HLINÍK

Z geologického hlediska patří hliník mezi nejrozšířenější kovy. Jeho obsah v zemské kůře je přibližně 8 % a vyskytuje se ve sloučeninách, jako jsou bauxit, kryolit, korund, kaolín a další. Vlastnosti hliníku umožňují jeho aplikaci téměř ve všech oblastech lidské činnosti. Například ve strojírenství patří hliník mezi nejvíce využívané neželezné kovy pro svoji výhodnou kombinaci fyzikálních, mechanických a chemických vlastností. [1;2]

1.1 Vlastnosti hliníku

Mezi **fyzikální vlastnosti** typické pro hliník patří například velmi malá měrná hmotnost, kterou je však možné ovlivnit tvářením. Krystalická mřížka tohoto kovu je kubická plošně centrovaná. Dále pak vysoká tepelná a elektrická vodivost hliníku. Hodnoty elektrické vodivosti jsou nejvyšší u čistého hliníku, výrazně se však snižují s rostoucím obsahem přísadových prvků nebo nečistot. Teplota tavení čistého hliníku je 658 °C. [1;2]

Hodnoty **mechanických vlastností** čistého hliníku jsou nízké (pevnost v tahu 70-100 MPa), proto se jako konstrukční materiál téměř nepoužívá, naopak jeho plastické vlastnosti jsou díky kubické plošně centrované mřížce velmi dobré. Mechanické vlastnosti lze zvýšit legováním, mikrolegováním nebo tepelným zpracováním. [1;2]

Chemické vlastnosti vystihuje jeho odolnost vůči korozi. Tuto odolnost zabezpečuje tenká vrstva oxidu hlinitého Al_2O_3 , který vzniká na povrchu při reakci hliníku s kyslíkem. Tloušťka vrstvy se při normálních teplotách povrchu součásti pohybuje okolo 10 nm. Oxidická vrstva brání vzniku hloubkové oxidace, odolnost hliníku vůči povětrnostním vlivům je proto velmi dobrá. Odolnost vůči korozi klesá s obsahem legujících prvků, jako jsou například Mg a Cu. [1;3]

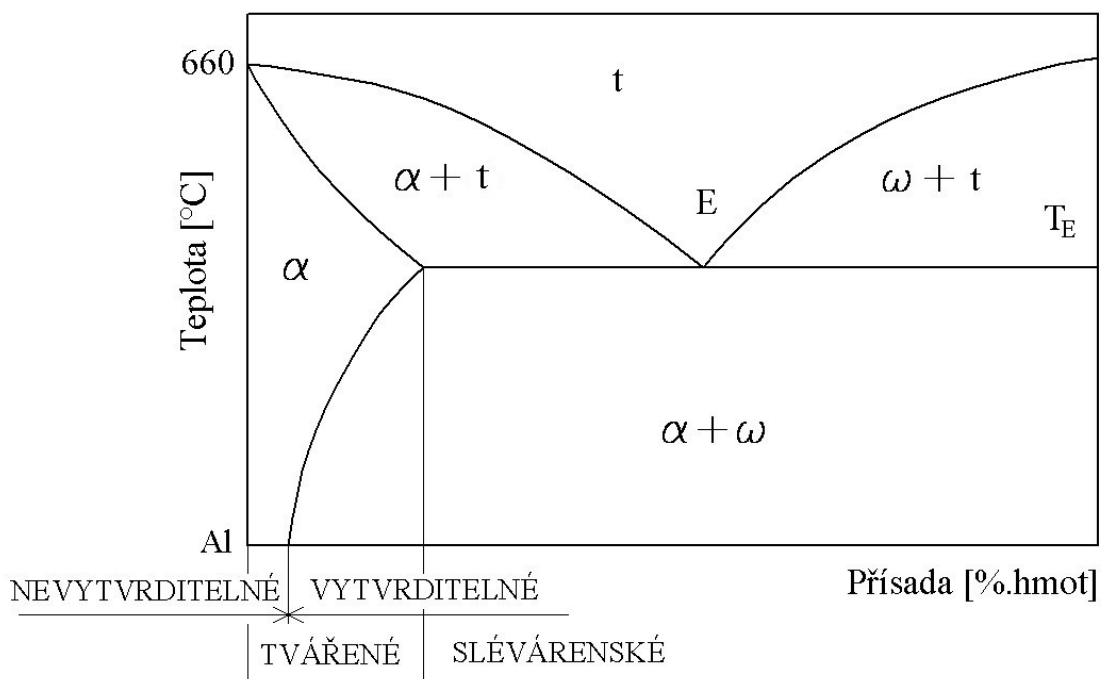
Tabulka 1: Vybrané vlastnosti čistého hliníku a jejich hodnoty. [2]

Vlastnosti	Hodnoty
Hustota Al [kg/m^3]	2640-2700
Hustota Al_2O_3 [kg/m^3]	3960
Pevnost [Mpa]	70-100
Tažnost [%]	30-40
Teplota tavení [°C]	660
Bod varu [°C]	2270
Teplota tavení Al_2O_3 [°C]	2046

2 STRUKTURA HLINÍKOVÝCH SLITIN

Samotný hliník se vzhledem ke své nízké pevnosti jako konstrukční materiál téměř nepoužívá. Jeho mechanické vlastnosti se proto zvyšují legováním, mikrolegováním dalšími prvky, nebo tepelným zpracováním. [2]

Hliníkové materiály lze podle chemického složení rozdělit na: **technický hliník**, který obsahuje minimálně 99 hm. % Al a **slitiny hliníku** s obsahem přísadových prvků 1 hm. % a více. Základní rozdělení slitin hliníku je možné popsat pomocí obecného rovnovážného diagramu binárních slitin hliníku. [4;5]



Obrázek 1: Obecný rovnovážný diagram binárních slitin hliníku. [5]

Homogenní tuhý roztok hliníku se označuje (α). Jedná se o substituční tuhý roztok, ve kterém atomy přísadového prvku nahrazují atomy hliníku v jeho kubické plošně centrované mřížce. Vzhledem k rozdílné velikosti atomů přísadových prvků je mřížka deformována a dochází ke zpevnění. Při růstu zpevnění slitiny dochází naopak k poklesu plastických vlastností. [1]

Při chladnutí z taveniny (t) je nejvyšší rozpustnost přísadového prvku v hliníku při dosažení eutektické teploty (T_E). Při dalším chladnutí se rozpustnost přísadového prvku snižuje a v důsledku snižování rozpustnosti se může vylučovat fáze přísadového prvku (ω). Tento

proces umožňuje provádět nejdůležitější tepelné zpracování hliníkových slitin vytvrzování. [1]

Eutektikum, které tvoří fáze (α) a čistý přísadový prvek (ω) vzniká u slitin, u kterých je vyšší množství přísadového prvku, než je jeho maximální rozpustnost v Al při teplotě tuhnutí. Tyto koncentrace přísadových prvků mají především slévárenské slitiny. Převážná většina slitin má vzhledem k eutektickému bodu (E) podeutektické až eutektické složení. Nadeutektické slitiny se příliš nepoužívají. [1]

2.1 Rozdělení hliníkových slitin

Slitiny hliníku lze v závislosti na způsobu zpracování rozdělit na slitiny tvářené a slévárenské.

Tvářené slitiny mají nižší obsah legujících prvků a dobrou tvárnost za tepla i za studena a vyrábějí se z nich polotovary, jako jsou například tyče, dráty, plechy. Tvářené slitiny lze dále podle způsobu tepelného zpracování dělit na:

- vytvrditelné,
- nevytvrditelné.

U vytvrditelných slitin lze na rozdíl od nevytvrditelných dosáhnout zvýšení hodnot mechanických vlastností pomocí tepelného zpracování (vytvrzování). [2]

Slévárenské slitiny mají podobné chemické složení jako tvářené slitiny, ale obsahy legujících prvků mají obvykle vyšší. Jsou méně tvárné oproti tvářeným slitinám, mají ale jiné výhodné vlastnosti jako je například dobrá zabíhavost. [2]

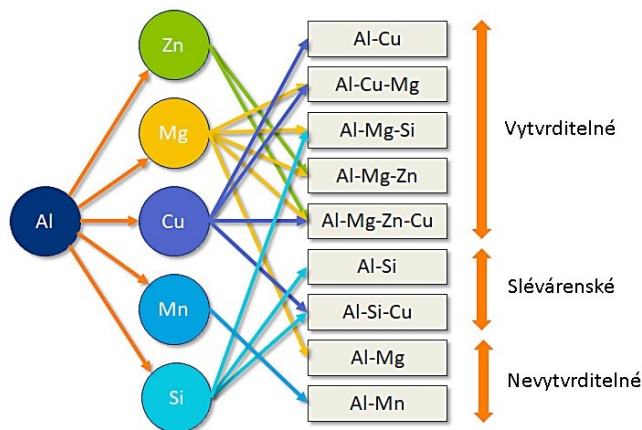
2.2 Vliv přísadových prvků na strukturu

Použité legující prvky mají značný vliv na vlastnosti hliníkových slitin. Jejich přítomnost a množství ovlivňuje například výslednou pevnost slitiny tím, že umožňují tepelné zpracování nebo zpevnění v tuhém roztoku (často spojené s mechanickým zpevněním). Slitiny obvykle obsahují [6]:

- základní prvek (Al),
- hlavní přísadový prvek,
- vedlejší přísadové prvky,

- doprovodné prvky.

Hlavní přísadové prvky používané ve slitinách hliníku jsou: měď, hořčík, mangan, křemík a zinek. Podle použití těchto prvků jsou hliníkové slitiny rozděleny do několika základních skupin. Tyto prvky mají rozhodující vliv na vlastnosti slitiny a jejich obsah bývá po základním prvku druhý nejvyšší. Vedlejší přísadové prvky se používají pro ovlivnění jen některých vlastností. Jejich obsah je obvykle nižší než hlavních prvků. Slitiny hliníku se dělí do skupin také podle přítomnosti vedlejších přísadových prvků. Pro dosažení speciálních vlastností se dále používá Fe, Li, Ti, B, Zr, Cr, V, Sc a Bi. Doprovodné prvky mají obvykle negativní vliv a do slitin nebývají přidávány záměrně. Jejich maximální přípustný obsah je limitován. Jedná se většinou o nečistoty vznikající při výrobním procesu. [1;6]



Obrázek 2 Rozdělení slitin hliníku do skupin podle chemického složení. [6]

3 ZNAČENÍ HLINÍKOVÝCH SLITIN

Označování hliníkových slitin se v současnosti provádí dle harmonizovaných evropských norem. Značení pro tvářené slitiny se řídí normami: ČSN EN 573-1 až 3. Systém označování číslicemi je u značení slitin prioritní a chemickými značkami doplňkové. [2;3]

3.1 Systém číselného označování ČSN EN 573-1

Označení tvářených slitin podle tohoto systému je tvořeno: předponou **EN**, písmenem **A**, které označuje hliník (Aluminium) a písmenem **W**, které označuje tvářené výrobky (Wrought). Poté následují čtyři číslice závislé na chemickém složení. Tento číselný systém byl původně vytvořen v USA a je přijatý jako mezinárodní označení. První ze čtyř čísel číselného označení udává skupinu slitiny v závislosti na obsahu hlavních slitinových prvků. Za číselným označením může být také písmeno dle stavu sliny (například tepelné zpracování). [2;7]

Tabulka 2: Mezinárodní číselný systém označování slitin hliníku [7]

Označení slitiny	Chemické složení
1XXX	Al- 99% a více
2XXX	Al-Cu
3XXX	Al-Mn
4XXX	Al-Si
5XXX	Al-Mg
6XXX	Al-Mg-Si
7XXX	Al-Zn
8XXX	Ostatní prvky

3.1.1 Skupina 1xxx

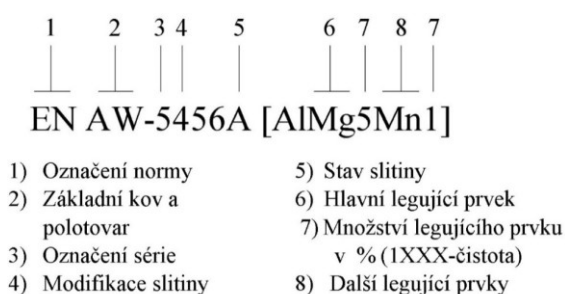
K této skupině patří technický hliník o čistotě 99 % a více. Poslední dvě místa číselné řady udávají čistotu v přesnosti na 0,1 % (například **EN AW 1098**= 99,98 %). Druhá číslice udává množství doprovodných prvků (0 = přirozená mez nečistoty, 1-9 = regulované množství nečistot). [2]

3.1.2 Skupina 2xxx až 8xxx

U těchto skupin poslední dvě číslice slouží k rozlišení různých hliníkových slitin ve skupině. Druhá číslice označuje modifikaci slitiny. Pokud je druhé číslo 0, jedná se o primární slitinu. Číslice 1-9 udávají modifikace primární slitiny. [7]

3.2 Systém chemického značení ČSN EN 573-2

Označení slitiny hliníku v tomto systému se skládá z chemických značek, za kterými následují čísla udávající čistotu hliníku, nebo jmenovitý obsah příslušného prvku. V případě, že se tento systém značení používá současně s číselným systémem označování, uvádí se v hranatých závorkách. Systém číselného značení je ale přednostní, označování pomocí chemického značení je pouze doplňkové. [2]



Obrázek 3: Příklad úplného označení tvářené slitiny s popisem [2]

3.3 Značení slévárenských slitin ČSN EN 1706

Tato norma platí pro odlitky. Označení začíná předponou EN, následuje mezera a písmena AC (Aluminium Casting), která označují odlitky. Následuje pětimístné číselné označení. Stejně jako u značení tvářených slitin udává první číslo skupinu slévárenských slitin podle hlavních slitinových prvků a označení je také možné doplnit chemickým označením. Příklad značení slitiny pak vypadá následovně: EN AC-21000 [AlCu4MgTi]. [2;4]

3.4 Označení stavu slitin ČSN EN 515

Stav slitiny označuje použití žíhání, zpracování za studena, precipitační vytvrzení a podobně. Jednotlivé stavy se pro přesnou identifikaci označují pomocí písmen. Podskupiny jednotlivých stavů jsou dále popisovány pomocí čísel. Systém označování stavů byl převzatý z norem ATSM platných v USA a Kanadě a je v souladu s ČSN EN 515 platné v celé evropské unii. [2]

Tabulka 3: Označování vybraných stavů slitin a podskupin tepelného zpracování [2]

Označení stavu	Význam
F	Tepelně nezpracován – z výroby
O (1-3)	Žihání (rozpouštěcí, na snížení vnitřního pnutí, nebo homogenizační žihání).
H (1-4)	Deformačně zpevněn.
W	Po rozpouštěcím žihání.
T	Tepelně zpracován.
T1	Ochlazení za zvýšené teploty a přirozené stárnutí.
T2	Ochlazení za zvýšené teploty a přirozené stárnutí.
T3	Ochlazení za zvýšené teploty, tváření za studena a přirozené stárnutí.
T4	Rozpouštěcí žihání a přirozené stárnutí.
T5	Ochlazení za zvýšené teploty, tváření za studena a umělé stárnutí.
T6	Rozpouštěcí žihání a umělé stárnutí.
T7	Rozpouštěcí žihání a umělé přestárnutí.
T8	Rozpouštěcí žihání, tváření za studena a umělé stárnutí.
T9	Rozpouštěcí žihání, umělé stárnutí a tváření za studena.

3.5 Zařazení hliníku do skupin pro účely svařování

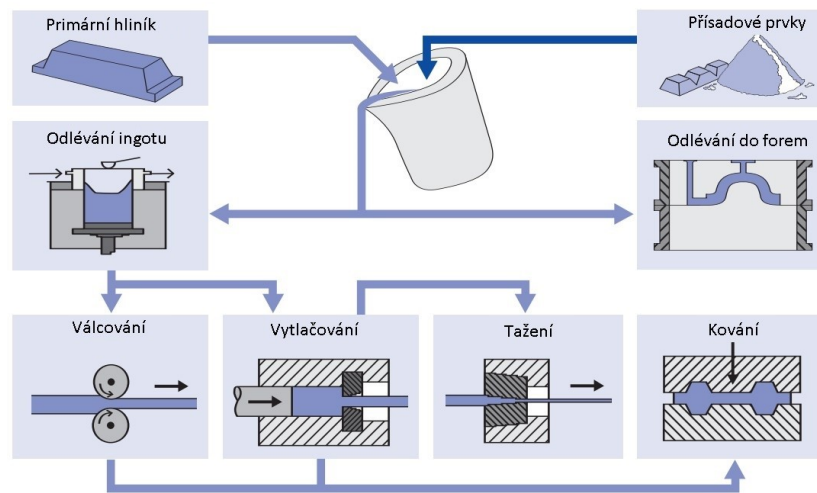
Pro zařazování hliníkových materiálů do skupin pro účely svařování se používá jednotný systém podle směrnice TNI CEN ISO/TR 15608. Tento systém značení se uplatňuje například při klasifikaci základních materiálů svařovacích postupů nebo certifikaci svářečů. Systém se používá také v oblasti tepelného zpracování nebo nedestruktivního zkoušení. [2]

Tabulka 4: Označování hliníkových slitin pro účely svařování [2]

Skupina	Podskupina	Druh hliníku a slitin hliníku
21		Čistý hliník s $\leq 1\%$ nečistot nebo legur
	Tepelně nevytvrditelné slitiny	
	22.1	Slitiny hliníku a manganu
	22.2	Slitiny hliníku a hořčíku s $\text{Mg} \leq 1,5\%$
	22.3	Slitiny hliníku a hořčíku s $1,5\% < \text{Mg} \leq 3,5\%$
	22.4	Slitiny hliníku a hořčíku s $\text{Mg} > 3,5\%$
	Tepelně vytvrditelné slitiny	
	23.1	Slitiny hliníku, hořčíku a křemíku
	23.2	Slitiny hliníku, zinku a hořčíku
	Slitiny hliníku a křemíku s $\text{Cu} \leq 1\%$	
	24.1	Slitiny hliníku a křemíku s $\text{Cu} \leq 1\%$; $5\% < \text{Si} \leq 15\%$
	24.2	Slitiny hliníku, křemíku a hořčíku s $\text{Cu} \leq 1\%$; $5\% < \text{Si} \leq 15\%$ a $0,1\% < \text{Mg} \leq 0,8\%$
25		Slitiny hliníku, křemíku a mědi s $5\% < \text{Si} \leq 14\%$; $1,0\% < \text{Cu} \leq 5,0\%$ a $\text{Mg} \leq 0,8\%$
26		Slitiny hliníku a mědi s $2\% < \text{Cu} \leq 6\%$
Skupiny 21 až 23 jsou všeobecně pro tvářené materiály a skupiny 24 až 26 pro materiály odlévané.		

4 TVÁŘENÉ SLITINY

Tvářené výrobky tvoří 75-80 % produkce hliníkových slitin. Použití tvářených slitin je ve výrobě plechů, folií, výlisků, trubek, tyčí a drátů. Polotovarem pro jejich výrobu může být litý ingot, který se zpracovává v dalších operacích, nebo se využívá polokontinuálního lití, které je na rozdíl od kontinuálního lití ocelí, více používané pro neželezné kovy. Navazujícími technologickými operacemi pak může být například válcování, průtlačné lisování, tažení, kování a tvarování. Při těchto operacích vznikají značné plastické deformace doprovázené různými fyzikálními, případně chemickými změnami v deformovaném objemu. [8,9]



Obrázek 4: Schéma zpracování hliníkových slitin [10]

4.1 Zpracování určující stav slitiny

Každá skupina tvářených slitin má vzhledem k chemickému složení a struktuře jiné vlastnosti. Pro konkrétní aplikaci je důležitá jejich správná volba. Tvářené slitiny obvykle obsahují 1-7 % legujících prvků. Na konečné vlastnosti tvářeného produktu má, kromě obsahu legujících prvků, značný vliv jeho zpracování označované jako stav. Tvářené slitiny mohou být ve stavu bez zpracování, deformačně zpevněném, nebo tepelně zpracovaném. [9;11]

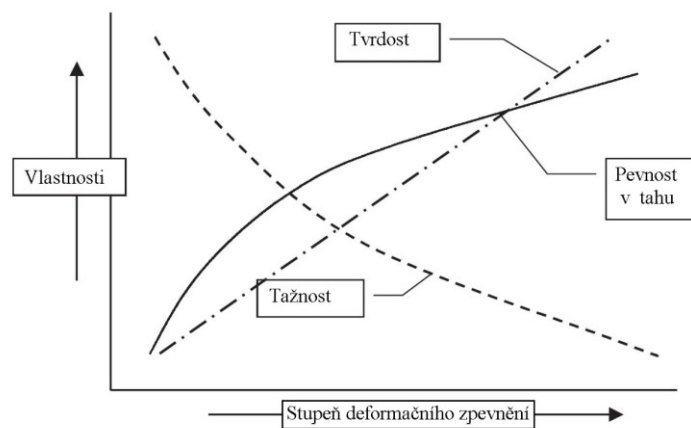
4.1.1 Deformační zpevnění

Při deformaci kovů dochází ke skluzu dislokací a zvyšuje se jejich počet. Při určitém stupni deformace se zvýší hustota dislokací natolik, že je jejich další pohyb omezen a dochází k deformačnímu zpevnění materiálu. U hliníkových slitin je pro zvýšení účinnosti deformačního zpevnění důležitá přítomnost prvků nebo fází, které brání pohybu dislokací. Velmi dobrý účinek má přítomnost mědi u vytvrditelných slitin. U tepelně nevytvrditelných slitin se využívá hořčík, který má nižší účinek, ale díky jeho velké rozpustnosti v tuhém stavu je jeho účinek prakticky nejvyšší. Slitiny typu Al-Mg (skupina 5XXX) je proto možné deformačně zpevněvat až na pevnost v tahu převyšující 400 MPa. Oproti tomu například zinek má také dobrou rozpustnost v tuhém stavu, ale jeho vliv na deformační zpevnění je zanedbatelný.[9]

Tabulka 5: Vlastnosti jednotlivých slitin v závislosti na jejich stavu [11]

Slitina	Stav	Smluvní mez kluzu [Mpa]	Mez pevnosti [Mpa]	Tažnost [%]
1060	O	28	68	43
1060	H18	121	130	6
5083	O	155	260	14
5083	H34	255	325	5
6063	O	48	89	32
6063	T4	100	155	15
6063	T6	180	200	8
2024	O	75	186	20
2024	T4	323	468	20

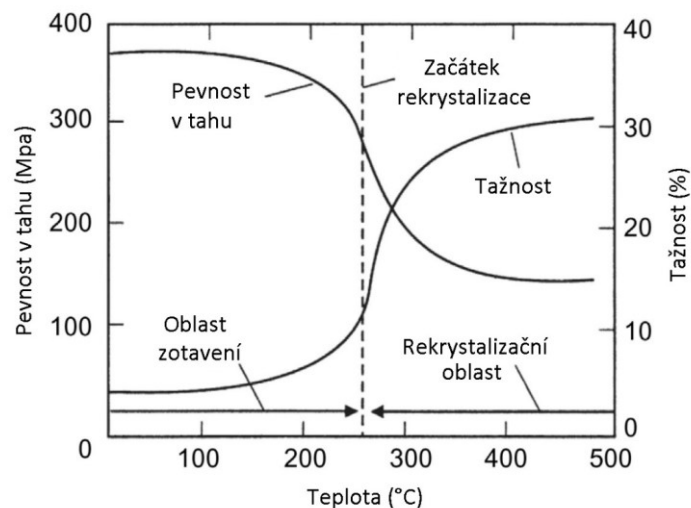
Deformační zpevnění při zvýšení tvrdosti a pevnosti snižuje tažnost a tvárnost. Dochází k němu při většině tvářecích operací a jedná se o hlavní metodu zpevnění nevytvrditelných slitin, kde se může používat s mezioperačním nebo konečným žíháním. U vytvrditelných slitin může doplňovat pevnostní vlastnosti získané tepelným zpracováním. [9;11]



Obrázek 5: vliv deformačního zpevnění na vlastnosti slitiny [12]

4.1.2 Žihání

Deformační zpevnění je možné částečně, nebo úplně eliminovat pomocí žihání. Při žihání klesá hustota dislokací a obnovují se deformované krystalové mřížky, což má za následek obnovení původních vlastností před deformací. Pevnostní vlastnosti žihaného materiálu klesají postupně při zotavení a výrazně při rekrytalizaci, zatímco tažnost žihaného materiálu se naopak zvyšuje. Teplota začátku rekrytalizace je specifická pro jednotlivé slitiny a závisí také na stupni deformačního zpevnění a době žihání. Tuto závislost při zpracování deformačně zpevněného plechu běžné komerční jakosti popisuje (Obr. 6).[9]



Obrázek 6: Závislost pevnosti v tahu a tažnosti na teplotě se setrváním 5 minut na každé žihací teplotě.

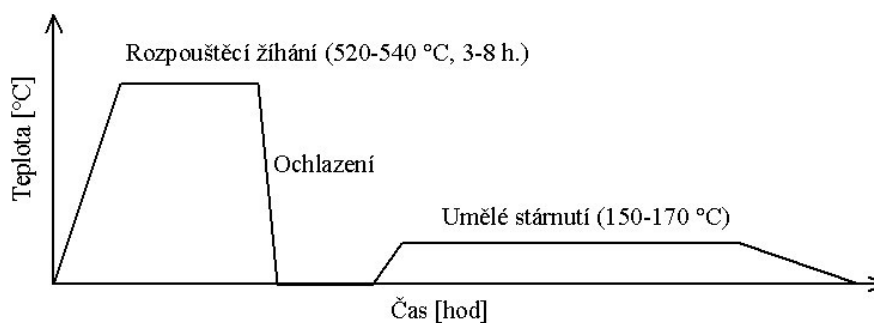
[9]

Rekrytalizační žihání se používá především k obnovení tvárných vlastností slitin a jeho teploty se pohybují v rozmezí 250-500 °C. Dále se u hliníkových slitin využívá **stabilizační žihání**, které stabilizuje strukturu a také mechanické, fyzikální a chemické

vlastnosti výrobku. **Žihání ke snížení pnutí** probíhá u hliníkových slitin pod rekrytalizační teplotou, většinou v rozsahu teplot 300-400°C. Pro dosažení určitého podílu tvářené struktury se používá **žihání s částečnou rekrytalizací**. [8]

4.1.3 Vytvrzování

Je nejdůležitější způsob tepelného zpracování hliníkových slitin. Vytvrzováním se dosahuje podstatného zvýšení meze pevnosti, smluvní meze kluzu a tvrdosti. Tažnost se obvykle naopak snižuje. Pro uplatnění vytvrzování je nutná existence tuhého roztoku s omezenou rozpustností, která klesá spolu s teplotou. Toho se dosáhne pomocí přísadových prvků, v komerčně dostupných slitinách používaných pro zvýšení pevnosti: Cu, Mg, Mn, Si a Zn. Všechny tyto prvky mají dobrou rozpustnost v hliníku, která se spolu s teplotou zvyšuje. Vytvrzovat je možné buď binární slitiny hliníku s vytvrzovacím prvkem (Al-Cu), ale i vícesložkové slitiny u kterých je vytvrzovací prvek hlavním, nebo vedlejším prvkem (Al-Mg-Si, Al-Si-Cu). [2]

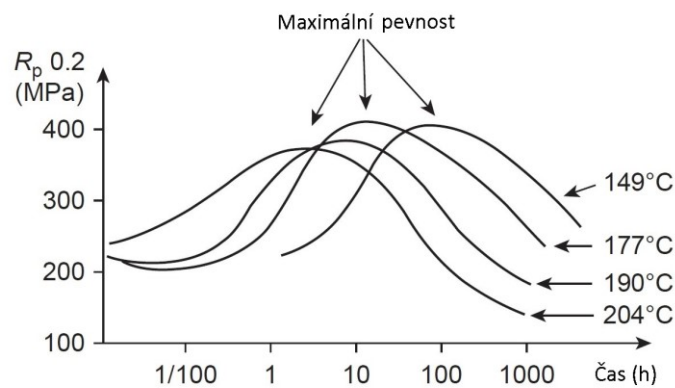


Obrázek 7: Diagram vytvrzování [2]

Vytvrzování probíhá ve třech etapách:

1. **Rozpouštěcí žihání**, jehož princip spočívá v zahřátí materiálu na teplotu, při které dojde k rozpuštění legujících prvků ve slitině. Vzniká homogenní tuhý roztok. Teploty se liší podle konkrétních slitin a pohybují se okolo 500 °C. [2;11]
2. **Rychlé ochlazení**, které se provádí za účelem udržení legujících prvků v přesyceném tuhém roztoku. Většinou se pro ochlazení používá vodní lázeň o pokojové teplotě, proud vody nebo stlačený vzduch. [11]
3. **Precipitační vytvrzování (stárnutí)**, které může být přirozené, nebo umělé. Dochází při něm k tvorbě precipitátů z přesyceného tuhého roztoku. Přirozené stárnutí probíhá volně na vzduchu a může probíhat v řádech dnů až měsíců. Umělé

probíhá v peci při teplotách 50-150 °C a proces se tím zkrátí na několik hodin. Stupeň vyloučení precipitátu je funkcí teploty a doby výdrže. V závislosti na jeho stupni vyloučení je ovlivněna pevnost a tažnost zpracovávaného materiálu. Například slitina vytvrzená na nejvyšší pevnost a tvrdost se označuje stavem T6. Méně vytvrzené slitiny v kratších časech si zachovávají určitý stupeň plasticity a označují se stavy T51, T61 a další. Oproti tomu přestálé slitiny mají podobné mechanické vlastnosti, ale jsou odolnější vůči korozi (například stav T73, T74). [2;11]



Obrázek 8: Příklad vytvrzovacích křivek slitiny AW2024 [11]

4.2 Nevytvrditelné slitiny

Slitiny tohoto typu ve většině případů nelze tepelně zpracovat pomocí vytvrzování. Patří zde také slitiny, které do jisté míry vytvrzovat lze, ale výsledná změna vlastností je u nich příliš malá a neodpovídá vynaloženým nákladům. Polotovary a výrobky z nevytvrditelných slitin mohou být ve stavu bez zpracování, deformačně zpevněném, nebo žíhaném. Patří zde skupiny tvářených slitin 1XXX, 3XXX, 5XXX a částečně skupiny 4XXX a 8XXX. [2;11]

4.2.1 Skupina slitin 1XXX

Slitiny této skupiny obsahují více než 99 % Al. Jejich pevnost v tahu se pohybuje v rozmezí 69-186 MPa. Pro své relativně špatné mechanické vlastnosti se s nimi příliš neuvažuje pro konstrukční aplikace. Mají nižší únavovou pevnost než ostatní legované skupiny, zejména v žíhaném stavu. Oproti tomu je u nich využívána jejich dobrá tvářitelnost, odolnost vůči korozi a elektrická vodivost. Tyto slitiny jsou svařitelné, ale rozmezí jejich teplot tání je úzké a postupy svařování je třeba tomu přizpůsobit. Zvláštní podskupinu v jejich použití tvoří

vysoce čisté typy (hliník technické čistoty). Například **AW 1198** (99,98 %) nebo **AW 1199** (99,99 %) se v závislosti na jejich čistotě používají k výrobě kondenzátorů v elektrotechnice, světelných reflektorů a dekorativní aplikace. Slitiny s nižší čistotou, například **AW1050** s čistotou 99,50 %, se používají v obalové technice, stavebnictví, výrobě žeber a trubek tepelných výměníků, elektrické vodiče a podobně. Slitiny s čistotou v rozmezí 99-99,50 %, kde patří například **AW 1200**, lze pro jejich tvářitelnost použít také při výrobě kuchyňského nádobí. [11;13]

4.2.2 Skupina slitin 3XXX

Hlavním legujícím prvkem této skupiny je mangan. Použité přídavky manganu jsou obvykle 0,05-1,8 %. Maximální pevnost v tahu těchto skupin se pohybuje v rozmezí 110-285 MPa a je závislá na obsahu manganu. Jejich použití pro konstrukční aplikace je, obdobně jako u předchozí skupiny, omezené díky jejich nízké pevnosti a únavovým vlastnostem. Nicméně jejich využitelnost se odvíjí od jejich hlavních předností, jako je např. dobrá tvářitelnost, možnost použití při zvýšených teplotách a vynikající odolnost vůči korozi i prostředí mořské vody. [11;13] Jejich svařitelnost je velmi dobrá díky fázi Al_6Mn , která příznivě ovlivňuje krystalizaci svarového kovu při chladnutí (zjemňuje zrna). Svařitelnost může limitovat obsah nečistot především Fe a Si, které mají vliv na vznik trhlin. Sklon k trhlinám lze omezit přídavnými materiály s obsahem titanu v množství 0,2 %. [2]

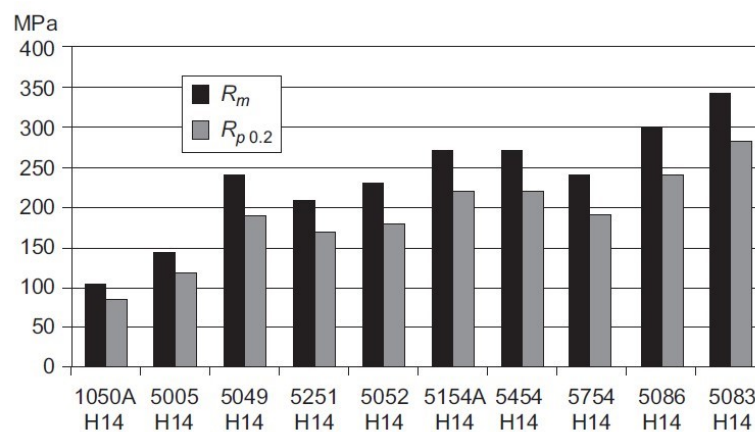
Slitina, která nejvíce vystihuje tuto skupinu je **AW3003** [AlMn1Cu]. Přídavek mědi (do 0,2 %) mírně zlepšuje mechanické vlastnosti. Používá se ve stavebnictví pro opláštění budov, střešní krytiny či potrubí pro tepelné výměníky, dále pak při výrobě nádobí a kuchyňských potřeb. Slitina **AW3004** [AlMn1Mg1] obsahuje hořčík v množství pohybujícím se okolo 1 %. Obsah hořčíku zvyšuje pevnost výrazněji, než je tomu u předchozí slitiny s mědí, při zachování všech příznivých vlastností. Slitina se používá především ke konzervování potravin a nápojů ale také při výrobě nádobí, i ve stavebnictví jako lakované plechy.[11]

4.2.3 Skupina slitin 4XXX

Hlavním přísadovým prvkem této skupiny je křemík. Samotné legování křemíkem vytváří slitinu, která je nevytvrditelná, ale přídavkem hořčíku vytváří slitinu schopnou vytvrzování. Nevytvrditelná varianta se z důvodu nízkých mechanických vlastností používá v tvářeném stavu pouze při výrobě drátů pro obloukové svařování. Legování křemíkem má zde kladný vliv na snížení teploty tavení a zlepšení tekutosti roztaveného kovu. [13;14]

4.2.4 Skupina slitin 5XXX

Hlavním legujícím prvkem je hořčík v rozmezí obsahu 0,2-6,2 %. S jeho množstvím se zvyšují mechanické vlastnosti, ale klesá jejich použitelnost při zvýšených teplotách. Většina slitin řady 5XXX obsahuje další přísady, jako je například mangan nebo chrom, které dopomáhají také ke zlepšení mechanických vlastností, nebo upravují jiné, jako je korozní odolnost či svařitelnost. V případě této skupiny by bylo možné použít vytvrzování, které by ale při malém zvýšení pevnosti vedlo k výraznému snížení tažnosti, a proto se nevytvrzují. Některé varianty totiž dosahují pevnosti v tahu až 325 MPa. [11;2] Jejich výhodou je velmi dobrá korozní odolnost, únavové vlastnosti, stálost mechanických vlastností i při velmi nízkých a kryogenních teplotách. U slitin, které obsahují více než 3 % hořčíku je nevýhodou použití při zvýšených teplotách. Při dlouhodobých provozních teplotách nad 80 °C hrozí jejich zcitlivění a následný vznik koroze za napětí. [13;14]



Obrázek 9: Porovnání pevnostních vlastností slitin skupiny 5XXX a skupiny 1XXX.[9]

Svařitelnost slitin skupiny 5XXX je dobrá. Hořčík obsažený v těchto slitinách má tendenci k pomalému ochlazování a svařovací proces proto nezpůsobí žádné významné změny v mikrostruktuře. U deformačně zpevněných slitin ale dochází v tepelně ovlivněné oblasti vlivem působení teploty ke snížení mechanických vlastností na úroveň žíhaného stavu. [17]

Používají se v široké škále aplikací, především u stavby lodí, karoserií vozidel, tlakových nádob, mostů a budov. Tyto slitiny jsou také často povrchově upravovány eloxováním. Například slitina **AW5005** s obsahem hořčíku 0,6 % nahrazuje slitiny skupiny 1XXX ve stavebních aplikacích tam, kde jsou potřeba lepší mechanické vlastnosti a jsou často používané s dekorativními povlaky, nebo v eloxovaném stavu. Slitina **AW5754** (AlMg3) s obsahem hořčíku 2,5-4 % se používá ve výrobě automobilů a vybavení pro veřejnost

(například dopravní značky). Dráty ze slitiny **AW5154** se stejným obsahem hořčíku lze použít na sítě proti hmyzu, i jako materiál pro výrobu nýtů. Slitiny **AW5086** (AlMg4) a **AW5083** (AlMg4,5Mn) poskytují jednu z nejvyšších pevností této skupiny. Jsou dobře svařitelné a odolávají nízkým teplotám i mořské vodě, používají se proto pro stavbu lodí. [9]

4.2.5 Skupina slitin 8XXX

Slitiny této skupiny jsou legovány jinými prvky než u ostatních tvářených slitin a mají většinou za úkol zajistit speciální vlastnosti pro určité aplikace. Patří zde slitiny, které jsou nevytvrditelné ale i jiné, které vytvrditelné jsou. Například slitina **AW8017** s přísadovými prvky železem a niklem pro zvýšení pevnosti bez významné ztráty elektrické vodivosti. Tato slitina není vytvrditelná. Patří zde i vytvrditelná mimořádně pevná a tuhá slitina **AW8090** legovaná lithiem, která byla vyvinuta pro letecké aplikace. [15]

4.3 Vytvrditelné slitiny

Patří zde slitiny, u kterých je možné zlepšit mechanické vlastnosti pomocí vytvrzování. Slitiny tohoto typu jsou rozděleny do tří skupin: **2XXX** s podskupinami podle chemického složení Al-Cu, Al-Cu-Mg (duraly), skupina **6XXX** (Al-Mg-Si) nazývané jako avialy a skupina **7XXX** (Al-Zn-Mg, Al-Zn-Mg-Cu). Jednotlivé podskupiny lze podle jejich vlastností rozdělit na dva typy: slitiny se střední pevností, které jsou snadno svařitelné (Al-Mg-Si a Al-Zn-Mg) a dále pak slitiny, které jsou vyvinuty především pro vysokou pevnost a jejich svařitelnost je ale ve většině případů omezena (Al-Cu, Al-Cu-Mg a Al-Zn-Mg-Cu). [2;9]

4.3.1 Skupina slitin 2XXX

Hlavním přísadovým prvkem této skupiny je měď (obvykle 0,7-6,7 %). Vynikají vysokou pevností (186-427 MPa), dobrou obrobitelností a únavovou pevností. Dobré mechanické vlastnosti si zachovávají i při zvýšených teplotách. Jejich nevýhodou je naopak horší tvarovatelnost než je tomu u ostatních vytvrditelných slitin, nízká odolnost vůči atmosférické korozi, mezikystalové korozi a korozi pod napětím. Pro zvýšení pevnosti bývá vedlejším přísadovým prvkem také hořčík. [16]

Při svařování těchto slitin je největším problémem vznik horkých trhlin. Náchylnost slitiny ke tvorbě trhlin při svařování je dána obsahem mědi a hořčíku. Pokud je obsah mědi okolo 3 % nebo nižší, je náchylnost vysoká. Na relativně nízkou úroveň klesá až při koncentracích

4,5 % a vyšších. Toto pravidlo ale může narušit přítomnost hořčíku, a to i v malém množství. [13;16]

Jednou z nejpevnějších slitin této skupiny je například **AW2024** (AlCu4Mg1) s obsahem mědi 4,5 %. Je široce používána v leteckém a dopravním průmyslu, jako jsou draky letadel, nebo na skříně kolejových vozidel. Například ve stavu T8 má dobrou úroveň mechanických vlastností a uspokojivou korozní odolnost, ale díky obsahu hořčíku horší svařitelnost. [2;20] Slitina **AW2219** (AlCu6Mn) má relativně vysoké pevnostní vlastnosti při běžných teplotách, dobrou odolnost proti tečení při zvýšených teplotách a vysokou houževnatost za kryogenních teplot. Má také velmi dobrou svařitelnost a byla proto používána pro nádrže na zkapalněné plyny (palivové nádrže raket). Tato slitina má však špatnou korozní odolnost a v agresivním prostředí musí být chráněna. **AW2011** s přísadou olova a bismutu se používá pro obráběcí aplikace. Přísadové prvky zajišťují dobrou fragmentaci třísek, ale zhoršují svařitelnost. [9,11]

4.3.2 Skupina slitin 6XXX

Jsou legované hořčíkem a křemíkem s obsahem zhruba 1 % Mg a Si. Další přísady jsou pak měď, mangan, zinek a chrom. Jejich pevnost je nižší vzhledem k ostatním vytvrzitelným skupinám (124-400 MPa). Mají ale další výhody, jako je dobrá svařitelnost, tváritelnost, odolnost vůči korozi, koroznímu praskání pod napětím a dobrou elektrickou vodivost. [11;17] Vytvrzovací fází těchto slitin je silicid hořčíku Mg_2Si a jeho množství ovlivňuje mechanické vlastnosti po vytvrzení. Mohou obsahovat vyvážené množství hořčíku a křemíku nebo mírný přebytek křemíku. Dále pak slitiny, u kterých je obsah křemíku vyšší, než je potřeba pro vytvoření vytvrzovací fáze. Tyto slitiny jsou vytvrzovány na vyšší pevnost. Varianty s vyváženým množstvím jsou snadno extrudovatelné a jejich výhodou je, že mohou být ochlazeny ihned po extruzi (vodní mlha, lázeň) a odpadá samostatná operace rozpouštěcího žíhání, které se používá u variant s přebytkem. Přebytek křemíku má vliv na snížení tažnosti. Aby se předešlo tomuto jevu, používá se u těchto slitin ještě přísada manganu nebo chromu. [9;11]

Tyto slitiny není vhodné svařovat obloukovými metodami bez použití přídavného materiálu, jinak vznikají horké solidifikační trhliny. Doplnění přiměřeného množství přídavného materiálu, které zajistí zředění svarového kovu se základním materiálem, je proto nezbytné. Svařovací dráty se používají z materiálů skupin 4XXX a 5XXX. Ztráty pevnosti v tepelně ovlivněné oblasti jsou menší u přirozeně vytvrzovaných stavů (T4) oproti uměle

vytvrzovaným (T6). Je také potřeba použití menšího vneseného tepla do svaru (tepelného příkonu). [13]

Tyto slitiny mají díky svým vlastnostem široký rozsah použití. Bývají zpracovávány pomocí vytlačování (extruze) různých profilů, které mohou mít komplikované tvary. Například slitina **AW6063** má vyvážené chemické složení. Patří mezi nejpoužívanější hliníkové slitiny celkově. Má velmi dobré vytlačovací vlastnosti a lze ji vytvrdit na stav T6, ve kterém dosahuje pevnosti přibližně 245 Mpa. Má také velmi dobrou schopnost anodizace. Slitina **AW6082** s přebytkem křemíku je pro změnu široce používaný konstrukční materiál s pevností 340 MPa ve stavu T6. Použití je například v průmyslových vozidlech, železničních vagonch nebo při stavbě lodí. [11;17]

4.3.3 Skupina slitin 7XXX

Slitiny této skupiny jsou legovány hořčíkem a zinkem. Dalším významným přísadovým prvkem je zde měď. Pevnost v tahu se u těchto slitin pohybuje v rozmezí 221-607 MPa. Podle obsahu mědi se tyto slitiny z hlediska svařování rozdělují na dvě základní varianty:

- Al-Zn-Mg-Cu ,
- Al-Zn-Mg (s omezeným množstvím mědi). [10;11]

Varianty **Al-Zn-Mg-Cu** obsahují v 4-8 % Zn, 1-3 % Mg a více než 1 % Cu. Tyto slitiny jsou vysoce pevné, ve stavu T6 dosahují dokonce pevnosti přes 600 MPa. Jejich použití omezují vlastnosti, jako je relativně nízká lomová houževnatost, nízká odolnost vůči koroznímu praskání pod napětím, špatná tvářitelnost za běžných teplot a špatná svařitelnost. [18] Při jejich svařování nastává značné snížení pevnosti a tažnosti v tepelně ovlivněné oblasti a navíc jsou velmi náchylné ke vzniku horkých trhlin. Proto se u nich využívají především jiné postupy spojování (nýtování, lepení). [12]

Slitiny s omezeným množstvím mědi (Al-Zn-Mg) dosahují středních hodnot pevnosti této skupiny. Mají dobrou tvářitelnost a svařitelnost. Jejich chování při svařování je podobné jako u skupin 6XXX s výjimkou tvorby oxidu zinku, který ovlivňuje povrchové napětí taveniny svarové lázně, a to má za následek riziko výskytu studených spojů. Parametry svařování je třeba upravit zvýšením svařovacího proudu (10-15 %) oproti jiným skupinám a kratší oblouk. [10] Specifickou vlastností těchto slitin je jejich schopnost přirozené obnovy mechanických vlastností tepelně ovlivněné oblasti při pokojové teplotě. Obnova dosahuje přibližně 80 % pevnosti v tahu základního materiálu. Proces přirozeného stárnutí tepelně

ovlivněné oblasti může ale trvat až 30 dní. Nevýhodou těchto slitin je jejich náchylnost k exfoliační korozi, především v tepelně ovlivněné oblasti. Proto musí být u nich použita vhodná a trvanlivá protikorozní ochrana. [11;16]

Běžnou slitinou varianty Al-Zn-Mg-Cu je **AW7075** (AlZnMgCu1,5). Výrobky z této slitiny mohou být extrudované, válcované nebo kované a používá se v letecké výrobě, jako mechanické díly různých zařízení nebo sportovní vybavení. [7]

U slitin s omezeným obsahem mědi je nejpoužívanější slitina **AW7020**. Její použití je v oblastech leteckého průmyslu, obrněných vozidel, sportovního vybavení a rámu jízdních kol. [7;12]

5 SVAŘOVÁNÍ HLINÍKOVÝCH SLITIN

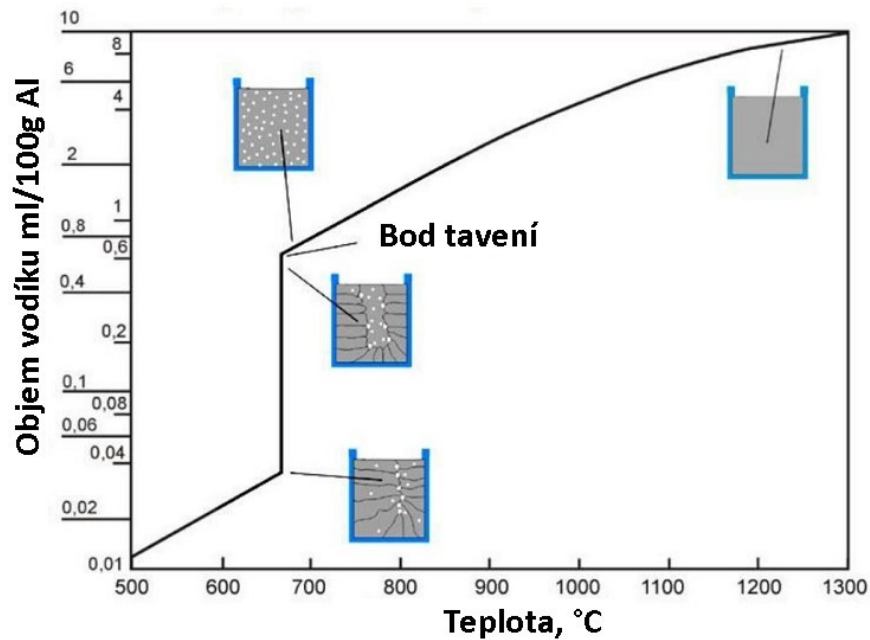
Hliníkové slitiny mají vedle řady příznivých vlastností také fyzikálně-chemické vlastnosti, které negativně ovlivňují proces svařování. Patří zde například velká afinita hliníku ke kyslíku, velká rozpustnost plynů nebo teplotní roztažnost hliníku. Jak už bylo popsáno v předchozích kapitolách, tvářené hliníkové slitiny se vyrábějí také ve velkém rozsahu obsahu legujících prvků a stavů, které mají vliv na proces svařování, nebo naopak tento proces nepříznivě ovlivňuje jejich vlastnosti.[16]

5.1 Vlastnosti ovlivňující proces svařování

Velká afinita hliníku ke kyslíku způsobuje, že povrch hliníkové součásti při kontaktu se vzduchem rychle oxiduje. Vzniklá vrstva oxidu hlinitého Al_2O_3 má oproti základnímu materiálu výrazně vyšší teplotu tavení (2046 °C) a hustotu. Její typická tloušťka se pohybuje v rozsahu 0,005-0,01 μm . Při svařování se těžce tavitelné částice oxidu hlinitého díky své měrné hmotnosti ponořují hlouběji do svarové lázně. To má za následek přítomnost oxidických vměstků, které mohou způsobit různé vady svaru, jako jsou například trhliny. Tato oxidická vrstva také silně váže vlhkost, která způsobuje vznik pórů ve svaru. Al_2O_3 je navíc nemagnetický a jeho přítomnost způsobuje problémy při obloukovém svařování. Tuto vrstvu je možné odstranit mechanicky před svařováním pomocí kartáčování, nebo chemicky (mořením). Po jejím odstranění ovšem začíná ihned vznikat nová vrstva, proto je důležité zajistit čištění i v průběhu svařování. Toho lze dosáhnout chemickým způsobem s použitím tavidel na bázi chloridů a flouridů, nebo s využitím čistícího účinku elektrického proudu při svařování v ochranných atmosférách inertních plynů. [16;19]

Velká rozpustnost plynů v hliníku má za následek porozitu svarů. Plyny jsou absorbovány při svařování tekutým kovem, následně dochází k difúzi a rozpouštění na povrchu i uvnitř svarového kovu. Po ztuhnutí se rozpuštěné plyny ve svarovém kovu projeví ve formě pórů. Hlavním zdrojem těchto vad je vodík. Ten má v hliníku při pokojové teplotě nízkou rozpustnost, která se ale výrazně zvyšuje s teplotou. Při krystalizaci svarového kovu dochází k rychlému ochlazení a rozpustnost vodíku klesá. Vodík, který se nestihne vyloučit v krystalizační fázi, zůstává ve svarovém kovu a vyloučí se až pod teplotou solidu a tím způsobuje vznik pórů. Zhotovení svaru zcela bez pórů je u hliníkových slitin poměrně složité. Důležité pro maximalizaci jejich omezení je co nejvíce omezit zdroje vodíku, kterých je celá řada. Patří zde například hydratovaný oxid hliníku na základním, ale i

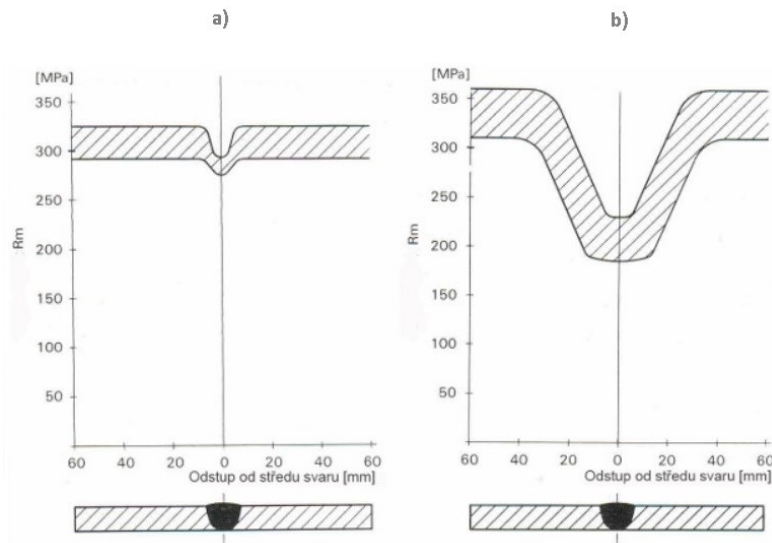
přídavném materiálu, uhlovodíky obsažené v barvách a mazivech, vlhkost okolního prostředí nebo vlhkost obsažená v ochranných plynech. [2;16;19]



Obrázek 10: Rozpustnost vodíku ve hliníku v závislosti na teplotě

[20]

Výrazný pokles mechanických vlastností je další nevyhnutelnou vlastností svarových spojů hliníkových slitin. Tato vlastnost je typická především u vytvrditelných typů, u kterých při ohřevu nad 200 °C dochází k poklesu pevnosti v mnoha případech až na úroveň žíhaného materiálu. Tento pokles způsobuje rozpouštění vytvrzovací fáze v tepelně ovlivněné oblasti a způsobuje také snížení korozní odolnosti. V menším měřítku pak dochází k poklesu pevnosti u nevytvrditelných slitin. [2]



Obrázek 11: Pokles pevnosti po svařování a) nevytvrditelná slitina AlMg4,5Mn b) vytvrditelná slitina AlMgSi1 [21]

Velký vliv má také doba působení teploty (nad 200 °C), míra poklesu pevnosti se s dobou působení těchto teplot zvyšuje. Hliníkové slitiny je proto nutné svařovat co nejrychleji, aby se doba působení těchto teplot v co největší možné míře snížila. Toho lze dosáhnout s použitím vyššího svařovacího proudu. Příliš vysoká hodnota proudu však může způsobit přehřátí svarového kovu a docílit „řezacího“ účinku. Doporučuje se proto volit intenzitu proudu 40 A na 1mm tloušťky materiálu. Velmi důležité je rovněž dodržování předepsané teploty interpass u vícevrstvých svarů. Pokud je nutné použít předehřev u větších tloušťkách materiálů, volí se obvykle teploty nepřekračující 120 °C. Pokles pevnosti se může také negativně projevit při opravách svaru (opětovné zahřátí nad 200 °C), kdy může dojít k prasknutí v tepelně ovlivněné oblasti. Tepelné rovnání po svařování je proto vzhledem k těmto principům vyloučeno. Mimo svařování je třeba s těmito vlastnostmi hliníkových slitin uvažovat při samotném návrhu součásti a pevnostních výpočtech. [21]

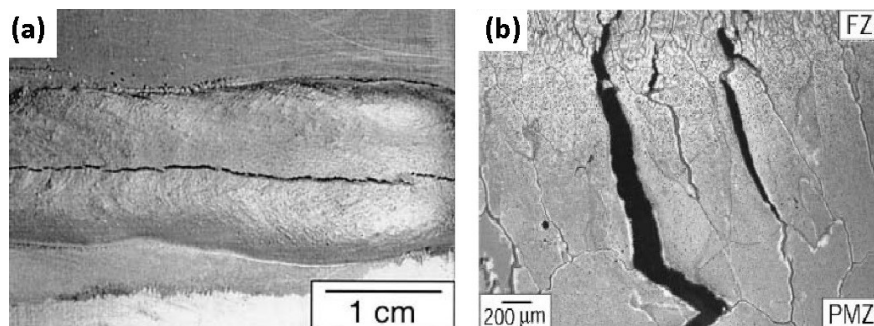
5.2 Trhliny

Jedním z nejvíce nepříznivých jevů při svařování hliníkových slitin je vznik trhlin. Hliník má velký koeficient teplotní délkové roztažnosti, která vede k velkým deformacím a vzniku napětí při svařování, které mohou být příčinou jejich vzniku. Dalším nepříznivým faktorem je vysoká tepelná vodivost hliníku, která způsobuje široké teplotní pole při svařování. Nejčastějším typem trhlin u hliníkových slitin jsou horké trhliny (trhliny za tepla). [2]

Horké trhliny mohou vznikat ve svarovém kovu i v tepelně ovlivněné oblasti například v podobě solidifikačních trhlín, likvačních trhlín, nebo polygonizačních trhlín. Solidifikační trhliny vznikají v průběhu tuhnutí svarového kovu a jsou závislé na množství taveniny s nižším bodem tuhnutí, která obklopuje rostoucí zrna. Při působení deformačních napětí na tuhnoucí spoj dochází ke smrštění zrn. Pokud zrna mají dostatek okolní taveniny, koncentrují se tato napětí v zrnech. Při nedostatku okolní taveniny nejsou prostory, které vznikají při smrštění zrn vyplněny a vznikají trhliny. Slitiny s větším intervalem tuhnutí jsou na tento typ trhlín náchylnější. [22]

Likvační trhliny vznikají v tepelně ovlivněné oblasti (v těsné blízkosti svarového spoje) při vzniku nízko-tavitelných eutektik na hranicích zrn, na které působí tlakové a tahové napětí v důsledku objemových změn svarového kovu při svařování a následném tuhnutí. Na vznik tohoto typu trhlín je náchylná většina typů hliníkových slitin. [22]

Polygonizační trhliny pak mohou vznikat v důsledku poklesu houževnatosti slitiny během svařování a mohou se vyskytovat ve svarovém kovu, i v tepelně ovlivněné oblasti.

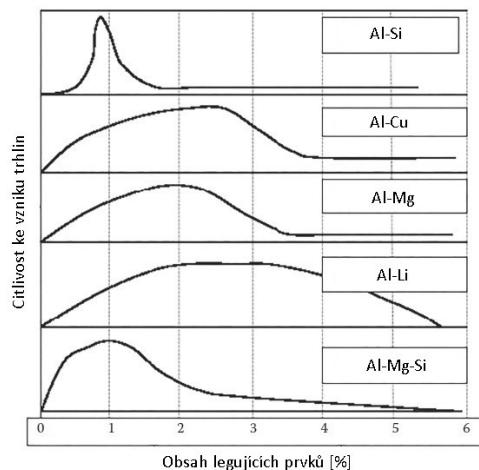


Obrázek 12: a) Solidifikační trhlina ve svaru slitiny řady 6XXX, b) likvační trhlina v zóně částečného natavení slitiny s obsahem 4,5 % Cu [22]

5.2.1 Příčiny a omezení vzniku horkých trhlín

Náchylnost ke vzniku trhlín ve svarech a v tepelně ovlivněné oblasti je závislá na množství legujících prvků. Čistý hliník nemá velký interval tuhnutí a není proto citlivý ke vzniku horkých trhlín. Se zvyšujícím se obsahem přísadových prvků vzniká eutektikum a intermetalická sloučenina. Náchylnost ke vzniku trhlín je ovlivněna segregací, ale také objemem eutektika při závěrečné fázi krystalizace, které je schopné vyplnit prostory mezi dendrity. Na vznik horkých trhlín jsou citlivé především slitiny, které mají široký interval tuhnutí a neposkytují dostatečné množství eutektika v závěrečné fázi krystalizace. Patří zde

především vytvrditelné slitiny skupin 2XXX, 6XXX, 7XXX, ale také některé typy skupiny 5XXX, jako jsou například AlMg₂ nebo AlMg₃. V závislosti na obsahu přísadových prvků je stanovena kritická hodnota, při které je náchylnost ke vzniku horkých trhlin nejvyšší a lze ji popsat pomocí diagramů. [5;19]



Obrázek 13: Diagramy vlivu obsahu přísadových prvků a náchylnosti ke vzniku horkých trhlin [19]

Na závislostech popsaných pomocí diagramů lze sledovat, že slitiny obsahující menší množství daných legujících prvků jsou náchylnější na vznik trhlin ve svařech a při vyšším obsahu těchto prvků náchylnost klesá. Při svařování slitin, které se obsahem příslušných prvků nachází v oblasti nízké náchylnosti ke vzniku trhlin, je možné při svařování použít přídavný materiál shodného chemického složení se základním materiálem. Naopak pro citlivější slitiny, nebo slitiny v oblasti kritické hodnoty je třeba zvolit přídavný materiál s jiným chemickým složením (oblast s nízkou citlivostí). Tyto slitiny také není možné svařovat bez použití přídavného materiálu. Především při svařování vytvrditelných slitin je důležité zvolit kompromis mezi citlivostí ke vzniku trhlin a snížením mechanických vlastností svarového kovu. Některé přídavné materiály pro svařování hliníkových slitin mohou být také legovány dalšími prvky jako je například zirkon nebo titan, které dopomáhají ke snížení citlivosti zjemněním zrn svarového kovu. [19;22]

Další možnost omezení vzniku horkých trhlin je použití předehřevu u materiálů větších tlouštěk, omezení vneseného tepla do svaru (vyšší rychlosti svařování) nebo vhodná příprava svarových ploch pro vytvoření dostatečného množství svarového kovu s požadovaným chemickým složením, které ovlivňuje zředění přídavného a základního materiálu. Dále lze

například omezit napjatost svařovaných součástí nebo u větších svarů používat vrstvení housenek s malým objemem svarového kovu. [19]

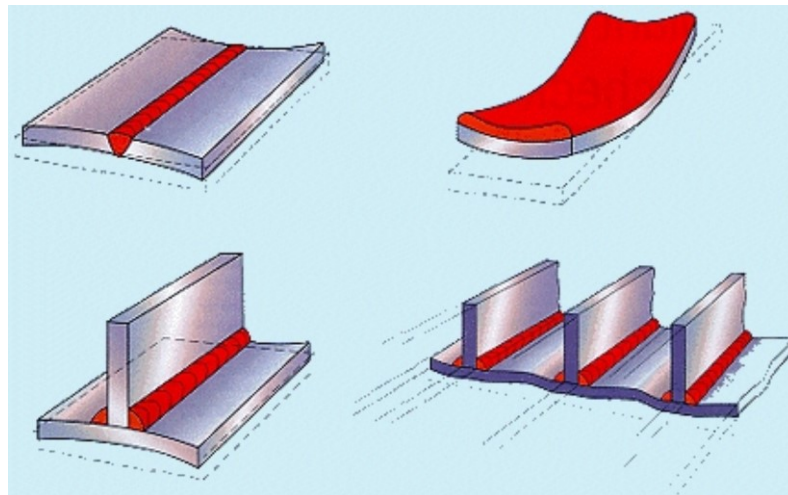


Obrázek 14: Vliv přípravy svarových ploch na zředění a chemické složení svarového kovu. [13]

5.3 Deformace

Teplotní roztažnost hliníku je asi dvojnásobně vyšší než oceli. Oproti oceli má ale hliník vyšší tepelnou vodivost a proto nevznikají při svařování velké tepelné gradienty, ale vlivem většího smrštění svarového kovu při ochlazování jsou výrobky z hliníkových slitin svařováním více deformovány. [16;12]

Ohřevem, následným ochlazováním tepelně ovlivněné oblasti a smrštěním svarového kovu přibližně o 6 % objemu, vznikají ve svařovaných součástech zbytková napětí, která mohou být rovnoměrně rozložena nebo působit lokálně. Tato napětí se následně projeví ve formě podélných, příčných a úhlových deformací nebo jejich kombinací. Stupeň deformace součástí ovlivňuje také předchozí zpracování, jako je například tváření za studena (deformační zpevnění) svařovaných polotovárů, kdy dojde působením teploty k uvolnění jejich vnitřních napětí. [12;23]



Obrázek 15: Vybrané typy deformací a jejich kombinace [23]

Vnitřní pnutí je možné eliminovat tepelným zpracováním po svaření, tento postup ale není s ohledem na různé stavy tvářených slitin a ekonomiku výroby vždy žádoucí. Vnitřní napětí lze snížit například optimalizací tepelného příkonu včetně volby vhodné metody svařování, pořadím kladení svarových housenek a jejich velikostí, rozložením velkých sestav na dílčí podsestavy svařované zvlášť, upnutím a předepnutím (s ohledem k možnému vzniku trhlin), vhodným konstrukčním návrhem z hlediska rozložení „vyvážeností“ počtu a polohy svarů nebo přednastavením svařovaných dílců proti směru očekávané deformace. Důležitá je také vhodná velikost a počet stehových svarů zabraňující přesazení dílců v průběhu svařování. [14;21]

5.4 Koroze svarových spojů

Primárně zajišťuje odolnost vůči korozi hliníkových slitin vrstva Al_2O_3 na povrchu. Avšak svarové spoje hliníkových slitin mají také heterogenní mikrostrukturu s rozdílným korozním potenciálem základního materiálu, svarového kovu a tepelně ovlivněné oblasti, ve které také dochází ke změnám chemického složení. U svařenců z hliníkových slitin se proto může vyskytovat několik typů koroze. Obecně platí, že korozní odolnost se u vytvrditelných typů slitin mění svařováním více než u nezpracovatelných. [26;24]

Galvanická koroze je způsobena rozdílným elektrochemickým potenciálem základního materiálu a svarového kovu a korozní napadení vzniká u materiálu, který je anodou. U většiny svarů hliníkových slitin je zpravidla ušlechtilější svarový kov a tepelně ovlivněná oblast oproti základnímu materiálu. Předjetí tomuto typu koroze lze použitím přídatných materiálů se stejným chemickým složením. Tento postup s ohledem na vznik horkých trhlin není u všech typů možný. [16;24] **Mezikrystalová koroze** vzniká na hranicích zrn, kde

jednotlivé složky, které jsou zde přítomny, mají rozdílný elektrochemický potenciál. Například u slitin řady 2XXX se na hranicích zrn vyskytují precipitáty CuAl_2 , které jsou katodické vůči sousedním hranicím s nízkým obsahem těchto precipitátů. Přednostně proto dochází k tomuto napadení v zóně částečného natavení, kde se tyto precipitáty nevyskytují. U slitin řady 5XXX je citlivost nízká, oproti tomu 7XXX tuto citlivost vykazuje. [24]

Důlková koroze vzniká v důsledku poškození povrchové oxidické vrstvy a výrazně se projevuje například v prostředí obsahujícím chloridy (mořská voda). Napadení vede ke vzniku korozních důlků, které snižují například únavové vlastnosti výrobků. Svarové spoje a tepelně ovlivněná oblast jsou k tomuto druhu koroze náchylnější než základní materiál z důvodu mikro-segregačních a precipitačních procesů způsobených svařováním, nepříznivě mohou působit také různé vady svarů. [24,25] **Koroze za napětí** vzniká, pokud je hliníková slitina s citlivou mikrostrukturou vystavena koroznímu prostředí za působení napětí. Nepříznivý účinek mají u svařovaných součástí vnitřní pnutí vznikající při svařování. [24]

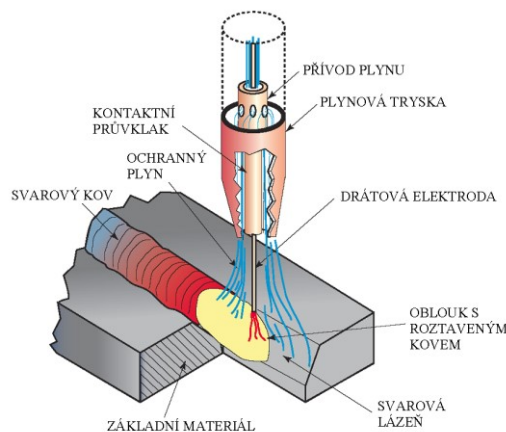
Působení různých typů koroze lze kromě výběru správného typu přídavného materiálu předejít také důkladným čištěním povrchu (svařovaných míst), zhotovením hladkých svarů s malým převýšením, upřednostněním svarů s celkovým závarem a oboustranných svarů tepelným zpracováním po svařování k omezení koroze za napětí, povlakováním a dalšími povrchovými úpravami. [24]

6 METODY SVAŘOVÁNÍ HLINÍKOVÝCH SLITIN

Na rozdíl od svařování ocelí, ovlivňuje ve větší míře svařování hliníku zvolená metoda a navazující postup svařování. V současnosti jsou v průmyslové praxi nejpoužívanější metody svařování elektrickým obloukem v ochranných atmosférách, kam patří běžně používané metody MIG/MAG a TIG. Společným znakem těchto metod je, že svarová lázeň vytvořená elektrickým obloukem je chráněna vůči působení okolní atmosféry ochranným plynem. [4]

6.1 METODA MIG

U této metody tvoří elektrodu oblouku přídavný materiál (drát), který se odtavuje. Plynlý přísun drátu navinutého na cívce zajišťují kladky, pomocí kterých je podáván do svařovacího hořáku, ve kterém prochází drát kontaktním proudovým průvlakem, který zajišťuje rovnoměrné napájení drátové elektrody proudem. Ochranu oblouku a svarového kovu zprostředkovává plynová tryska, která má za úkol do určité vzdálenosti zajistit laminární proudění plynu. [26;27]

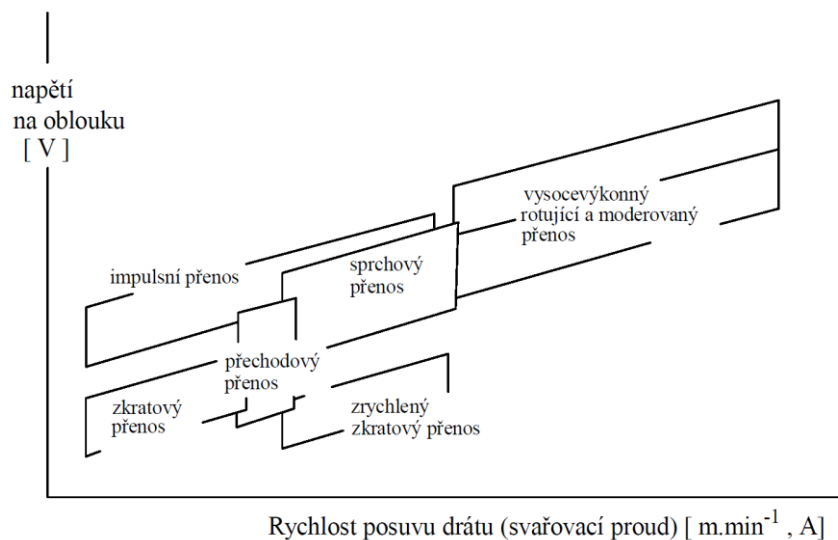


Obrázek 16: Princip metody MIG [27]

Pro metodu MIG jsou charakteristické vysoké proudové hustoty ($100-400 \text{ A}\cdot\text{mm}^{-2}$). Při zapojení nepřímou polaritou (elektroda + pól) má vysoká proudová hustota za následek vysokou odtavovací rychlost přídavného materiálu. Z toho vyplývá, že je možné při těchto rychlostech dosáhnout také velkého výkonu navaření. Díky vysoké proudové hustotě vzniká v úkosu svaru slabě ionizovaná plazma. Teplota této plazmy se pohybuje okolo $12\,000 \text{ }^\circ\text{C}$. [26;27]

6.1.1 Přenos kovu v oblouku

Jedna ze základních charakteristik této metody je přenos kovu v oblouku. Ten je závislý v první řadě na svařovacích parametrech (proudu a napětí). Výrazně ho také ovlivňuje složení ochranného plynu, druh přídavného materiálu a technika svařování.[26]



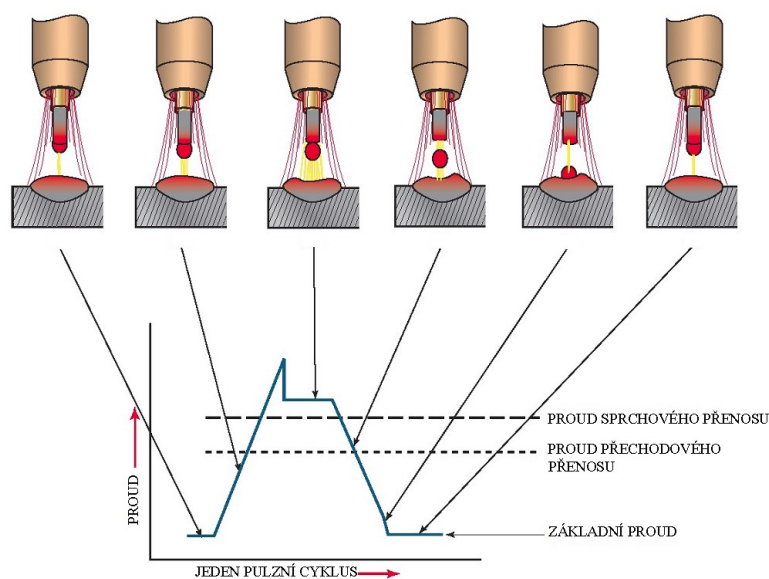
Obrázek 17: Druhy přenosů kovu v oblouku [26]

Zkratového přenosu je dosaženo při nízkých hodnotách proudu a s použitím elektrod menších průměrů. Odtavení elektrody nastává při kontaktu se svarovou lázní, kdy dochází ke zkratu a pravidelnému zhasínání oblouku. Tento typ přenosu vytváří malou a rychle tuhnoucí svarovou lázeň, používá se proto především pro svařování tenkých plechů, svařování v polohách a přemostění mezer kořenových vrstev. [26]

Kapkový přenos (přechodový přenos) je charakteristický tvorbou kapek větších než průměr elektrody, které jsou oddělovány elektromagnetickými silami a vymrštěny do svarové lázně vysokou rychlostí. Kapkový přenos vzniká při středních hodnotách proudu, je doprovázen velkým rozstříkem a nestabilním obloukem, proto rozmezí proudů, ve kterých dochází k jeho vzniku nemá široké využití. [26;28]

Sprchový přenos vzniká při vyšších hodnotách proudu (200-500 A) a dochází při něm vlivem elektromagnetických sil k oddělování drobných kapek s vyšší frekvencí, než je tomu u kapkového přenosu. Tento přenos je charakteristický stabilitou oblouku a malým množstvím rozstříku a oblast jeho vzniku je závislá na materiálu, průměru svařovacího drátu a použitím ochranném plynu. Jeho použití je omezeno na materiály větších tlouštěk. [31;33]

Impulsní přenos kovu obloukem je řízen elektronicky, tím se dosahuje pravidelný cyklus, který určuje frekvence amplitudy impulzního proudu. Při přenosu se pravidelně střídá základní (nižší) proud a impulsní (vyšší) proud. Základní proud (od 20 do 50 A) udržuje ionizaci sloupce oblouku a zajišťuje vedení proudu. Impulzní přenos je tvarově i časově řízený (nastavitelný). V průběhu amplitudy impulzního proudu hoří intenzivně oblouk, který zajišťuje ohřev svarové lázně a přídavného materiálu. V konečné fázi této amplitudy se odtaví kapka přídavného materiálu. Lze ho využít v širokém rozsahu tepelných příkonů. Největší přednost má při svařování tenkých materiálů. Přenos kovu je velmi stabilní a prakticky bez rozstříku. K jeho realizaci je třeba použít plyny na bázi argonu. [26;27]



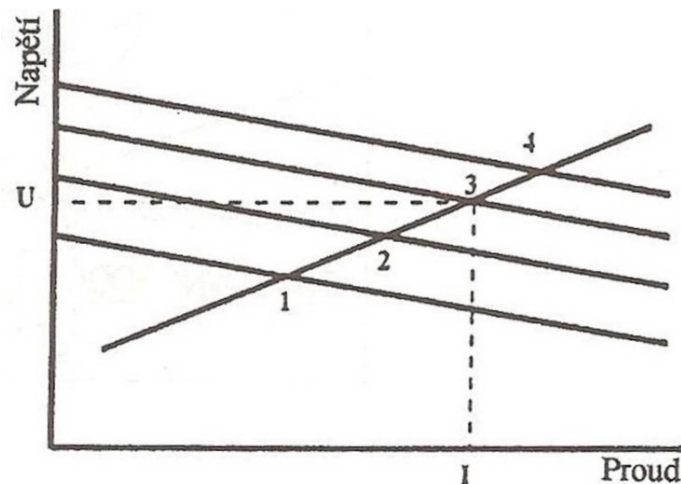
Obrázek 18: Schéma impulsního cyklu [27]

Tento přenos je velmi vhodný pro svařování hliníkových materiálů. Ve výsledku je při jeho použití efektivní hodnota nižší a vnesené teplo do svaru je tím omezeno. Svařence se také méně deformují. Je vhodný pro svařování tenkých plechů, a to i v nucených polohách (PE). U většiny zdrojů lze také nastavit mimo proudu a napětí i frekvenci amplitudy a tím proces více přizpůsobit dané aplikaci.[26]

6.1.2 Svařovací zdroje

Současný trh nabízí rozsáhlý sortiment zařízení pro svařování metodou MIG. Dříve používané usměrňovače jsou v dnešní době nahrazovány invertory, které jsou kompaktnější a nabízí více možností regulace parametrů. Společná pro tyto zdroje je plochá statická charakteristika s konstantním napětím. Rychlost podávání drátu je zde pro dané nastavení

parametrů konstantní a dochází při relativně malé změně délky oblouku k drobným změnám napětí na oblouku a k výrazným změnám proudu. Změnou délky oblouku se proto mění napětí a ke změně proudu dochází pohybem pracovního bodu na statické charakteristice. Tato vlastnost je nazývána také jako samoregulace. [26;29]



Obrázek 19: Plochá statická charakteristika zdroje s „konstantním napětím“ [29]

Moderní zdroje pro MIG svařování jsou vybaveny řídicí elektronikou, pomocí které je možné parametry svařování lépe přizpůsobit zvolenému procesu. Běžným vybavením současných invertorových zdrojů je vedle databáze programů také například synergický režim, při kterém je možné manuálním nastavením jednoho parametru například tloušťky materiálu, nebo posuvu drátu ovládat ostatní parametry, které jsou včetně vhodné charakteristiky zvoleny mikroprocesorem. Tyto zdroje také obvykle bývají vybaveny režimem pro svařování pomocí impulzního přenosu. Pro svařování hliníkových slitin a dalších materiálů s vysokou tepelnou vodivostí je užitečná funkce horký start, pomocí které lze dosáhnout lepšího natavení začátku svaru. Mikroprocesorové řízení umožňuje udržování konstantní délky oblouku bez ohledu na vzdálenost hořáku od základního materiálu. Některé typy zdrojů umožňují svařování střídavým proudem. Při jeho použití je omezeno množství vneseného tepla do svaru a dosaženo menšího závaru a omezení deformací. Používá se proto pro tenké hliníkové plechy. [26;29;30]

6.1.3 Ochranné plyny

Ochranné plyny, kromě své primární funkce ochrany tavné lázně před působením atmosféry, ovlivňují také celou řadu vlastností, jako je například: způsob přenosu kovu obloukem,

hloubku závaru a celkový tvar a rozměry svaru. Je možné volbou jiného plynu omezit množství rozstříku a použít vyšší rychlosti svařování. Velmi také ovlivňuje stabilitu oblouku a chemické složení svarového kovu. [29]

Charakteristickým znakem neželezných kovů je, že při zahřátí na vysokou teplotu vzniká silná oxidace. Z tohoto důvodu je při svařování hliníku používat výhradně inertní ochranné atmosféry. Základní ochrannou atmosférou splňující tento požadavek je argon o čistotě 3.0 (99,9 % Ar). Čistotu 3.0 lze považovat za minimální vzhledem k možnému obsahu nečistot, kyslíku a vlhkosti. Běžně používané čistoty jsou 4.6 (99,96 % Ar), nebo 4.8 (99,98 % Ar). Při svařování materiálů větších tloušťek se používají směsné ochranné atmosféry, jako například argon s heliem (30-70 % He). Pro svařování hliníku se v některých případech používá také argon s příměsí kyslíku (1-2 % O₂). Vzhledem k aktivní složce O₂ se ale jedná o metodu MAG. Toto složení zajistí větší průvar, ale negativním důsledkem je vznik černých oxidů na povrchu svaru. [2]

6.1.4 Podávání drátu

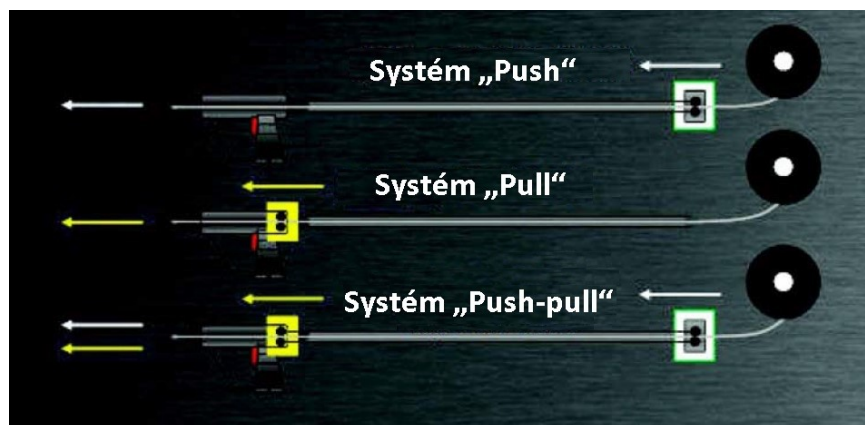
Podavač drátu se svařovacím hořákem mají mimo jiné za úkol zajistit doplňování drátu do svarové lázně stejnou rychlostí, při udržování stabilního oblouku požadované velikosti. [13]

Svařovací dráty (přídavné materiály) z hliníkových slitin jsou na rozdíl od ocelových měkčí a flexibilnější. Tato jejich vlastnost může být zdrojem několika problémů při jejich podávání, jako je například zaseknutí drátu uvnitř podávacího systému, jeho zauzlování v podávacích kladkách, nebo nepravidelné podávání způsobující nestabilitu oblouku. Pro svařování s přídavnými materiály z hliníkových slitin se používá několik podávacích systémů. U systému typu „**Push**“ jsou podávací kladky a cívka s drátem umístěny v podávací jednotce, která může být součástí svařovacího zdroje, nebo je oddělena. Drát je následně veden bowdenem do svařovacího hořáku. Tento systém lze použít pro vedení o maximální délce 3 m a není vhodný pro malé průměry svařovacích drátů. Použitelný průměr drátu je z důvodu nízké tuhosti drátů o malých průměrech zpravidla omezen na 1,2 mm a více. Výhodné je u tohoto systému použít vedení do svařovacího hořáku v polymerní hadici z důvodu nižšího tření, které může vzniknout při použití běžného ocelového bowdenu. Spolehlivější podávání u tohoto systému zajistí podavač se čtyřmi kladkami. Tento podavač poskytuje větší třecí plochu než dvou-kladkový, a proto je možné použít menší přítlak pro omezení deformace drátu. Podávací kladky nesmí být vroubkované. Pro svařování hliníkových slitin je vhodná

kombinace hladké kladky a kladky s v-drážkou (úhel 60°), nebo použití sady kladek s půlkruhovými drážkami určenými pro daný průměr drátu. [13;12;31]

Další systém nazývaný „Pull“ má podávací kladky umístěné ve svařovacím hořáku. S tímto provedením je možné používat i dráty o průměru 0,8mm, avšak vzdálenost podávání zůstává stejná jako u předchozího systému. Výhodou tohoto systému je lepší stabilita podávání, než u systému „Push“. Nevýhodou je naopak horší manipulace s hořákem při ručním svařování způsobená jeho větší hmotností.[12]

Kombinací předchozích dvou systémů je pak „Push-Pull“. Tento systém umožňuje spolehlivé vedení drátů malých průměrů do vzdálenosti až 15 m. Používá se při ručním svařování, ale zcela standardně i při robotizovaném svařování, kde je požadavek na stabilní rychlost podávání a spolehlivost ještě vyšší. [12;31]



Obrázek 20: Základní systémy podávání drátových elektrod z hliníkových slitin [12]

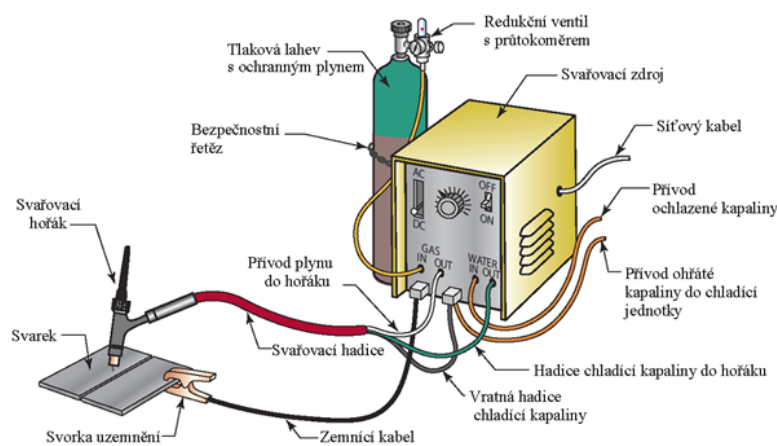
Pro lehčí práce, kde proudy nepřesahují 200 A (při zatížení 60 %) je možné použít hořák označovaný „Spool-Gun“. Tento hořák má v sobě zakomponován podávací systém s regulací rychlosti i cívku o nízké hmotnosti (0,45-0,90 kg). Stabilita podávání je u tohoto systému velmi dobrá i s použitím malých průměrů přídavných materiálů z důvodu krátké vzdálenosti všech součástí podávacího systému. Jejich použití je omezeno na nižší proudy a přetržitý provoz z důvodu absence vodního chlazení. [31]



Obrázek 21: Hořák systému „Spool-gun“ [31]

6.2 Metoda TIG

Při svařování metodou TIG hoří oblouk mezi netavící se elektrodou a základním materiálem. Ochrana svarové lázně a netavící se elektrody před účinky okolní atmosféry je zajištěna inertním plynem (argon o minimální čistotě 99,995 %, helium nebo jejich směs). Příkladový materiál může být dodáván do svarové lázně ručně, nebo automaticky (s použitím podavače). [26]



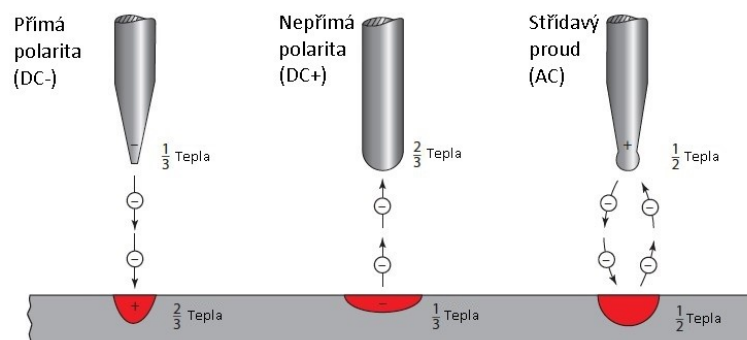
Obrázek 22: Schéma zařízení pro svařování metodou TIG [27]

Svařovat je možné stejnosměrným, nebo střídavým proudem. Pro svařování hliníkových slitin se používá střídavý proud, na rozdíl od stejnosměrného používaného pro svařování ocelí, mědi, niklu, zirkonu a dalších kovů. [27]

6.2.1 Svařování střídavým proudem

Obecně lze u svařování metodou TIG stejnosměrným proudem použít zapojení elektrod s přímou polaritou, u které je wolframová elektroda zapojena na záporný pól zdroje, nebo s nepřímou polaritou s elektrodou na kladném pólu. Zapojení s přímou, nebo nepřímou

polaritou má vliv na množství tepla vznikajícího na svařovaném dílu nebo elektrodě. Při svařování s přímou polaritou je na svařovaném dílu koncentrováno více tepla než na elektrodě. Toto zapojení má za následek hluboký závar a elektroda není nadměrně tepelně zatěžována. Naopak u přímé polarity je teplem více zatěžována elektroda a závar je menší (u běžného svařování metodou TIG se příliš nepoužívá, naopak se využívá u metody MIG). Výhodou tohoto zapojení je ale jeho čistící účinek, který vzniká v prostředí inertního plynu (Ar) a pro svařování slitin hliníku je podstatný. Při svařování střídavým proudem dochází v závislosti na jeho frekvenci k pravidelné změně polarity. V důsledku změn polarity jsou proto využívány vlastnosti obou typů zapojení a teplo na elektrodě a svařované součásti je rovnoměrně rozloženo. [27]

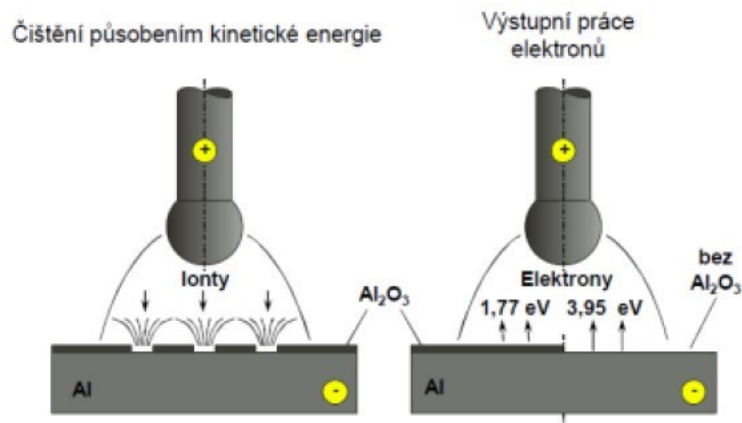


Obrázek 23: Rozložení tepla v závislosti na polaritě [27]

Čistící účinek střídavého proudu a jeho fyzikální podstata zatím není uspokojivě vysvětlena. Existují dvě vzájemně související hypotézy, kterými je možné tento proces popsat:

- **Teorie katodové skvrny** popisuje, že elektrický oblouk hoří přednostně v místě s minimálním napětím. Při vzniku elektrického oblouku se na základním materiálu vytvoří katodová skvrna, která se pohybuje do míst s minimálním emisním napětím. Vrstva oxidů má nižší emisní napětí (1,77 eV) než základní materiál (3,95 eV). Katodová skvrna proto přechází přednostně do zoxidovaných míst. Místo pokryté oxidy se působením vysoké teploty katodové skvrny (2500-3000 °C) přehřeje, odpaří a zkondukuje na okraji vzniklého svaru. U vyčištěných míst dojde ke zvýšení napětí a katodová skvrna proto přechází na další zoxidovaná místa ve směru svařování.[2]
- **Teorie kladných iontů** naopak pracuje s kladnými ionty vznikající při svařování s nepřímou polaritou. Hmotnost kladných iontů je 1840x vyšší než hmotnost záporných elektronů mířících směrem k elektrodě. Proud kladných iontů je

urychlován směrem ke svarové lázni a dynamickým účinkem daným hmotností iontů rozrušuje zoxidovaný povrch. V důsledku působení těchto sil se uvolněné oxidy stahují k okraji svarové lázně. [2]

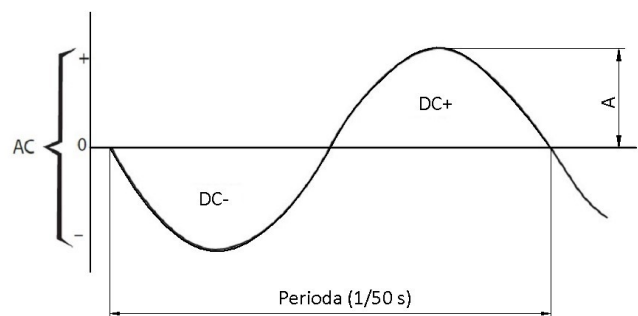


Obrázek 24: Znárodnění hypotéz čistícího účinku elektrického oblouku [2]

6.2.2 Zdroje střídavého proudu

Původně používané upravené transformátory pro svařování střídavým proudem jsou v dnešní době téměř nahrazeny invertorovými zdroji, které pracují na principu středofrekvenčních střídačů (frekvence 20-100 kHz). U těchto zdrojů je transformátor umístěn až za spínacím tranzistorem a transformátor, který pracuje s vysokými frekvencemi má pak výrazně menší rozměry a hmotnost při vysoké elektrické účinnosti (cca 90 %). Srdcem těchto zařízení je řídicí jednotka, která řídí vzájemnou součinnost všech bloků stroje, zprostředkovává nastavení parametrů, uchovává databázi programů, nebo může komunikovat s jiným zařízením pomocí výstupu. [26;31]

V průběhu svařování střídavým proudem dochází v jedné periodě ke zhasnutí oblouku v místech změny polarity s nulovou hodnotou proudu. Opětovné zapálení vyžaduje emisi elektronů z katody k ionizaci ochranného plynu a zprostředkovává ho stabilizátor (ionizátor). Jedná se o vysokofrekvenční generátor, který vytváří impulsy s vysokým napětím a frekvencí (2500-6000 V, 2-5 MHz) a využívá se také k bezkontaktnímu zapálení oblouku na začátku svařování. Z důvodu rušení dalších elektrických zařízení se používají také stabilizátory s nižší frekvencí. [26,27]



Obrázek 25: Průběh střídavého proudu [27]

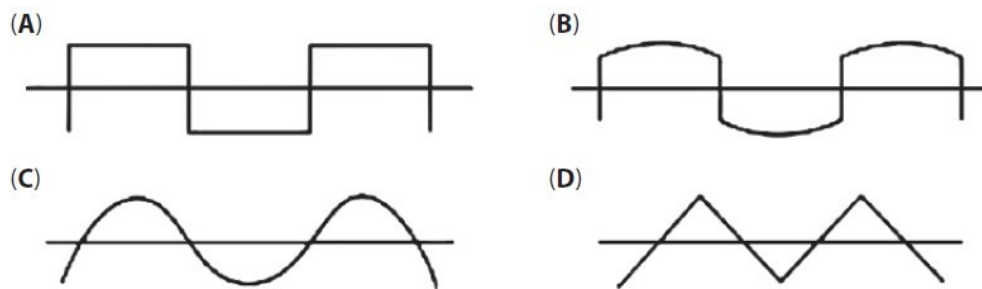
6.2.3 Parametry svařování

Při TIG svařování pomocí střídavého proudu je u moderních zdrojů možnost nastavení proměnných, které ovlivňují průběh a chování oblouku, podstatně vyšší, než je tomu u svařování stejnosměrným proudem.

Nastavení **proudu a napětí** je u invertorových zdrojů zprostředkováno elektronickým řízením. Tyto zdroje mají strmou pracovní charakteristiku, která zajišťuje při změnách napětí na oblouku pouze nepatrné změny proudu. Řídící jednotka zdroje umožňuje plynule měnit pracovní charakteristiky a také nastavit další prvky, které pomáhají ovládat proces svařování, jako je například náběh a sestup proudu na začátku a konci svařování, a řízení různých úrovní proudu při svařování složitých dílů. Hodnota proudu se volí přibližně 40-60 A na 1mm tloušťky materiálu. [26,32]

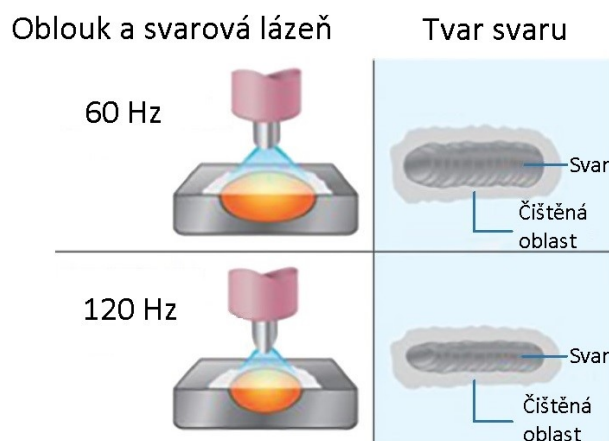
Průběh střídavého proudu má také nezanedbatelný vliv na vlastnosti oblouku a svarové lázně. Některé zdroje starší konstrukce pracují se sinusovým průběhem proudu. **Sinusový průběh** střídavého proudu je deformován rozdílným ionizačním potenciálem wolframu a hliníku. Tento průběh poskytuje měkký oblouk, dobrou smáčivost, nižší hluk a rychlý přechod přes nulový bod. Svarová lázeň je ale hůře ovladatelná. Sinusový průběh je možné použít i u některých invertorových zdrojů. **Obdélníkový průběh** je první upravenou verzí sinusového průběhu. Jeho výhodou je dynamický oblouk s rychlou změnou polarity a dobře ovladatelnou svarovou lázní, která má hluboký závar a rychle tuhne. Tento průběh je vhodný také pro vysoké rychlosti svařování. **Měkký obdélníkový průběh** kombinuje výhody sinusového průběhu jako je dobrá smáčivost s ovladatelností obdélníkového průběhu. U **trojúhelníkového průběhu** je hodnota maximálního proudu omezena na krátké časy. Jeho výhodou je rychlá tvorba svarové lázně a v důsledku krátkých časů maximálního proudu

menší vnesené teplo do svaru. Je proto vhodnější pro svařování tenkých plechů a omezení deformací svarku. [26;27;31]



Obrázek 26: Průběhy střídavého proudu u TIG svařování, (A)- obdélníkový, (b)- měkký obdélníkový, (c)- sinusový, (D)- trojúhelníkový [31]

Frekvence střídavého proudu je u starších zdrojů omezena na síťovou frekvenci 50 Hz. U moderních zdrojů je možné její nastavení v rozmezí 20-400 Hz. Se zvyšující se frekvencí se oblouk zužuje, zvyšuje se jeho stabilita, ovladatelnost svarové lázně, ale zužuje se čišťená oblast. Zvýšenou frekvencí je proto vhodné použít při svařování koutových svarů a kořenových vrstev, kde není potřeba široká svarová housenka a velké množství vneseného tepla. Naopak nízkou frekvencí je vhodné použít pro nanášení velkého množství svaru (opravy opotřebených ploch navařováním). [31]



Obrázek 26: Vliv frekvence na tvar svarové housenky [31]

Funkce „balance“ umožňuje rozšíření nebo zúžení záporné i kladné půlperiody proudu. Například při nastavení negativní půlperiody na 70 % znamená, že se 70 % cyklu upřednostňuje na svařování a zbylých 30 % pro čištění. S tímto nastavením dochází

k menšímu zatížení elektrody a hlubšímu závaru, zužuje se čištěná oblast a svarová housenka má lepší vzhled. Je také možné použít vyšší rychlosti svařování. Naopak u silně zoxidovaných dílů je potřeba nastavení, které upřednostňuje pozitivní půlperiodu. [26;31]

Amplitudu proudu lze u některých zdrojů nastavit nezávisle pro kladnou i zápornou část. Nastavením rozdílných amplitud je možné ovlivnit hloubku závaru, stupeň čištění, tepelné zatížení elektrody a množství vneseného tepla do svaru. [31]

6.2.4 Elektrody a ochranné plyny pro TIG svařování

Elektrody pro TIG svařování se vyrábějí ze slinovaného wolframu z důvodu jeho vysoké teploty tavení (3410 °C) a pro jejich snadnou rozlišitelnost jsou podle obsahu přísadových prvků barevně označeny. Základní typ elektrod pro svařování hliníku střídavým proudem se vyrábí z čistého wolframu bez dalších legujících přísad a je označen zeleným pruhem. Tyto elektrody se ale mohou při velkém zatížení odlamovat do svarové lázně a způsobovat vady svaru v podobě wolframových vměstků. Odolnější typ je doplněn přísadou oxidu zirkonu a je označen hnědou barvou a je podstatně méně náchylný k odlamování při přetížení. Elektrody s přísadou ceru (šedá barva) a lanthanu (modrá) se běžně používají pro svařování střídavým i stejnosměrným proudem. Jejich odolnost proti přetížení a podpora vzniku stabilního oblouku je také velmi dobrá. Uvedené odolnější typy elektrod (hnědá, šedá, modrá barva) je možné použít pro svarové spoje vyžadující vyšší kvalitativní požadavky. [32]



Obrázek 27: Příklad barevného označování netavicích se elektrod
[32]

Před samotným svařováním je potřeba elektrodu vhodně připravit. Pro přenos střídavého proudu je příznivější kulová, nebo polokulová plocha na konci elektrody, oproti ostrému hrotu určenému ke svařování stejnosměrným proudem. Kulová plocha (nazývaná také jako

kalota) se vytvoří nastavením zdroje na nepřímou polaritu a nažhavením elektrody na měděné podložce. Velikost nastaveného proudu pak přímo ovlivňuje velikost kaloty, která by neměla překročit 1,5násobek průměru elektrody. Při velkých průměrech hrozí její odtavení do svarové lázně. Svařování s kalotou je vhodné především pro sinusový průběh proudu a konvenční zdroje s obdélníkovým průběhem. U invertorových zdrojů se čtvercovým průběhem poskytuje naopak lepší kontrolu oblouku elektroda legovaná cerem s kuželovým zabroušením zakončeným plochou (otupením). [32]



Obrázek 28: Kalota vytvořená na elektrodě [32]

Ochranné plyny pro svařování hliníku metodou TIG se používají výhradně inertní typu argon a jeho směsi s heliem popsané v kapitole 6.1.2 pro metodu MIG.

II. PRAKTICKÁ ČÁST

7 CÍLE DIPLOMOVÉ PRÁCE

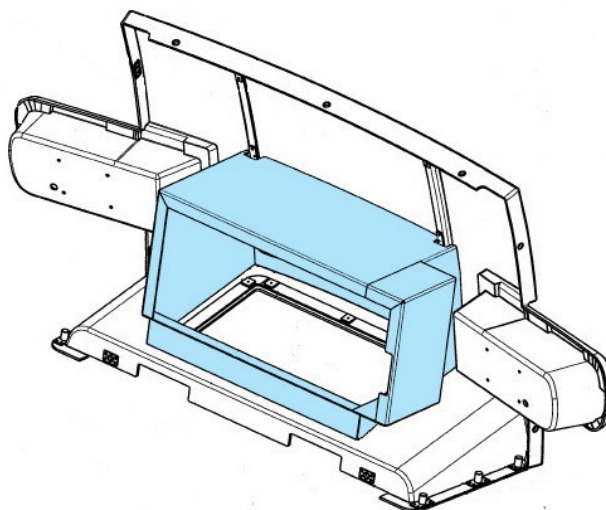
Hlavním cílem této diplomové práce je vytvoření technologického postupu s navazující dokumentací, které jsou uzpůsobeny specifickým vlastnostem zpracovávaného materiálu a použitým technologiím svařování.

Mezi dílčí cíle této diplomové práce patří:

- Volba vhodného přídavného materiálu a ochranného plynu.
- Přezkoumání typů svarových spojů ve výkresové dokumentaci, použitého základního materiálu a návrh vhodných metod pro jejich svařování. Výstupem této části je seznam svarových spojů.
- Návrh a ověření postupů pro zvolené metody svařování a jednotlivé typy svarových spojů. Výstupem této části jsou návody svařování.
- Zhodnocení nákladů na proces svařování u zvolených metod.
- Výběr vhodné metody svařování. Výstupem této části je návrh technologického postupu.
- Popis dílčích kroků procesu výroby součásti, zhotovené podle vypracované dokumentace.
- Vyhodnocení navrženého řešení, diskuze a závěr.

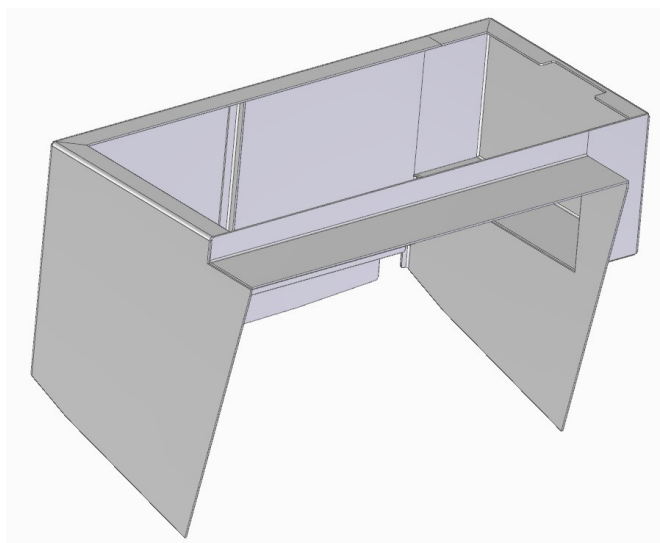
8 VÝROBEK ZE SLITINY HLINÍKU

Výrobek popisovaný v praktické části je součástí sestavy čela kolejového vozidla (Obr. 29). Jedná se o kryt, ve kterém jsou umístěny signalizační houkačky a s nimi související zařízení. Díl je vyroben z hliníkové slitiny především z důvodu odlehčení kompozitního dílu čela, na kterém je upevněn pomocí lepení.



Obrázek 29: Výrobek upevněný na sestavě čela

Součást z hliníkové slitiny byla doplněna zákazníkem na kompozitní skořepinu při provedení konstrukční změny. Součást je sestavou pěti dílů (Obr. 30), která je následně po svařování lakována. V závěru výroby je na její vnitřní stěny přilepena akustická pěna.



Obrázek 30: Model výrobku

8.1 Materiál výrobku

Popisovaná součást je vyrobena z hliníkové slitiny AW5754 H111 [AlMg3]. Tento materiál patří mezi nevytvrditelné slitiny. Stav tohoto materiálu označuje aplikaci žíhání a mírného deformačního zpevnění. Vzhledem k nevytvrzenému stavu a nižšímu stupni deformačního zpevnění se při svařování tohoto materiálu nepředpokládá výrazný pokles mechanických vlastností ve svaru a v tepelně ovlivněné oblasti. Při nákupu materiálu byl vyžádán inspekční certifikát typu 3.1, který uvádí hodnoty chemického složení (Tab. 6) a mechanických vlastností (Tab. 7).

Tabulka 6: Chemické složení základního materiálu [33]

Chemický prvek	Al	Mg	Mn	Fe	Cr	Si	Ti
Obsah [%]	96,24	2,86	0,24	0,34	0,16	0,1	0,02

Tabulka 7: Mechanické vlastnosti základního materiálu [33]

R _m [MPa]	226
R _{p0,2} [MPa]	125
A [%]	24

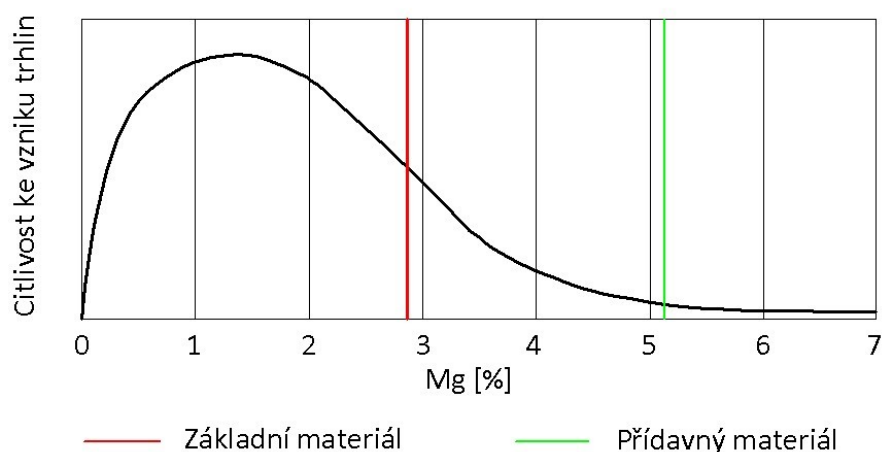
8.2 Volba přídavného materiálu a ochranného plynu

Na základě literatury [4;16] byl zvolen přídavný materiál ze slitiny AlMg5, s číselným označením AL5356. Pro metodu TIG je ve formě drátů o délce 1000 mm a průměru 2 mm a drát o průměru 1,2 mm navinutý na cívce pro alternativní metodu MIG. Stejně jako u základního materiálu, byly pro obě nakupované varianty přídavných materiálů vyžádány inspekční certifikáty typu 3.1. Na rozdíl od certifikátu pro základní materiál nejsou pro přídavný materiál uvedeny mechanické vlastnosti a uváděly také stejné hodnoty chemického složení u obou variant. Pevnost v tahu slitiny AlMg5 v žíhaném stavu je 250 MPa a orientační hodnota pevnosti svarového spoje vytvořeného kombinací základního a zvoleného přídavného materiálu je 180 MPa. [4]

Tabulka 8: Chemické složení přídavných materiálů [33]

Chemický prvek	Al	Mg	Mn	Fe	Cr	Si	Ti	Zn	Cu
Obsah [%]	94,37	5,13	0,152	0,112	0,095	0,049	0,077	0,001	0,012

Tento přídavný materiál s vyšším obsahem hořčíku zajistí snížení náchylnosti ke vzniku horkých trhlin (Obr. 31), které se u použitého typu základního materiálu mohou vyskytovat. Obsahuje malé množství chromu, které podle normy [39] snižuje pomocí zpevnění zrn sklon svarového kovu ke vzniku trhlin.



Obrázek 31: Citlivost ke vzniku horkých trhlin základního a zvoleného přídavného materiálu [16;33]

Jedním z důvodů volby přídavného materiálu AL5356 je jeho lepší dostupnost na současném trhu, oproti ostatním typům ze skupiny 5XXX. Pro obě metody byl jako ochranný plyn zvolen argon 4.6

8.3 Vytvoření seznamu svarových spojů a návrh metod svařování

Certifikační úroveň výrobce CL3 uvedena ve výkresu sestavy (Příloha PI) povoluje provedení těchto spojů na základě postupů, které nemusí být ověřeny certifikačním orgánem a akreditovanou laboratoří vystavující u vyšších úrovní protokol o kvalifikaci postupu svařování (WPQR). Třída provedení svarových spojů CP D zařazuje provedené svarové spoje do nízké kategorie namáhání, u které chyba v provedení těchto spojů nevede k celkovému zhoršení funkce a není pravděpodobné ani zranění osob. Pro tento typ provedení svarových spojů je předepsána vizuální kontrola v rozsahu 100 % s hodnocením

vad ve stupni jakosti D na základě normy [34]. Po přezkoumání výkresové dokumentace byl vytvořen seznam svarových spojů (Tab. 9).

Tabulka 9: Seznam svarových spojů na výrobku [33]

Označení svaru	Typ svaru	Velikost svaru [mm]	Délka svaru [mm]	Počet svarů	Třída provedení	Stupeň jakosti
101	BW	3 II	48	1	CP D	D
102	BW	3 II	55	1	CP D	D
103	FW	a 3	12	1	CP D	D
104	FW	a 3	12	1	CP D	D
105	FW	a 3	15	1	CP D	D
106	FW	a 3	12	1	CP D	D
107	FW	a 3	37	1	CP D	D
108	BW	3 II	48	1	CP D	D
109	FW	z 3	122	1	CP D	D
110	FW	z 3	122	1	CP D	D
111	FW	a 3	100	1	CP D	D
112	BW	3 II	278	1	CP D	D
113	FW	a 3	34	1	CP D	D
114	FW	z 3	145	1	CP D	D
115	FW	z 3	34	7	CP D	D
116	FW	z 3	27	5	CP D	D
117	BW	s 3 II	27	4	CP D	D
118	FW	z 3	27	5	CP D	D
119	BW	s 3 II	27	4	CP D	D
120	FW	a3	145	1	CP D	D

Svarové spoje na výrobku lze vzhledem k sestavení dílů, které tvoří svarové plochy, rozdělit na několik typů (Tab. 10), pro které je třeba vypracovat samostatné postupy svařování.

Tabulka 10: Typy svarových spojů ve výkresové dokumentaci [33]

Typ spoje	Svary označené ve výkresové dokumentaci
Tupý svar (BW 3 II)	101, 102, 108, 112
Koutový svar (a 3)	103, 104, 105, 106, 107, 111, 113,120
Rohový svar (z 3)	109,110,114,115
Přeplátovaný svar (z 3)	116, 118
Svar s částečným závarem (s 3 II)	117,119

8.3.1 Volba metod svařování a použitých zařízení

Vzhledem k možnostem podniku A byly pro svařování vybrány obloukové metody v ochranných atmosférách TIG a MIG, se kterými byly provedeny předvýrobní zkoušky, na základě nichž byla posuzována jejich vhodnost pro dané typy svarových spojů. Podnik disponuje i zařízením pro svařování obalenou elektrodou, které ale bylo vzhledem k tloušťce materiálu a typům svarových spojů vyhodnoceno jako nevhodné pro danou aplikaci.

Zařízení pro metodu MIG je svařovací zdroj Fronius TransPuls Synergic 2700 (Obr. 32). Tento invertorový zdroj je zcela digitalizovaný a řízený mikroprocesorem. Rozsah svařovacího proudu poskytovaného zdrojem se pohybuje v rozmezí 3-270 A. Nepřetržitě je možné svařovat 170 A při teplotě 40 °C (zatěžovatel 170 A, 100 %). Zdroj umožňuje svařovat zkratovým i impulsním přenosem a je vybaven programovými bloky pro různé typy přídavných materiálů, včetně použitého přídavného materiálu AlMg5. Zařízení je vybaveno podavačem se čtyřmi kladkami.

Pro svařování s přídavným materiálem z hliníkové slitiny byl původní hořák s hadicí o délce 4,5 m nahrazen kratší variantou o délce 1,5 m používaným v podniku pro svařování s tenkými dráty z austenitické oceli. Původní ocelový bowden pro vedení drátu do hořáku byl nahrazen trubičkou vyrobenou z PTFE plněného uhlíkem, která zabraňuje tvorbě pilin vznikajících v ohybech při tření o stěny ocelového bowdenu. V hořáku byl použitý kontaktní průvlak o průměru 1,2 mm.



Obrázek 32: Svařovací zdroj Fronius
TPS 2700

Zařízení pro svařování metodou TIG je stejně jako v předchozím případě invertorový a zcela digitalizovaný mikroprocesorem řízený zdroj Fronius Magic Wave 2200 (Obr. 33). Rozsah svařovacího proudu tohoto zdroje je 3-220 A se zatěžovatelem 100 % při 150 A (40 °C). Při svařování hliníkových slitin lze měnit průběh střídavého proudu na sinusový, měkký obdélníkový a trojúhelníkový. Nastavitelná je také frekvence střídavého proudu v rozmezí 30-250 Hz a vyvážení (balance).



Obrázek 33: Svařovací zdroj Fronius Magic Wave
2200

9 VOLBA PARAMETRŮ SVAŘOVÁNÍ

Pro nastavení parametrů svařování byly použity zkušební vzorky o délce 150 mm se stejnými rozměry pro všechny typy spojů. Při této operaci, která tvoří spolu s ověřením parametrů předvýrobní zkoušku, byly svařeny vzorky, které svým sestavením, tloušťkou plechu, použitým základním a přídavným materiálem reprezentují jednotlivé typy spojů na výrobku uvedené v *tabulce 10*. Pro porovnání vhodnosti jednotlivých metod byla připravena sada zkušebních vzorků metodou MIG a další sada metodou TIG. V průběhu svařování byly parametry proudu a napětí odečítány z kontrolních měřidel zdroje. Tyto parametry se z důvodu ručního vedení hořáku, při němž dochází ke kolísání délky oblouku, pohybovaly v určitém rozmezí. Probíhalo také měření celkového času svařování zkušebního vzorku, který je důležitý pro výpočet rychlosti svařování. Pro měření průtoku ochranného plynu byl použitý plovákový průtokoměr. Pro předběžné nastavení proudu a napětí bylo u obou metod použito rozmezí uvedené v literatuře [4]. Po svařování proběhl na základě získaných parametrů výpočet vneseného tepla do svaru pomocí rovnice a koeficientů uvedených v normě [35].

9.1.1 Metoda MIG

Svařování proběhlo u všech vzorků impulsním přenosem. Kromě základních parametrů proudu a napětí je možné dále nastavovat korekci délky oblouku a korekci hodnoty odkapávacího pulzu. Tyto hodnoty nejsou uvedeny v žádných jednotkách, proto dále nejsou používány. Svařování tupého spoje proběhlo s upnutím na podložce z austenitické oceli s vyfrézovanou drážkou o hloubce 4 mm a šířce 11 mm. Tato podložka pomáhá odvádět teplo, které vzniká v důsledku vysoké tepelné vodivosti hliníkové slitiny a zabraňuje tvorbě nadměrného převýšení kořene svaru. Pomocí této podložky nedochází k přímému formování kořene jako je tomu u podložek s mělkou drážkou nebo při použití formovacího plynu. Při jednostranném svařování a tvorbě kořene svaru bez sekundární ochrany dochází na straně kořene k tvorbě oxidů, které brání spojení hran a dochází ke vzniku oxidické rýhy. Kořen svaru bez sekundární ochrany musí mít proto dostatečné převýšení, které zajistí natažení těchto zoxidovaných míst a vytvoření souvislého kořene svaru. [16] Pro podporu lepšího zatečení a omezení vzniku oxidické rýhy bylo použito sražení spodních hran, které popisuje literatura [2]. Hrany byly proto sraženy na rozměr $1 \times 45^\circ$.



Obrázek 34: Oxidická rýha vzniklá v důsledku malého převýšení kořene svaru

Rychlost svařování je vypočítána dosazením měřeného času do vztahu (1).

$$v = \frac{l}{t} = \frac{150}{39} = 3,84 \text{ mm/s} \quad (1)$$

Tabulka 11: Parametry svařování jednotlivých vzorků metodou MIG [33]

Typ spoje	Označení vzorku	U (V)	I (A)	Průtok plynu (l/min)	Čas svařování (s)	Rychlost svařování mm/s
Tupý svar (BW 3 II)	1A	17,2-18,1	70-79	15	39	3,84
Koutový svar (FW)	2A	16,1-17,2	93-107	15	29	5,17
Koutový přeplátovaný (FW)	3A	16,8-17,5	90-94	15	28	5,36
Koutový rohový (FW)	4A	17,4-18,6	72-79	15	31	4,84
Koutový oblý (FW)	5A	16,8-17,5	92-98	15	34	4,41

Hodnoty proudu a napětí byly spolu s rychlostí svařování dosazeny do vztahu pro výpočet vneseného tepla do svaru a následně určena průměrná hodnota vneseného tepla. Koeficient účinnosti metody MIG je podle normy [40] 0,8.

$$Q_{min} = k \cdot \frac{U \cdot I}{v} \cdot 10^{-3} = 0,8 \cdot \frac{70 \cdot 17,2}{3,84} \cdot 10^{-3} = 0,25 \text{ kJ/mm} \quad (2)$$

$$Q_{max} = k \cdot \frac{U \cdot I}{v} \cdot 10^{-3} = 0,8 \cdot \frac{79 \cdot 18,1}{3,84} \cdot 10^{-3} = 0,30 \text{ kJ/mm} \quad (3)$$

$$Q = \frac{Q_{min} + Q_{max}}{n} = \frac{0,25 + 0,30}{2} = 0,275 \doteq 0,28 \text{ kJ/mm} \quad (4)$$

Tabulka 12: Hodnoty vneseného tepla svarů metody MIG [33]

Typ spoje	Teplo vnesené do svaru [kJ/mm]
Tupý svar (BW 3 II)	0,28
Koutový svar (FW)	0,26
Koutový přeplátovaný (FW)	0,24
Koutový rohový (FW)	0,23
Koutový oblý (FW)	0,30

9.1.2 Metoda TIG

U metody TIG vstupoval do procesu oproti metodě MIG parametr frekvence střídavého proudu, který výrazně ovlivňuje šířku svarové lázně a její ovladatelnost, jak je uvedeno v kapitole 5.2.3. Parametr vyvážení (balance) byl u všech typů spojů nastaven na 75 % záporné periody z důvodu důkladného odstranění oxidické vrstvy při přípravě svarových ploch. Sestavení a podložení svarových spojů proběhlo stejným způsobem jako u metody MIG.



Obrázek 35: Zkušební vzorky svařené metodou TIG

Tabulka 13: Parametry svařování tupého spoje metodou TIG [33]

Typ spoje	Označení vzorku	U (V)	I (A)	Průtok plynu (l/min)	Frekvence AC (Hz)	Rychlost svařování mm/s
Tupý svar (BW)	1B	12,7-14	110	9	130	1,53
Koutový svar (FW)	2B	12,7-14	135	9	130	1,53
Koutový svar přeplátovaný (FW)	3B	13,2-16	115	9	174	1,56
Koutový svar rohový (FW)	4B	13,3-14,4	110	9	200	3,13
Koutový svar oblý (FW)	5B	14-15,1	130	9	224	1,46

Výpočet vneseného tepla proběhl s koeficientem účinnosti metody 0,6 na rozdíl od metody MIG [40].

$$Q_{min} = k \cdot \frac{U \cdot I}{v} \cdot 10^{-3} = 0,6 \cdot \frac{110 \cdot 12,7}{1,53} \cdot 10^{-3} = 0,55 \text{ kJ/mm} \quad (5)$$

$$Q_{max} = k \cdot \frac{U \cdot I}{v} \cdot 10^{-3} = 0,6 \cdot \frac{110 \cdot 14}{1,53} \cdot 10^{-3} = 0,60 \text{ kJ/mm} \quad (6)$$

$$Q = \frac{Q_{min} + Q_{max}}{n} = \frac{0,55 + 0,60}{2} = 0,575 \doteq 0,58 \text{ kJ/mm} \quad (7)$$

Tabulka 14: Hodnoty vneseného tepla svarů metody TIG [33]

Typ spoje	Teplo vnesené do svaru [kJ/mm]
Tupý svar (BW 3 II)	0,58
Koutový svar (FW)	0,65
Koutový přeplátovaný (FW)	0,65
Koutový rohový (FW)	0,29
Koutový oblý (FW)	0,80

Na základě získaných parametrů byly vypracovány návodky svařování pro jednotlivé metody a typy spojů, které jsou uvedeny na závěr práce ve formě příloh (Příloha PIII – PXII).

10 OVĚŘENÍ PARAMETRŮ

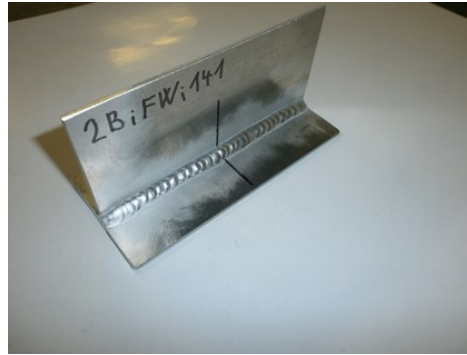
U všech svařených vzorků byla provedena vizuální zkouška. Kontrola intenzity světla při zkoušce byla provedena luxmetrem a dosahovala hodnoty 465 lx. Byla použita měřidla pro tupé a koutové spoje. Tvar a rozměry svarových spojů se nacházeli v rozmezí požadovaného stupně jakosti předepsaného výkresovou dokumentací. Nebyly nalezeny žádné nepřijatelné vady, jako jsou například trhliny.



Obrázek 36: Luxmetr, měrka tupých svarů a měrka koutových svarů použité při vizuální kontrole

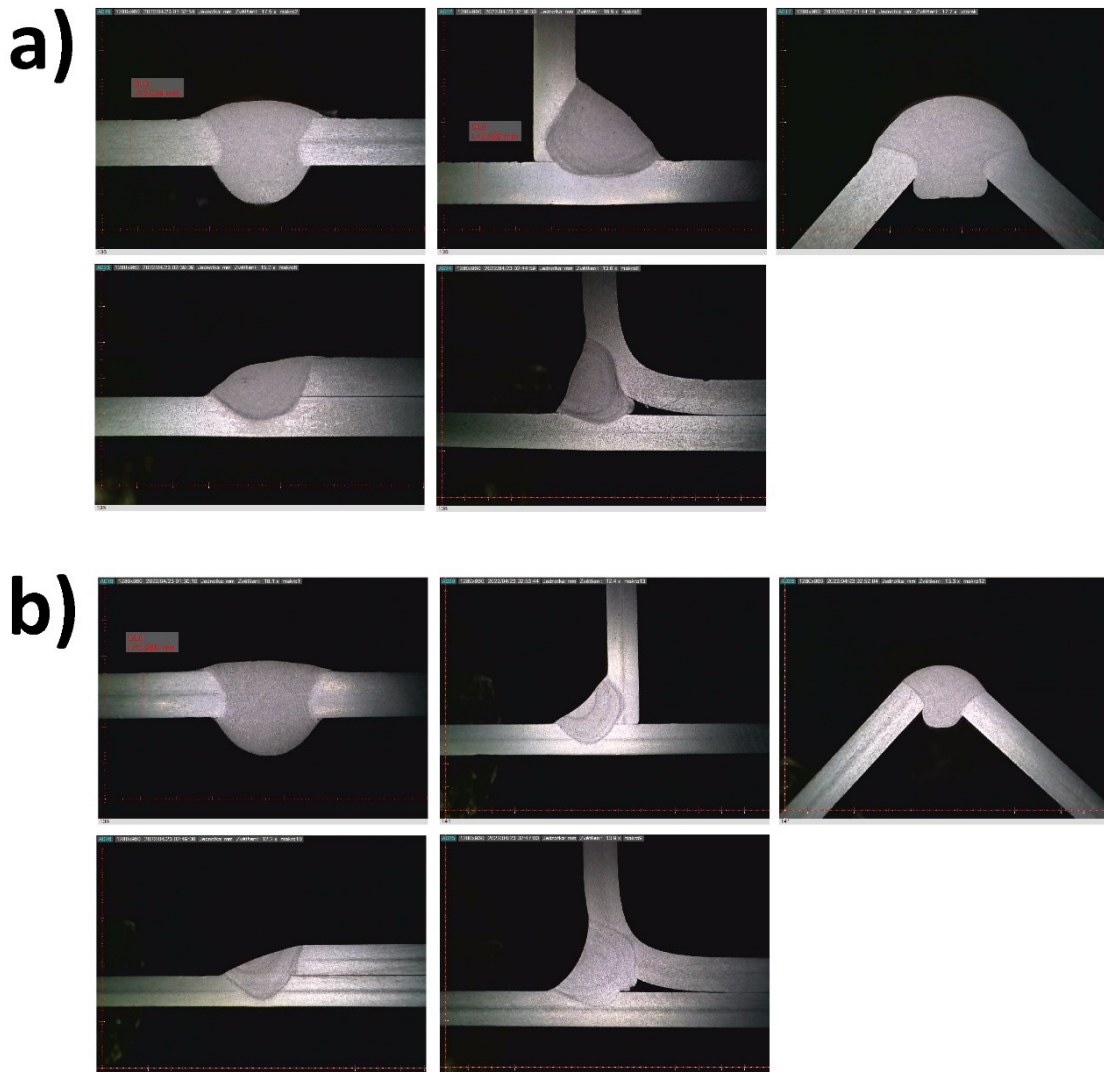
10.1 Zkouška makrostruktury

Po vizuální kontrole proběhla zkouška makrostruktury. Na každém zkušebním kusu bylo zvoleno místo pro odběr vzorku, který proběhl řezáním pásovou pilou. Příprava vzorku byla realizována v první fázi broušením brusným papírem o zrnitosti P240, následovaly zrnitosti P600, P800, P1200 a ruční doleštění polotekutou pastou pro barevné kovy. Posléze byly vzorky byly opláchnuty teplou vodou a leptány 10 minut v 15% roztoku NaOH a destilované vody.



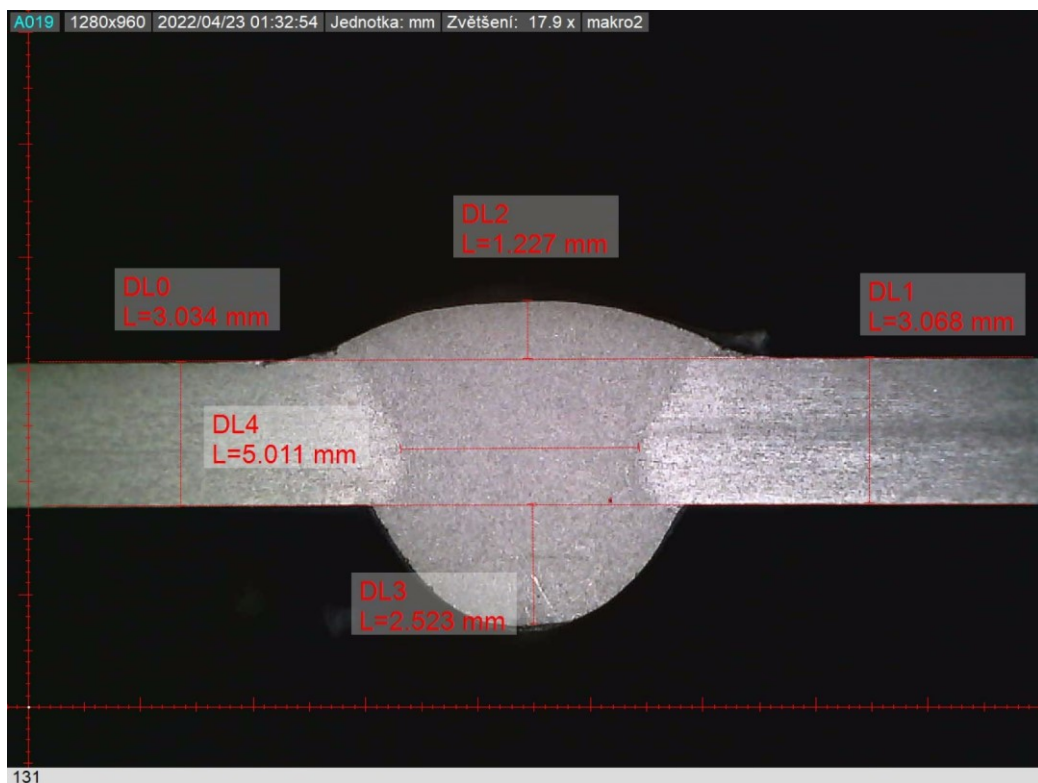
Obrázek 37: Vyznačené místo pro odběr vzorku na zkušebním kusu

Po leptání byly vzorky opláchnuty teplou vodou a vysušeny horkovzdušnou pistolí. K pozorování makrostruktury a vytvoření snímků byl použitý digitální mikroskop Dino Lite.

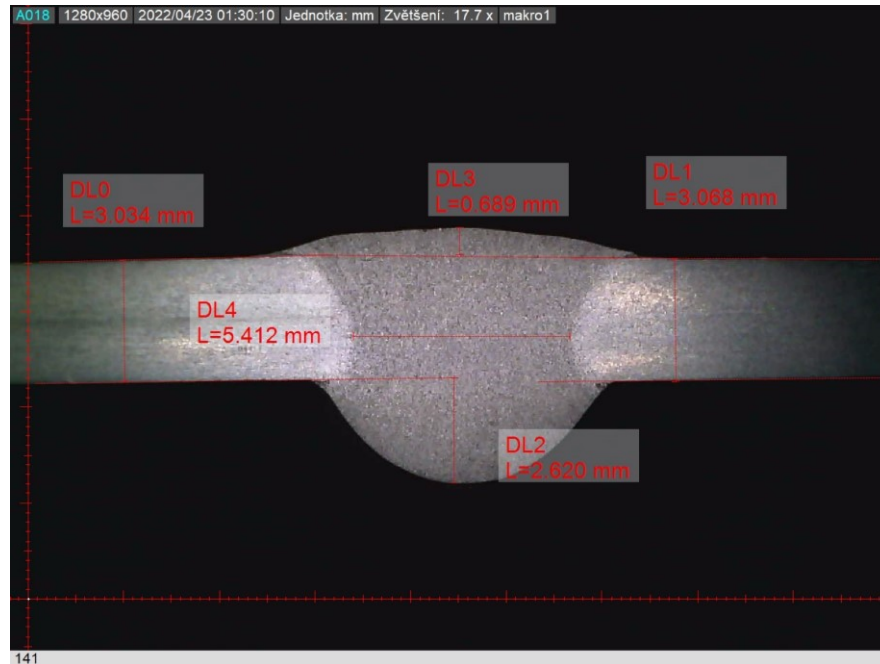


Obrázek 38: Snímky makrostruktury vzorků a) metoda MIG
b) metoda TIG

Kontrolou makrostruktury nebyly prokázány žádné vady typu trhlin. U některých vzorků byl pozorován výskyt pórů, jednalo se především o svary zhotovené metodou MIG (Obr. 38a). Jejich počet a rozměry na příslušných vzorcích byl podle normy [39] vyhodnocen jako vyhovující. U metody MIG bylo pozorováno větší převýšení svaru než u metody TIG (Obr. 38b), které je důležité především u rohových svarů, u kterých je podle výkresové dokumentace vyžadováno opracování, a u rohových spojů zhotovených metodou TIG by proto mohlo dojít k podbroušení. U spojů zhotovených metodou MIG byl pozorován také větší výskyt přetečení, především u tupého, koutového a oblého spoje, které bylo podle normy [34] vyhodnoceno jako vyhovující.



Obrázek 39 Tupý svar zhotovený metodou MIG při kontrole makrostruktury



Obrázek 40: Tupý svar zhotovený metodou TIG při kontrole makrostruktury

10.2 Vlastnosti svarového kovu

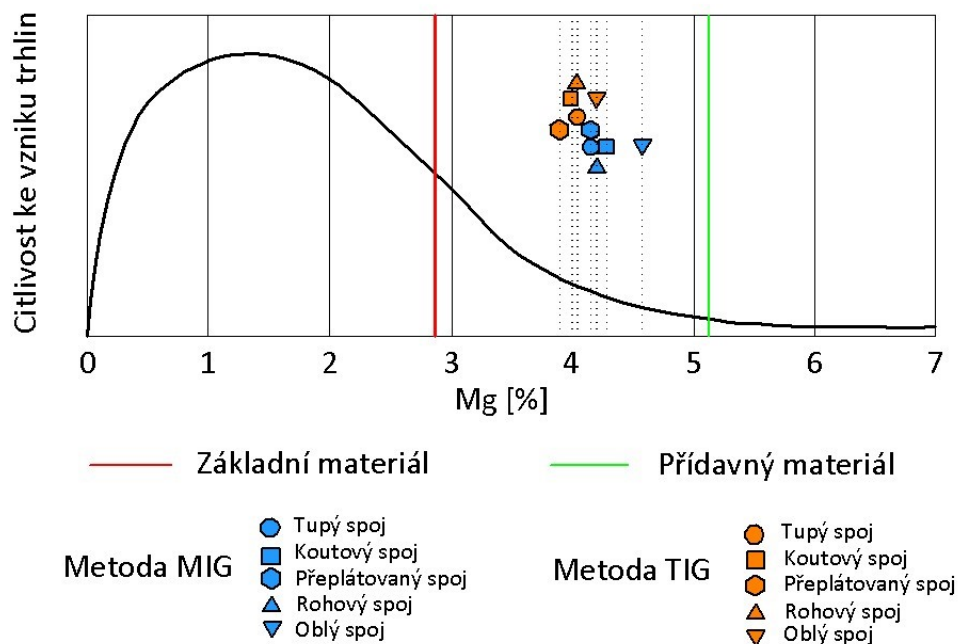
Pro ověření a porovnání vypracovaných postupů vzhledem k možnému vzniku trhlin ve svarech proběhl výpočet zředění svarového kovu se základním materiálem. U snímků vzorků použitých pro kontrolu makrostruktury spolu s dalšími, které byly zhotoveny ze zbylých částí. Celkově byly měřeny plochy šesti vzorků pro každý typ svarového spoje a určena jejich průměrná hodnota. Před měřením bylo potřeba naznačit původní svarové plochy a hranice natavení. Na přeplátovaném spoji byla jejich poloha určena odměřením šířky horního plechu před svařováním. Měření obsahu ploch závaru a návaru proběhlo v softwaru Solidedge. Hodnoty obsahu závaru a návaru byly dosazeny do vztahu (8) pro výpočet zředění svarového kovu se základním materiálem.

$$Z = \frac{S_z}{S_n + S_z} \cdot 100 \quad (8)$$

Tabulka 15: Hodnoty zředění jednotlivých typů spojů [33]

Metoda, typ spoje	Zředění v %	Metoda, typ spoje	Zředění v %
MIG tupý spoj	43,24	TIG tupý spoj	48,02
MIG koutový spoj	37,29	TIG koutový spoj	50,31
MIG přeplátovaný spoj	43,29	TIG přeplátovaný spoj	54,6
MIG rohový spoj	40,92	TIG rohový spoj	48,29
MIG oblý spoj	25,75	TIG oblý spoj	41,18

Hodnoty zředění byly vneseny do diagramu citlivosti ke vzniku horkých trhlin, závislých na obsahu hořčíku (Obr. 41).



Obrázek 41: Diagram citlivosti ke vzniku horkých trhlin s vyznačeným zředěním svarových spojů. [16;33]

Nejmenší hodnota zředění byla naměřena u oblého spoje provedeného metodou MIG, naopak největší hodnotu vykazoval přeplátovaný spoj zhotovený metodou TIG. Všechny typy svarových spojů provedené metodou MIG vykazovaly menší zředění oproti metodě TIG. Průměrný rozdíl mezi jednotlivými metodami dosahoval hodnoty 10,4 %. Lze proto

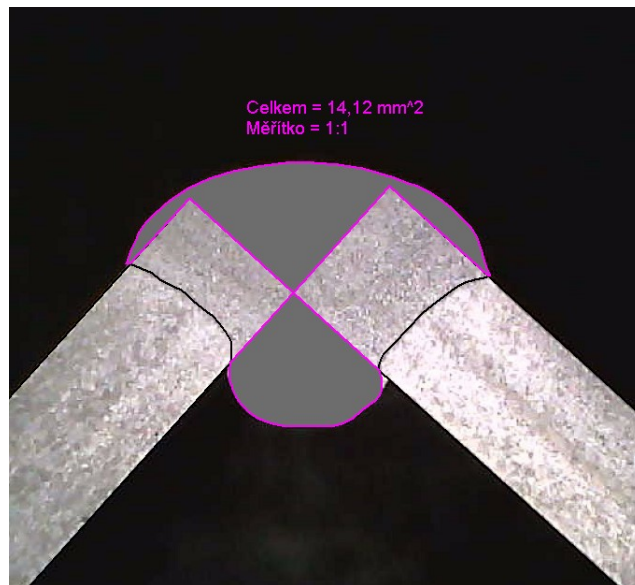
předpokládat, že při použití metody MIG bude vznik horkých trhlin v průběhu svařování méně pravděpodobný. Obsah hořčíku se u všech svarů pohybuje v rozmezí 3,89-4,55 %. Podle literatury [4] je kritická hodnota, při které je náchylnost ke vzniku horkých trhlin největší při 1,5 % Mg. Za méně citlivé ke vzniku trhlin se podle literatury [36] považují svary s přibližně 4 % a více legujících prvků. Proto lze oba postupy pro základní materiál a zvolený přídavný materiál považovat za vyhovující.

11 ZHODNOCENÍ NÁKLADŮ NA PROCES SVAŘOVÁNÍ

Pro zhodnocení nákladů na svařování podle navržených postupů bylo použito kritérium nákladů na 1 kg odtaveného svarového kovu. Toto kritérium tvoří mzdové a režijní náklady vztahované na svářeče, náklady na přídavný materiál a náklady na ochranné atmosféry.

Do některých vztahů pro výpočet těchto nákladů vstupuje parametr **výkonu odtavení při svařování**. Jeho výpočet proběhl na základě měření plochy (průřezu) návaru v softwaru Solidedge stejným způsobem jako při určení hodnot zředění. Po měření ploch návaru jednotlivých typů spojů byly tyto hodnoty zadány do softwaru MS-Excel spolu se seznamem svarových spojů uvedeném v *tabulce 9*. Proběhl výpočet celkové délky jednotlivých typů svarových spojů a jejich objem. Pro výpočet hmotnosti návaru m_{celk} byla použita hustota hliníkových slitin $2,699 \text{ g cm}^{-3}$ [3]. Pro získání svařovacího času t byly použity hodnoty rychlosti svařování uvedené v tabulkách parametrů kapitoly 9.

$$G_{tav} = \frac{m_{celk}}{t_{svař}} \quad [\text{kg} \cdot \text{h}^{-1}] \quad (8)$$



Obrázek 42: Měření plochy návaru

Tabulka 16: Hodnoty průřezu, hmotnosti a výkonu odtavení jednotlivých spojů [33]

Typ spoje	Metoda	Průřez návaru [mm ²]	Celková hmotnost svarů [g]	Výkon odtavení [kg/h]
Tupý	MIG	20,54	23,78	0,766
	TIG	18,38	21,28	0,273
Koutový	MIG	21,97	13,16	1,104
	TIG	11,68	7,00	0,174
Rohový	MIG	23,82	40,31	1,120
	TIG	13	22,00	0,395
Překlátovaný	MIG	14,04	10,23	0,731
	TIG	10,52	7,67	0,159
Oblý	MIG	21,36	12,45	0,915
	TIG	17,64	10,28	0,250

11.1 Mzdové a režijní náklady vztažené na svářeče

Pro výpočet těchto nákladů byla spolu s výkonem odtavení použita také hodinová sazba svářeče převzatá z podniku A. Tato sazba (650Kč/hod) zahrnuje režijní náklady, mzdu svářeče, náklady na energie a jiné. Dále do vztahu vstupuje časové využití fondu pracovní doby. Tento parametr je podle literatury [35] v každém podniku individuální a u ručního svařování se pohybuje v rozmezí 25-30 %. Pro výpočet byla zvolena hodnota 30 %.

Pro výpočet tupého spoje zhotoveného metodou MIG byl použitý vztah (9) uvedený v literatuře [35].

$$N_{11} = \frac{S_{sv}}{G_{tav} \cdot t_{využ}} = \frac{650}{0,766 \cdot 0,30} = 2828,55 \text{ Kč/kg} \quad (9)$$

Celková předpokládaná hmotnost tupých svarů zhotovených metodou MIG na výrobku je 23,78 g. Ceny přepočítané na předpokládané hmotnosti jednotlivých typů svarů jsou uvedeny v tabulce 17.

Tabulka 17: Mzdové a režijní náklady jednotlivých svarů vzhledem k jejich hmotnosti [33]

Metoda MIG, typ spoje	Mzdové a režijní náklady	Metoda TIG, typ spoje	Mzdové a režijní náklady
Tupý spoj	67,24	Tupý spoj	168,75
Koutový spoj	25,84	Koutový spoj	87,33
Rohový spoj	77,97	Rohový spoj	120,56
Oblý spoj	29,48	Oblý spoj	89,04
Přeplátovaný spoj	30,32	Přeplátovaný spoj	104,17
Celkem:	230,84		569,85

11.2 Náklady na přídavný materiál

Náklady na přídavný materiál zahrnují také parametr využití přídavného materiálu, který udává podíl přeměny na svarový kov. U metody MIG byl zvolen parametr 90 % z důvodu rozstříku svarového kovu podle literatury [35]. U metody TIG byl parametr zvolen 80 %, protože při ručním podávání přídavného materiálu o délce 1000 mm zůstává nevyužitý konec závislý na zručnosti svářeče. U metody MIG byl nakoupen přídavný materiál v ceně 378 Kč/kg a celková předpokládaná hmotnost svarů na výrobku je 0,1 kg. Pro metodu TIG byl nakoupen materiál v ceně 357 Kč/kg a celková předpokládaná celková hmotnost je 0,068kg.

$$N_{21} = \frac{C_{sv1}}{V_{sv1}} = \frac{378}{0,90} = 420 \cdot 0,1 = 42 \text{ Kč} \quad (10)$$

$$N_{22} = \frac{C_{sv2}}{V_{sv2}} = \frac{357}{0,80} = 446,25 \cdot 0,068 = 20,63 \text{ Kč} \quad (11)$$

11.3 Náklady na ochranný plyn

Cena lahve argonu 4.6 o objemu 50 L s plnicím tlakem 200 bar je 1439 Kč. Objem náplně této lahve je podle technického listu dodavatele 10,7 m³. Před samotným výpočtem nákladů na ochranný plyn je potřeba určit cenu za 1 L. Pro zjednodušení byl také určen průměrný výkon odtavení jednotlivých metod.

$$C_{\text{plyn}} = \frac{1439}{10700} = 0,134 \text{ Kč/L} \quad (12)$$

$$G_{\text{MIG}} = \frac{1,104 + 0,766 + 1,12 + 0,915 + 0,731}{5} = 0,927 \text{ kg/h} \quad (13)$$

$$G_{\text{TIG}} = \frac{0,174 + 0,273 + 0,395 + 0,250 + 0,159}{5} = 0,25 \text{ kg/h} \quad (14)$$

Pro následující výpočet nákladů na ochranný plyn podle literatury [35], byly dosazeny hodnoty průtoku ochranného plynu uvedeného v kapitole 9 v litrech za hodinu.

$$C_{\text{plyn}} = \frac{1439}{10700} = 0,134 \text{ Kč/L} \quad (12)$$

$$N_{31} = \frac{Q_{\text{plynM}} \cdot C_{\text{plynM}}}{G_{\text{MIG}}} = \frac{900 \cdot 0,134}{0,927} = 130,1 = 130,1 \cdot 0,1 = 13 \text{ Kč} \quad (13)$$

$$N_{32} = \frac{Q_{\text{plynT}} \cdot C_{\text{plynT}}}{G_{\text{TIG}}} = \frac{540 \cdot 0,134}{0,25} = 289,44 = 289,44 \cdot 0,68 = 13,38 \text{ Kč} \quad (14)$$

11.4 Celkové náklady

Celkové náklady byly získány součtem výše popsaných nákladů. Z celkových nákladů tvoří největší část mzdové a režijní náklady vztažené na svářeče. Oproti tomu náklady na přídatný materiál a ochranný plyn jsou téměř zanedbatelné. U daných součástí, které mají být

vyráběny v počtu 15 kusů je velmi důležitým faktorem při předběžné cenové kalkulaci také správný odhad časové náročnosti jednotlivých operací.

Tabulka 18: Celkové náklady procesu svařování jednotlivými metodami [33]

Celkové náklady, metoda MIG [Kč]	Celkové náklady metoda TIG [Kč]
285,84	603,86

12 VÝROBA

Pro svařování byla vzhledem k nižším hodnotám vneseného tepla, které ovlivňuje rozsah deformací a pokles mechanických vlastností, menšímu zředění svarového kovu se základním materiálem a nižším nákladům na proces svařování, zvolena metoda MIG. Jedním z důvodů volby této metody je také jednodušší stehování dílců, při kterém svářeč může provádět stehové svary pouze jednou rukou. Nevýhodou, která se u této metody vyskytuje ve větší míře oproti metodě TIG, je ale možný vznik studených spojů na začátku svaru a postup svařování na něho musí být uzpůsoben.

12.1 Příprava polotovarů

Pro přípravu polotovarů byl dodavatelem zajištěn plech o rozměrech 3x1200x2500 mm. Příprava polotovarů proběhla dělením pomocí vodního paprsku (Obr. 43). Před samotným řezáním byl plech podložen plastovou podložkou, aby nedošlo ke vzniku hlubokých rýh a „otryskávání“ spodní strany plechu proudem vody procházející skrz materiál. Posuv řezací hlavy při řezání byl nastaven na 750 mm/min při spotřebě abraziva 350 g/min. Po řezání byly polotovary osušeny stlačeným vzduchem.

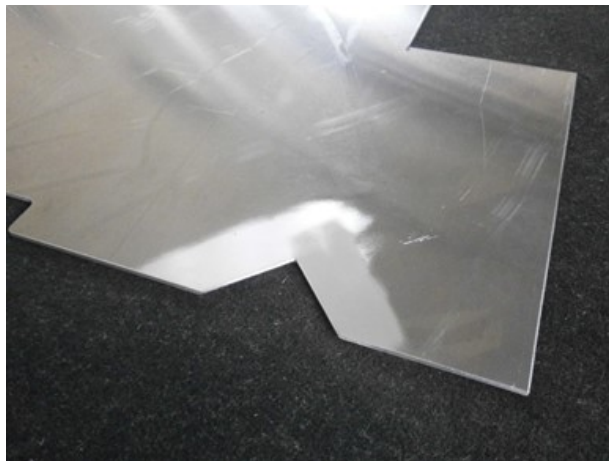


Obrázek 43: Dělení materiálu vodním paprskem

12.2 Příprava svarových ploch

Příprava svarových ploch na polotovarech proběhla na rozvinutých tvarech z důvodu uzavření některých rohových a tupých spojů při ohybu. Svarové plochy, v místě řezu zoxidované s ulpívajícím abrazivem, byly připraveny zarovnáním ruční úhlovou bruskou se speciálním kotoučem pro hliníkové slitiny. I když norma [37] použití brusných kotoučů určených pro hliník povoluje, není podle literatury [2] broušený povrch příznivý pro stabilitu

oblouku, možnosti ulpívání abrazivních částic a možnému místnímu přehřátí v některých případech. Doporučuje se proto použití především obráběcích metod bez řezných kapalin. Strojní obrábění nebylo použito z důvodu velkých rozměrů rozvinutých tvarů pro frézku v podniku A, ale také kvůli malému počtu vyráběných kusů. Broušený povrch svarových ploch byl proto pouze zarovnán a začištěn pilníkem. Pro zkosení a odjehlení hran byl vzhledem k nízké tvrdosti hliníkové slitiny použitý ruční odjehlovač. Pro odstranění oxidické vrstvy v dostatečné vzdálenosti od svarových ploch Al_2O_3 byl použitý kartáč z austenitické oceli, jak je uvedeno v normě [37]. Detaily přípravy svarových ploch pro dané typy spojů jsou uvedeny ve schématu umístěném v návodkách pro jednotlivé typy svarových spojů (Příloha *PIII – PXII*).



Obrázek 44: Připravená svarová plocha

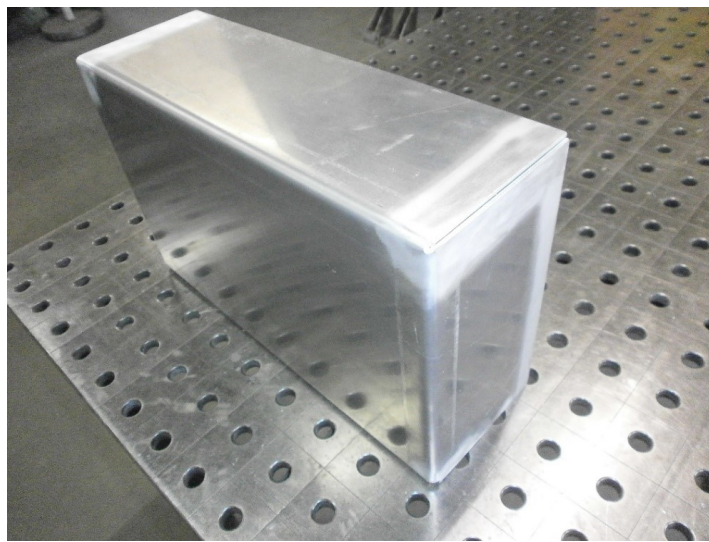
Ohýbání součástí proběhlo na ohraňovacím lisu (Obr. 45). Byly použity horní nástroje s poloměrem ohybu R3. Z důvodu malého poloměru ohybu byla důležitá především volba spodních nástrojů. Při použití nástroje s malým úhlem rozevření a roztečí vznikaly trhliny na vnější hraně zkušebního kusu. Zvolený spodní nástroj měl proto úhel rozevření 85° a rozteč 35 mm.



Obrázek 45: Ohýbání na ohraňovacím lisu

12.3 Svařování

Jako první proběhlo svařování podsestavy „Plech 2“. Před samotným svařováním bylo potřeba dílec zbavit mastnoty, která vznikla při kontaktu s ohýbacími nástroji. K odmaštění byl použitý aceton. Především svařování svarových ploch uzavřených ohyby bylo potřeba zahájit v co nejbližší možné době, aby nedošlo k opětovné tvorbě Al_2O_3 . Literatura [38] doporučuje zahájit svařování nejpozději do 4 hodin od očištění. Pokud by došlo k překročení této doby, je potřeba všechny svarové plochy opětovně kartáčovat. Pro plochy uzavřené ohyby je zapotřebí použít úzké (štetčové) kartáče upevněné ve vrtačce.

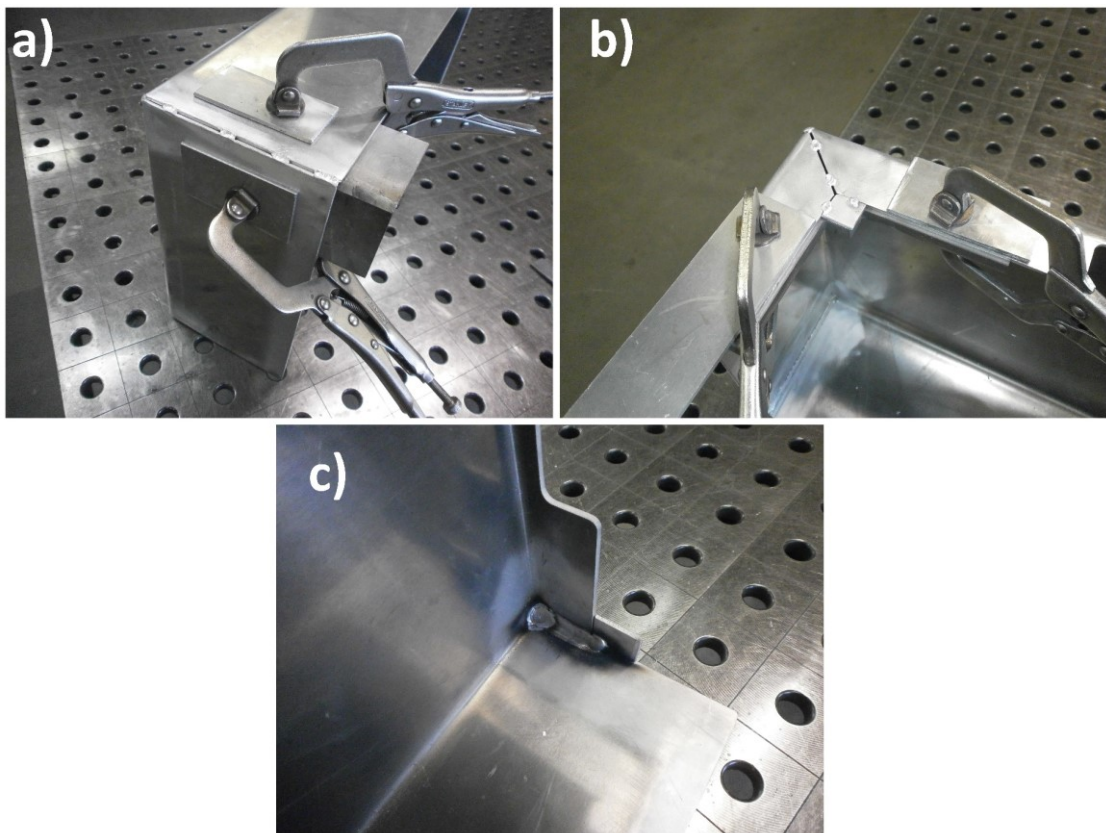


Obrázek 46: Díl podsestavy připravený ke svařování

Svařování rohových spojů proběhlo s použitím podložky z austenitické oceli upevněné k dílu pomocí samosvorných kleští. Sražená hrana podložky zabraňuje tvorbě nadměrného převýšení kořene svaru. Před samotným svařováním proběhlo sestehování hran, zarovnání stehů frézováním pomocí ruční přímé brusky a okartáčování. Pro zajištění spolehlivého průvaru začátku spoje bez poškození (upálení) hrany byly použity náběhové plechy (desky), které jsou pro tento účel doporučeny normou [39] a jsou zhotovené ze stejné slitiny jako je základní materiál. Náběhové desky slouží ke spuštění oblouku a nanesení začátku svarové housenky, která obvykle obsahuje studené spoje vznikající v důsledku rychlého odvádění tepla hliníkovou slitinou. Tyto desky byly po svařování odřezány.

Svařování tupého spoje proběhlo také na podložce z austenitické oceli s vyfrézovanou drážkou o rozměrech daných příslušnou svařovací návodkou. Pro omezení přesazení tupého spoje a zachování úhlu 90° byly provedeny stehové svary a svaření rohového výřezu. Stejně jako u rohového spoje byla použita náběhová deska. Jako poslední proběhlo svařování

koutového spoje. Po svaření byly odstraněny náběhové desky, svary byly očištěny a zabroušeny podle výkresové dokumentace, následně proběhla kontrola rozměrů.

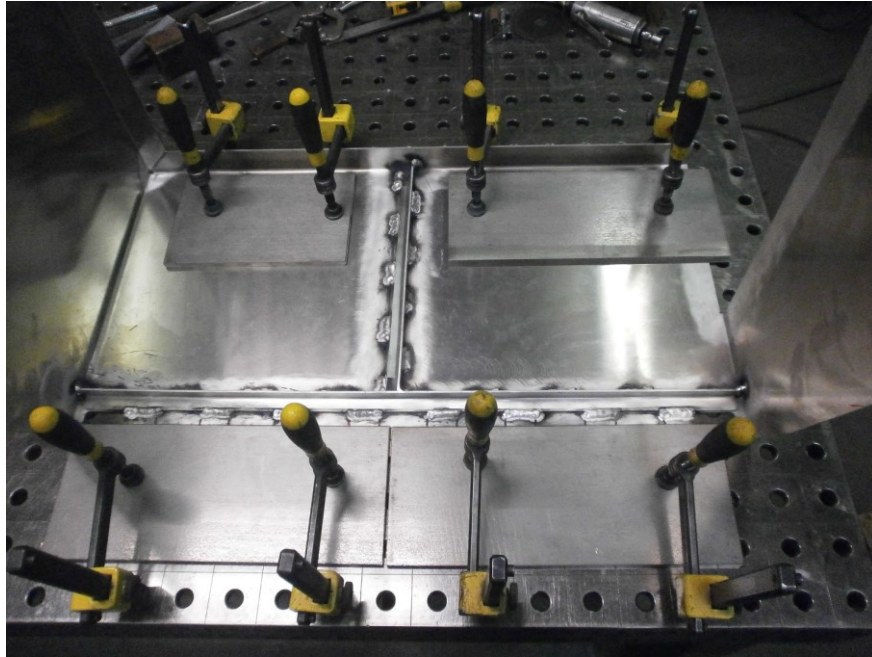


Obrázek 47: a) Příprava rohového spoje, b) příprava tupého spoje c) rohový svar

Další samostatně svařovanou podsestavou byl „Plech 1“. Jako nejvhodnější řešení bylo vyhodnoceno přednostní přivaření výztuh z hlediska dobrého přístupu pro svářeče a dále snadnějšího odstranění případných deformací, které mohou vzniknout v důsledku velkého množství svarových spojů. Spojení výztuh proběhlo samostatně s tuhým upnutím na stavebnicovém stole, po svaření byly důkladně okartáčovány a odmaštěny. Následně byly tyto výztuhy vsazeny do připraveného dílu podstavy „Plech 1“ a upnuty. Po sestehování a upravení stehů byly upínky povoleny a v místech svařování byla součást podložena plechem z austenitické oceli o tloušťce 2 mm za účelem předepnutí před svařováním proti směru předpokládané deformace. Pro předepnutí před svařováním byly použity příložky z austenitické oceli. Svařování proběhlo střídavě od středu výztuh k okrajům, jak je naznačeno na následujícím obrázku (Obr. 48). Pro omezení vzniku studených spojů na začátku svarů byla použita funkce zvýšeného startovacího proudu, která byla nastavena na 35 %. Rychlé a spolehlivé změny parametrů pro rozdílné typy svarových spojů bylo

dosaženo nastavením programových bloků na zdroji a jejich postupným přepínáním. Po vychlazení a odepnutí byly drobné deformace vyrovnány gumovou palicí.

Svařování tupého spoje na ohnutém lemu proběhlo stejným způsobem jako u podsestavy „Plech 1“.

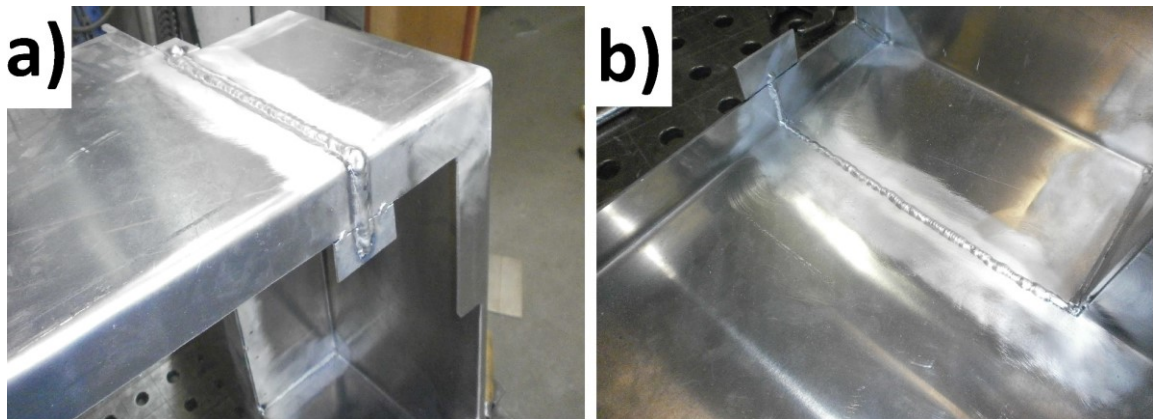


Obrázek 48: Předepnutí při svařování výztuh dílu podsestavy

Po očištění a broušení svarů byly svarové plochy ostatních dílů kartáčovány, odmaštěny, byla sestehována celková sestava a provedena kontrola všech rozměrů.

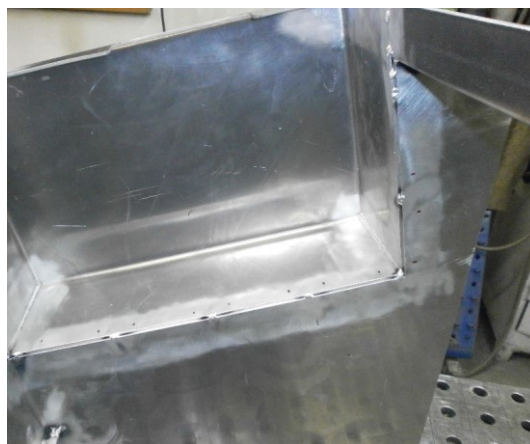
Přednostně proběhlo svařování tupého spoje o délce 275 mm. Z důvodu problémů, které by vznikaly se změnou polohy v průběhu svařování, jako je například nepříznivé naklonění hořáku a ztráta plynové ochrany při svařování ohybu lemu nebo nemožnost plynulé změny parametrů při změně polohy svařování, byl tento spoj rozdělen na dvě části. Svarové plochy tohoto spoje byly sestehovány dostatečným počtem stehových svarů, které zabránily přesazení ploch v průběhu svařování. V místě ohybu lemu byl vytvořen stehový spoj o délce 10 mm se závarem kořene a obě strany stehového spoje byly upraveny stopkovou frézou pro vznik plynulého napojení svaru. Použitá podložka byla z důvodu možných nepřesností vzniklých při ohýbání součásti a snadnému vytažení rozdělena na dvě na sebe navazující části. Delší strana podložky byla pro zajištění vyšší tuhosti a intenzivnějšímu odvodu tepla překryta deskou z austenitické oceli o rozměrech 200x300x8 mm a utažena pomocí svěrek.

Pro kratší stranu byly použity samosvorné kleště. Na obou stranách tupého spoje byly použity náběhové desky.



Obrázek 49: Lic a kořen tupého svaru

Svařování přerušovaných rohových spojů, které spojují podsestavu „Plech 1“ a „Plech 2“, proběhlo výše popsaným způsobem. Na rozdíl od rohových svarů podsestav „Plech 2“ ale byla použita funkce zvýšeného startovacího proudu. Následovalo svařování tupého spoje spojujícího s použitím podložky a svařování koutového svaru spojujícího podsestavu „Plech 2“ a „Spojovací plech“ s použitím náběhových desek.



Obrázek 50: Stehové spoje s naznačeným rozmístěním rohových svarů

Posledním krokem bylo spojení podsestav „Plech 1“ a „Plech spojovací“ na opačné straně výrobku. Vnější hrany byly svařeny rohovými spoji s použitím náběhových desek. Před zhotovením koutového spoje a vytvořením oboustranného svaru bylo ale potřeba vydrážkovat kořen. Pro drážkování byla použita úhlová bruska s kotoučem určeným pro hliníkové slitiny. Před svařováním byla takto upravená plocha očištěna kartáčem. Jako poslední byl svařen koutový spoj spojující podsestavu „Plech 1“ ohýbaným lemem podsestav „Spojovacího plech“.



Obrázek 51: Vydrážkovaný kořen rohového spoje

Po svařování proběhlo očištění všech zhotovených svarů od rozstříku, odstranění náběhových desek a zbrúšení svarů určených výkresovou dokumentací. Broušení převýšení všech tupých a rohových spojů proběhlo lamelovým kotoučem. Následně byly zkontrolovány všechny rozměry výrobku.



Obrázek 52: Dokončená sestava

13 VYHODNOCENÍ NAVRŽENÉHO ŘEŠENÍ, DISKUZE A ZÁVĚR

Pro ověření navržených parametrů proběhl výpočet tepla vneseného do svaru. Hodnoty vneseného tepla u metody MIG se pohybovaly v rozmezí 0,28-0,30 kJ/mm. Oproti tomu u metody TIG byly hodnoty vyšší 0,58-0,80 kJ/mm. Množství vneseného tepla bylo ovlivněno především rychlostmi svařování, které byly u metody MIG podstatně vyšší. Pro svařování výrobku z plechu o tloušťce 3 mm z hliníkové slitiny se jeví jako vhodnější postupy navržené pro metodu MIG, u kterých lze předpokládat méně deformací, které vznikají v důsledku svařování a lze také předpokládat méně výrazný pokles mechanických vlastností.

Vizuální kontrolou nebyly u žádných svařovaných vzorků zjištěny vady, které by byly mimo rozsah stupně jakosti. Při následné kontrole makrostruktury nebyly prokázány žádné nepřijatelné vady typu trhlin. U metody MIG byl pozorován výskyt pórů ve větší míře než u metody TIG. Jako jedna z mnoha příčin, které mohou tento typ vad způsobovat, je špatný sklon svařovacího hořáku [2]. Postupy pro metodu TIG, u kterých byly naměřeny nižší rychlosti svařování, mohou být proto spolehlivější vzhledem k možnému výskytu pórů, z důvodu lepší kontroly nad tavnou lázní a jejím okolí svářečem.

Měřením a výpočtem zředění přídavného materiálu se základním materiálem bylo prokázáno, že hodnoty zředění u metody MIG se pohybovaly v rozmezí 26-43 %. Oproti tomu svary zhotovené metodou TIG poskytovaly vyšší stupeň zředění 41-55 %. Obsah hořčíku ve svarech se vzhledem ke stupni zředění pohybuje v rozmezí 3,9-4,6 % a lze proto oba postupy považovat za vyhovující z hlediska možného vzniku trhlin ve svarech. Trend vyššího stupně zředění a náchylnosti ke vzniku trhlin, který lze pozorovat u metody TIG, ale může nepříznivě narůstat vlivem lidského faktoru při ručním podávání, především při provádění stehových svarů. Proto lze vzhledem k možnému výskytu těchto vad považovat metodu MIG za spolehlivější.

Porovnáním celkových nákladů na proces svařování pro jednotlivé metody lze pozorovat podstatný rozdíl mezi porovnávanými postupy, kde pro metodu MIG je výsledná částka 286 Kč a pro metodu TIG 604 Kč. Největší část celkových nákladů tvoří mzdové a režijní náklady na svářeče, do nichž vstupuje parametr výkonu odtavení, závislý na rychlosti svařování, které jsou u obou metod rozdílné. Oproti tomu náklady na přídavný materiál a ochranný plyn tuto cenu zásadním způsobem neovlivňují. U svarů zhotovených metodou TIG je důležitým aspektem jejich vzhled a čistý povrch, který obvykle nevyžaduje další čištění a může proto také ovlivnit výslednou cenu výrobku. Oproti tomu u svarů zhotovených metodou MIG se vyskytuje rozstřík v okolí svaru.

Pro svařování součásti byla na základě získaných hodnot zvolena metoda MIG. Výroba vyžadovala zařazení operací v technologickém postupu, které jsou nezbytné pro zhotovení svarů požadované jakosti. Jedním z nich je například povrchová vrstva Al_2O_3 , která zásadním způsobem narušuje svařování a zařazení kroku jejího odstranění v technologických operacích. Dále pak omezení vzniku deformací a zabránění vzniku studených spojů na začátku svaru.

14 ZÁVĚR

Diplomová práce se zabývá svařováním hliníkových slitin, kdy v úvodu teoretické části byly popsány vlastnosti hliníku, dále pak jednotlivé typy hliníkových slitin, jejich značení, zpracování, svařitelnost a oblasti jejich použití. Samotné podmínky svařitelnosti jsou také rozvedeny v příslušné kapitole teoretické části, na kterou navazuje rozbor obloukových metod svařování, jejich technických řešení a parametrů ovlivňujících proces svařování.

V úvodu praktické části byly stanoveny cíle diplomové práce. Prvním cílem je volba vhodného přídavného materiálu a ochranného plynu pro svařování součástí z hliníkové slitiny AW5754H111. Pro tento typ slitin byl dle dostupné literatury zvolen přídavný materiál AL5356. Volba přídavného materiálu, která má vliv na vznik nepřijatelných vad ve svarovém spoji, kam patří především trhliny, byla ověřena pomocí měření stupně zředění těchto dvou materiálů na základě metalografických vzorků. Vyhodnocením zkoušky byla prokázána malá náchylnost ke vzniku trhlin. Zvolená čistota ochranného plynu byla také na základě metalografických zkoušek vyhodnocena jako vyhovující.

Pro splnění dalších cílů byla přezkoumána výkresová dokumentace a pro jednotlivé typy svarových spojů na výrobku byly na základě svařených vzorků vypracovány svařovací návody uvedené v přílohách PIII až PXII, ve kterých jsou uvedeny parametry, které vstupují do procesu svařování. Pro porovnání metod se zvolenými a měřenými parametry proběhl výpočet tepla vneseného do svaru. Z hodnot získaných při ověřování přídavného materiálu a tvorbě návodů svařování proběhl výpočet nákladů na proces svařování pro jednotlivé metody.

Pro svařování výrobku byla s ohledem na získané hodnoty zvolena vhodnější metoda a vypracován technologický postup výroby uvedený v příloze PII.

S technologickým postupem a navazující dokumentací, které jsou hlavním výstupem této práce je možné opakovaně vyrábět součást z hliníkové slitiny v požadované kvalitě.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] ROUČKA, Jaromír. *Metalurgie neželezných slitin*. Brno: Akademické nakladatelství CERM. ISBN 80-214-2790-6.
- [2] KOLAŘÍK, Ladislav. *Konstrukce a navrhování svarových spojů: učební texty pro mezinárodní/evropské svářečské inženýry a technology (I/EWE, I/EWT)*. Praha: ČVUT v Praze, Fakulta strojní, Ústav strojírenské technologie. ISBN 978-80-01-06315-6.
- [3] MICHNA, Štefan. *Encyklopedie hliníku*. Děčín: Alcan Děčín Extrusions. ISBN 80-89041-88-4.
- [4] KOUKAL, Jaroslav, Drahomír SCHWARZ a Jiří HAJDÍK. *Materiály a jejich svařitelnost*. Ostrava: Český svářečský ústav, 2009. ISBN 978-80-248-2025-5.
- [5] PTÁČEK, Luděk. *Nauka o materiálu II*. 2. opr. a rozš. vyd. Brno: CERM, 2002. ISBN 80-7204-248-3.
- [6] MACKANZIE, D.Scott. *The heat treatment of aluminum – Introduction* [online]. July 15, 2020 [cit. 2022-02-06]. Dostupné z: <https://thermalprocessing.com/wp-content/uploads/2020/06/0720-HS.pdf>
- [7] Alam, Tanwir & Ansari, Akhter. (2017). *REVIEW ON ALUMINIUM AND ITS ALLOYS FOR AUTOMOTIVE APPLICATIONS*. International Journal of Advanced Technology In Engineering and Science. 5. 278-294.
- [8] N.LUMLEY, Roger,ed. *Fundamentals of Aluminium Metallurgy*. United Kingdom: Elsevier. ISBN 978-0-08-102063-0.
- [9] POLMEAR, Ian J., David STJOHN, Jian-Feng NIE a Ma QIAN. *Light alloys: metallurgy of the light metals*. Fifth edition. Oxford: Butterworth-Heinemann, [2017]. ISBN 9780080994314.
- [10] *The Metal Aluminium*. GDA [online]. [cit. 2022-02-20]. Dostupné z: http://www.aluinfo.de/files/_media/dokumente/Downloads/Technische%20Daten/Merkblaetter/W1_The_Metal_Aluminium.pdf
- [11] VARGEL, Christian. *Corrosion of Aluminium*. Second Edition. Radarweg 29, PO Box 211, 1000 AE Amsterdam, Netherlands: Elsevier, 2020. ISBN 978-0-08-099925-8.

- [12] MATHERS, Gene. *The Welding of Aluminium and its Alloys*. 1. Abington Hall, Abington Cambridge CB1 6AH, England: Woodhead Publishing, 2002. ISBN 0-8493-1551-4.
- [13] ANDERSON, Tony. *Welding Aluminum— Questions and Answers*. 2. 550 N.W. LeJeune Road, Miami, FL 33126: American Welding Society, 2010. ISBN 978-0-87171-085-7.
- [14] KAUFMAN, J.Gilbert, ed. *Properties of Aluminum Alloys - Fatigue Data and the Effects of Temperature, Product Form, and Processing*. Materials Park, Ohio 44073-0002: ASM International, 2008. ISBN 9780871708397.
- [15] *Třídy hliníku*. Total Materia [online]. [cit. 2022-02-20]. Dostupné z: <https://www.totalmateria.com/page.aspx?ID=AluminumGrades&LN=CZ>
- [16] *ASM handbook*. 6th print. Materials Park: ASM International, 2003. ISBN isbn0-87170-382-3.
- [17] CABIBBO, Marcello. *Al-Mg-Si: Microstructural Analysis. Encyclopedia of Aluminum and Its Alloys* [online]. Boca Raton: CRC Press, 2019, 2019 [cit. 2022-02-19]. ISBN 9781351045636. Dostupné z: doi:10.1201/9781351045636-140000236
- [18] *Fundamentals of aluminium metallurgy: production, processing and applications*. Editor Roger LUMLEY. Oxford: Woodhead Publishing, [2011]. Woodhead Publishing in materials. ISBN 978-1-84-569654-2.
- [19] MEYSAM, Haghshenas. *Welding Parameters for Aluminum Alloys. Encyclopedia of Aluminum and Its Alloys* [online]. Boca Raton: CRC Press, 2019, 2019 [cit. 2022-03-16]. ISBN 9781351045636. Dostupné z: doi:10.1201/9781351045636-140000205
- [20] *Characteristics of aluminium in fusion welding. European-aluminium* [online]. [cit. 2022-03-30]. Dostupné z: https://www.european-aluminium.eu/media/1517/2-aluminium-fusion-welding_2015.pdf
- [21] KOLÁŘ, Vladislav. *Svařitelnost hliníkových slitin*. CVS ANB [online]. 23.10.2015 [cit. 2022-03-30]. Dostupné z: <http://www.cws-anb.cz/t.py?t=2&i=502>
- [22] KOU, Sindo. *Welding metallurgy*. 2nd ed. Hoboken, N. J: Wiley-Interscience, c2003, xiv, 461 s. ISBN 0471434027

- [23] KAH, Paul a Raimo SUORANTA. Process possibility of welding thin aluminium alloys [online]. International Journal of Mechanical and Materials Engineering, 2013 [cit. 2022-03-30]. Dostupné z: https://www.researchgate.net/publication/272173688_Process_possibility_of_welding_thin_aluminium_alloys.
- [24] TOTTEN, George E. a D. Scott MACKENZIE. Handbook of aluminum. Boca Raton: CRC Press, 2003. ISBN 0-8247-0494-0.
- [25] KALENDA, Mutombo a Madeleine DU TOIT. Corrosion Fatigue Behaviour of Aluminium 5083-H111 Welded Using Gas Metal Arc Welding Method [online]. 2011 [cit. 2022-03-30]. Dostupné z: doi:10.5772/25991
- [26] *Technologie svařování a zařízení: učební texty pro kurzy svářečských inženýrů a technologů*. Ostrava: ZEROSS, 2001. Svařování. ISBN 8085771810.
- [27] JEFFUS, Larry F. Welding: principles and applications. Eighth edition. Boston, MA: Cengage Learning, [2017]. ISBN:978-1-3054-9469-5.
- [28] GUPTA, Yatender, Amit TANWAR a Raunak GUPTA. Investigation of Microstructure and Mechanical Properties of TIG and MIG Welding Using Aluminium Alloy. IOSR Journal of Mechanical and Civil Engineering. 2016. ISSN 2278-1684. Dostupné z: doi:DOI: 10.9790/1684-130508121126
- [29] BARTÁK, Jiří, Václav PILOUS a Rudolf KOVAŘÍK. *Učební texty pro evropské svářečské specialisty, praktiky a inspektory*. Ostrava: ZEROSS, 2002. Svařování. ISBN 8085771977.
- [30] KAH, Paul. Automation of Aluminum Alloy Welding. International Review of Mechanical Engineering (I.R.E.M.E.). 2014. ISSN 1970 - 8734.
- [31] SINGH, Ramesh. *Arc Welding Processes Handbook*. 1. 111 River Street, Hoboken, NJ 07030, USA: Wiley Global Headquarters, 2021. ISBN 978-1-119-81906-6.
- [32] BOWDITCH, William A., Kevin E. BOWDITCH a Mark A BOWDITCH. *Modern Welding*. 12. USA: The Goodheart-Willcox Company, 2020. ISBN 978-1-63563-686-4.
- [33] Vlastní archiv

- [34] ČSN EN ISO 10042: *Svařování - Svarové spoje hliníku a jeho slitin zhotovené obloukovým svařováním - Určování stupňů jakosti*. Český normalizační institut, 2006, 28 s. 050111.
- [35] MUSIL, Miloslav a Jaromír MORAVEC. *Výroba a aplikované inženýrství ve svařování: výukové materiály pro kurzy Mezinárodní svářečský inženýr IWE, Mezinárodní svářečský technolog IWT*. Česká Třebová: DOM - ZO 13, 2017. ISBN 978-80-906720-0-0.
- [36] BUNAZIV, IVAN, Odd M. AKSELSSEN, Ren REN a Bård NYHUS. Laser Beam and Laser-Arc Hybrid Welding of Aluminium Alloys [online]. SINTEF Industry, P.O. Box 4760 Torgarden, NO-7465 Trondheim, Norway [cit. 2022-05-09]. Dostupné z: doi:<https://doi.org/10.3390/met11081150>
- [37] ČSN EN 1011-4: *Svařování - Doporučení pro svařování kovových materiálů - Část 4: Obloukové svařování hliníku a slitin hliníku*. Český normalizační institut, 2002, 28 s. 05 2210.
- [38] HÁJEK, Jaroslav. Hliník a možnosti jeho svařování. *Konstrukce* [online]. 2014 [cit.2022-05-05].ISSN1803-8433.Dostupné z: <http://old.konstrukce.cz/clanek/hlinik-a-moznosti-jeho-svarovani/>
- [39] ČSN EN 1011-1. *Svařování - Doporučení pro svařování kovových materiálů - Část 1: Všeobecná směrnice pro obloukové svařování*. Praha: Český normalizační institut, 2002, 56s. Třídící znak 05 2210

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

α	Homogenní tuhý roztok hliníku
ω	Přísadový prvek
A	Označení hliníku
A	Tažnost [%]
A	Ampér
AC	Slitina na odlitky
AC	Střídavý proud [A]
AW	Hliníková slitina ke tváření
ATSM	Americká společnost pro zkoušení a materiály
A.mm ⁻²	Proudová hustota
a3	Rozměr koutového svaru (výška pomyslného trojúhelníku)
C _{TIG}	Průměrný výkon odtavení metody TIG
CL3	Certifikační úroveň výrobce podle EN 15085
CP D	Třída provedení svaru podle EN 15085
C _{plyn}	Cena ochranného plynu
CEN	Evropský výbor pro normalizaci
ČSN	Česká technická norma
DC-	Přímá polarita
DC+	Nepřímá polarita
E	Eutektický bod
EN	Evropská norma
F	Tepelně nezpracovaný stav– z výroby
G _{MIG}	Průměrný výkon odtavení metody MIG
H	Označení stavu po deformačním zpevnění

TNI	Technické normalizační dokumenty informativního charakteru
t	Tavenina
T _E	Eutektická teplota
R _m	Mez pevnosti [MPa]
R _{p02}	Smluvní mez kluzu [MPa]
μm	Mikrometr
mm	Milimetr
MIG	Metoda svařování tavící se elektrodou v ochranné atmosféře inertního plynu.
TIG	Metoda svařování tavící se elektrodou v ochraně inertního plynu.
eV	Elektrovolt
Hz	Frekvence
V	Volt
WPQR	Záznam kvalifikace postupu svařování
FW	Označení koutového svaru
BW	Označení tupého svaru
PTFE	Polytetrafluorethylen (teflon)
3 II	Rozměr tupého svaru
s 3 II	Rozměr tupého svaru (požadovaná hloubka závaru)
v	Rychlost [mm/s]
t	Čas [s]
K	Koeficient účinnosti metody
Q _{min}	Nejmenší hodnota vneseného tepla na základě měření a výpočtu [kJ/mm]
Q _{max}	Největší hodnota vneseného tepla na základě měření a výpočtu [kJ/mm]
Q	Teplo vnesené do svaru [kJ/mm]
n	Počet hodnot
lx	Jednotka intenzity osvětlení

P240	Zrnitost
S_z	Plocha závaru [mm^2]
S_n	Plocha návaru [mm^2]
G_{tav}	Výkon odtavení [kg/h]
m_{celk}	Celková hmotnost [g]
t_{svar}	Čas svařování [s]
N_1	Režijní a mzdové náklady
N_2	Náklady na přídavný materiál
N_3	Náklady na ochranný plyn
S_{sv}	Hodinová sazba svářeče
$t_{\text{využ}}$	Časové využití fondu pracovní doby
C_{sv1}	Cena přídavného materiálu
V_{sv1}	Využití přídavného materiálu
Q_{plyn}	Průtok ochranného plynu [L/h]
W	Označení stavu po rozpouštěcím žihání.
z3	Rozměr koutového svaru (základna)
Z	Zředění [%]

SEZNAM OBRÁZKŮ

<i>Obrázek 1: Obecný rovnovážný diagram binárních slitin hliníku. [5]</i>	13
<i>Obrázek 2 Rozdělení slitin hliníku do skupin podle chemického složení. [6]</i>	15
<i>Obrázek 3: Příklad úplného označení tvářené slitiny s popisem [2]</i>	17
<i>Obrázek 4: Schéma zpracování hliníkových slitin [10]</i>	20
<i>Obrázek 5: vliv deformačního zpevnění na vlastnosti slitiny [12]</i>	22
<i>Obrázek 6: Závislost pevnosti v tahu a tažnosti na teplotě se setrváním 5 minut na každé žíhací teplotě. [9]</i>	22
<i>Obrázek 7: Diagram vytvrzování [2]</i>	23
<i>Obrázek 8: Příklad vytvrzovacích křivek slitiny AW2024 [11]</i>	24
<i>Obrázek 9: Porovnání pevnostních vlastností slitin skupiny 5XXX a skupiny 1XXX.[9]</i>	26
<i>Obrázek 10: Rozpustnost vodíku ve hliníku v závislosti na teplotě [20]</i>	32
<i>Obrázek 11: Pokles pevnosti po svařování a) nevytvrditelná slitina AlMg4,5Mn b) vytvrditelná slitina AlMgSi[21]</i>	33
<i>Obrázek 12: a) Solidifikační trhлина ve svaru slitiny řady 6XXX, b) likvační trhлина v zóně částečného natavení slitiny s obsahem 4,5 % Cu [22]</i>	34
<i>Obrázek 13: Diagramy vlivu obsahu přísadových prvků a náchylnosti ke vzniku horkých trhlín [19]</i>	35
<i>Obrázek 14: Vliv přípravy svarových ploch na zředění a chemické složení svarového kovu. [13]</i>	36
<i>Obrázek 15: Vybrané typy deformací a jejich kombinace [23]</i>	37
<i>Obrázek 16: Princip metody MIG [27]</i>	39
<i>Obrázek 17: Druhy přenosů kovu v oblouku [26]</i>	40
<i>Obrázek 18: Schéma impulsního cyklu [27]</i>	41
<i>Obrázek 19: Plochá statická charakteristika zdroje s „konstantním napětím“ [29]</i>	42
<i>Obrázek 20: Základní systémy podávání drátových elektrod z hliníkových slitin [12]</i>	44
<i>Obrázek 21: Hořák systému „Spool-gun“ [31]</i>	45
<i>Obrázek 22: Schéma zařízení pro svařování metodou TIG [27]</i>	45
<i>Obrázek 23: Rozložení tepla v závislosti na polaritě [27]</i>	46
<i>Obrázek 24: Znázornění hypotéz čistícího účinku elektrického oblouku [2]</i>	47
<i>Obrázek 25: Průběh střídavého proudu [27]</i>	48
<i>Obrázek 26: Vliv frekvence na tvar svarové housenky [31]</i>	49
<i>Obrázek 27: Příklad barevného označování netavicích se elektrod [32]</i>	50
<i>Obrázek 28: Kalota vytvořená na elektrodě [32]</i>	51
<i>Obrázek 29: Výrobek upevněný na sestavě čela</i>	54
<i>Obrázek 30: Model výrobku</i>	54

<i>Obrázek 31: Citlivost ke vzniku horkých trhlin základního a zvoleného přídavného materiálu [16;33].....</i>	<i>56</i>
<i>Obrázek 32: Svařovací zdroj Fronius TPS 2700</i>	<i>59</i>
<i>Obrázek 33: Svařovací zdroj Fronius Magic Wave 2200.....</i>	<i>59</i>
<i>Obrázek 34: Oxidická rýha vzniklá v důsledku malého převýšení kořene svaru.....</i>	<i>61</i>
<i>Obrázek 35: Zkušební vzorky svařené metodou TIG</i>	<i>63</i>
<i>Obrázek 36: Luxmetr, měrka tupých svarů a měrka koutových svarů použité při vizuální kontrole</i>	<i>65</i>
<i>Obrázek 37: Vyznačené místo pro odběr vzorku na zkušebním kusu</i>	<i>66</i>
<i>Obrázek 38: Snímky makrostruktury vzorků a) metoda MIG b) metoda TIG</i>	<i>66</i>
<i>Obrázek 39 Tupý svar zhotovený metodou MIG při kontrole makrostruktury</i>	<i>67</i>
<i>Obrázek 40: Tupý svar zhotovený metodou TIG při kontrole makrostruktury</i>	<i>68</i>
<i>Obrázek 41: Diagram citlivosti ke vzniku horkých trhlin s vyznačeným zředěním svarových spojů. [16;33].....</i>	<i>69</i>
<i>Obrázek 42: Měření plochy návaru</i>	<i>71</i>
<i>Obrázek 43: Dělení materiálu vodním paprskem</i>	<i>76</i>
<i>Obrázek 44: Připravená svarová plocha</i>	<i>77</i>
<i>Obrázek 45: Ohýbání na ohraňovacím lisu</i>	<i>77</i>
<i>Obrázek 46: Díl podsestavy připravený ke svařování</i>	<i>78</i>
<i>Obrázek 47: a) Příprava rohového spoje, b) příprava tupého spoje c) rohový svar</i>	<i>79</i>
<i>Obrázek 48: Předepnutí při svařování výztuh dílu podsestavy</i>	<i>80</i>
<i>Obrázek 49: Líc a kořen tupého svaru.....</i>	<i>81</i>
<i>Obrázek 50: Stehové spoje s naznačeným rozmístěním rohových svarů</i>	<i>81</i>
<i>Obrázek 51: Vydrážkovaný kořen rohového spoje</i>	<i>82</i>
<i>Obrázek 52: Dokončená sestava.....</i>	<i>82</i>

SEZNAM TABULEK

<i>Tabulka 1: Vybrané vlastnosti čistého hliníku a jejich hodnoty. [2]</i>	<i>12</i>
<i>Tabulka 2: Mezinárodní číselný systém označování slitin hliníku [7].....</i>	<i>16</i>
<i>Tabulka 4: Označování vybraných stavů slitin a podskupin tepelného zpracování [2]</i>	<i>18</i>
<i>Tabulka 4: Označování hliníkových slitin pro účely svařování [2]</i>	<i>19</i>
<i>Tabulka 6: Vlastnosti jednotlivých slitin v závislosti na jejich stavu [11].....</i>	<i>21</i>
<i>Tabulka 6: Chemické složení základního materiálu [33]</i>	<i>55</i>
<i>Tabulka 7: Mechanické vlastnosti základního materiálu [33].....</i>	<i>55</i>
<i>Tabulka 8: Chemické složení přídavných materiálů [33].....</i>	<i>56</i>
<i>Tabulka 9: Seznam svarových spojů na výrobku [33]</i>	<i>57</i>
<i>Tabulka 10: Typy svarových spojů ve výkresové dokumentaci [33].....</i>	<i>58</i>
<i>Tabulka 11: Parametry svařování jednotlivých vzorků metodou MIG [33].....</i>	<i>61</i>
<i>Tabulka 12: Hodnoty vneseného tepla svarů metody MIG [33].....</i>	<i>62</i>
<i>Tabulka 13: Parametry svařování tupého spoje metodou TIG [33].....</i>	<i>63</i>
<i>Tabulka 14: Hodnoty vneseného tepla svarů metody TIG [33]</i>	<i>64</i>
<i>Tabulka 15: Hodnoty zředění jednotlivých typů spojů [33].....</i>	<i>69</i>
<i>Tabulka 16: Hodnoty průřezu, hmotnosti a výkonu odtavení jednotlivých spojů [33].....</i>	<i>72</i>
<i>Tabulka 17: Mzdové a režijní náklady jednotlivých svarů vzhledem k jejich hmotnosti [33]</i>	<i>73</i>
<i>Tabulka 18: Celkové náklady procesu svařování jednotlivými metodami [33]</i>	<i>75</i>

SEZNAM PŘÍLOH

PŘÍLOHA P I: Výkresy sestavy výrobku a svařovaných podsestav

PŘÍLOHA P II: Technologický postup výroby se seznamem použitých zařízení, nářadí, nástrojů a měřidel.

PŘÍLOHA P III: Návodka pro svařování tupých spojů metodou MIG

PŘÍLOHA P IV: Návodka pro svařování koutových spojů metodou MIG

PŘÍLOHA P V: Návodka pro svařování rohových spojů metodou MIG

PŘÍLOHA P VI: Návodka pro svařování přeplátovaných spojů metodou MIG

PŘÍLOHA P VII: Návodka pro svařování oblých spojů metodou MIG

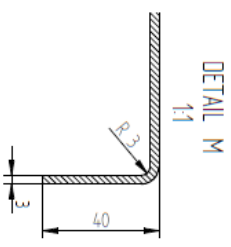
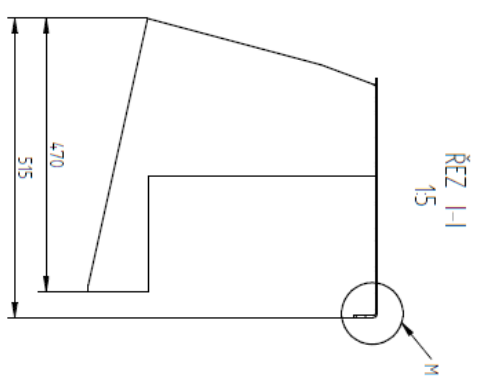
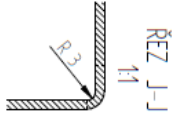
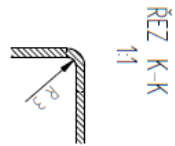
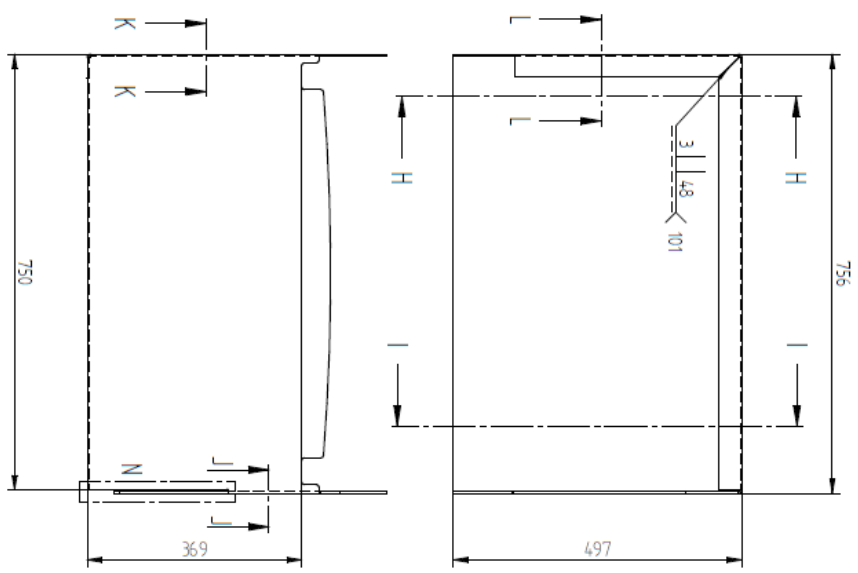
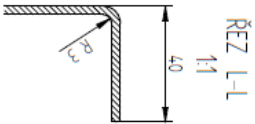
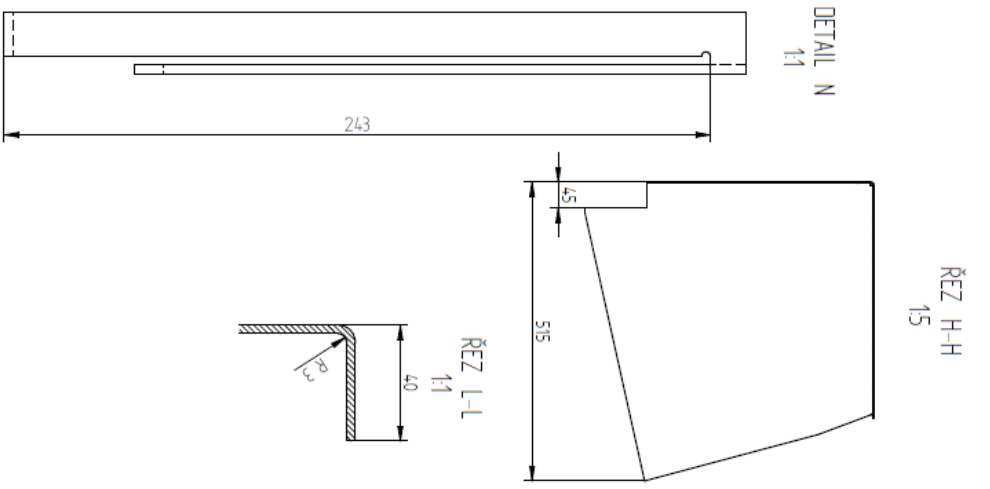
PŘÍLOHA P VIII: Návodka pro svařování tupých spojů metodou TIG

PŘÍLOHA P IX: Návodka pro svařování koutových spojů metodou TIG

PŘÍLOHA P X: Návodka pro svařování rohových spojů metodou TIG

PŘÍLOHA P XI: Návodka pro svařování přeplátovaných spojů metodou TIG

PŘÍLOHA P XII: Návodka pro svařování oblých spojů metodou TIG



- 1) Postupok svareniya dlya ČSN EN 15085 - CL 3
- 2) Třída postupeni svareni CP D, ČSN EN ISO 5817-D
- 3) Kozmurnité tvary deňimovány daf soidovena
- 4) Svar 101, zabevout lic svareni do rovtuy

PROJAV	NAVE	DATE	PLECH 1 FILE NAME: WKT80011 CODE: 115 EPC
2-01/02			
END APPR			
TYPE APPR			
DR.800.1.1			

**PŘÍLOHA P II: TECHNOLOGICKÝ POSTUP VÝROBY SE
SEZNAMEM POUŽITÝCH ZAŘÍZENÍ, NÁŘADÍ, NÁSTROJŮ A
MĚŘÍDEL.**

Název: Kryt		Číslo výkresu: DR.800.1.0			List: 1/9
Počet Ks: 1		Datum vypracování:	Vypracoval: Hrabica		
Číslo výkresu	Název	Materiál	Rozměr	Počet kusů	Hmotnost
DR.800.1.1	PLECH 1	EN AW-5754 H111	1735X548x3mm	1	5,321/ks
DR.800.1.2	PLECH SPOJOVACÍ	EN AW-5754 H111	754x145,3x3mm	1	0,887/ks
DR.800.1.3	PLECH 2	EN AW-5754 H111	635,2x393,2x3mm	1	1,729/ks
DR.800.1.4	VÝZTUHA 1	EN AW-5754 H111	749,1x27,6x3mm	1	0,178/ks
DR.800.1.5	VÝZTUHA 2	EN AW-5754 H111	359X27,6x3mm	1	0,082/ks

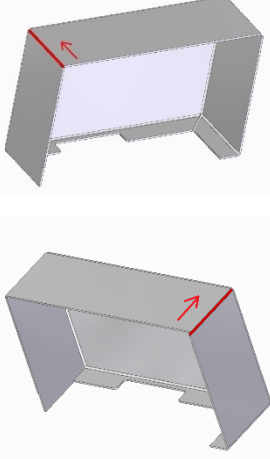
1		
Pracoviště: TPV		
Výrobní úkon: Příprava výrobní dokumentace		
	Ks	Poznámka
1. Příprava výkresové dokumentace		Rozvinuté tvary ve formátu DXF.
2. Příprava rozvinutých tvarů		
3. Příprava evidenční dávky	1	

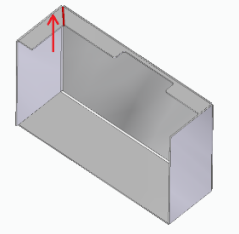
2		Výrobní úkon: Příprava programu a dělení materiálu		
		Pracoviště: Vodní paprsek		
		Podstava	Ks	Poznámka
		DR.800.1.1	1	Zajistit proti přímému kontaktu s roštem stroje použitím vhodné podložky (např. kartonplast). Po dokončení vysušení stlačeným vzduchem. Kontrola rozměrů. Dále dělení 10ks plechů 30x40x3mm z odpadního materiálu: EN AW-5754H111 pro náběhové desky. Mezioperační skladování při teplotě 15 °C a vyšší. Relativní vlhkost do 60 %.
		DR.800.1.2	1	
		DR.800.1.3	1	
		DR.800.1.4	1	
DR.800.1.5	1			
		Stroj, Náradí (nástroj)	Přípravek	Měřidla
		A		1; 2

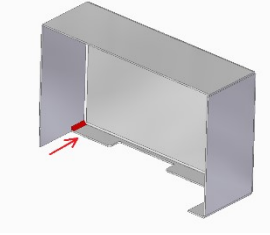
3			Výrobní úkon: Příprava svarových čistění			
			Pracoviště: Oddělené pracoviště, austenitické materiály			
			Podsestava	Ks	Poznámka	
			DR.800.1.1	1	Krok provést neprodleně před ohýbáním. Okartáčovat oxid do vzdálenosti 30mm místa vyznačená na schématu, použít nářadí 3e. Přesné rozměry umístění dílů a svarových ploch dle výkresové dokumentace. Příprava svarových ploch, dle návodek pro dané typy spojů. Zarovnání podřezů nářadí 1a, začistění 4, sražení hran 5.	
			DR.800.1.2	1		
			DR.800.1.3	1		
			DR.800.1.4	1		
DR.800.1.5	1					
Stroj, Nářadí (nástroj)		Přípravek	Měřidla			
1 a; 3 e; 4; 5			1; 2			

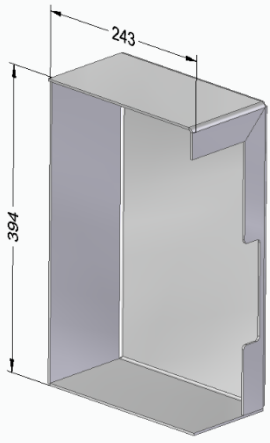
4			Výrobní úkon: Ohýbání		
Pracoviště: Mechanická dílna					
Podsestava	ks	Poznámka			
DR.800.1.1	1	Ohyb dle příslušných programů vytvořených na základě výkresové dokumentace. Maximální možná prodleva 3 hod mezi operacemi 3-5.			
DR.800.1.2	1				
DR.800.1.3	1				
DR.800.1.4	1				
DR.800.1.5	1				
Stroj, Nářadí (nástroj)		Přípravek		Měřidla	
B; g; h				1; 2; 3; 4	

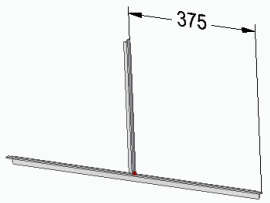
5			Výrobní úkon: Stehování součásti					
			Pracoviště: Oddělené pracoviště, austenitické materiály					
			Podsestava	Ks	Poznámka			
			DR.800.1.3	1	Krok provést neprodleně po ohýbání. Důkladné odmaštění celé součásti acetonem. Provedení stehových svarů, umístění v oblasti svarů 101, 102, 103, 104. Maximální vzdálenost mezi jednotlivými stehovými svary 40 mm, úprava převýšení, kartáčování. Kontrola rozměrů.			
			Návodka svařování	Stroj, Nářadí (nástroj)	Přípravek	Měřidla		
			W094	C; 2c; 3e; 3f	1	4; 6		

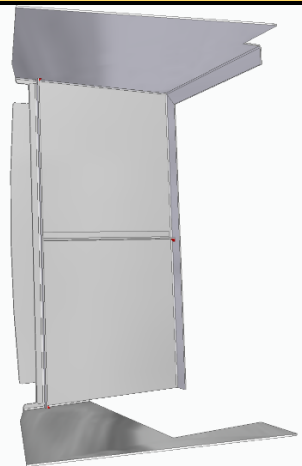
6		Výrobní úkon: 101;102- rohové svary			
		Pracoviště: Oddělené pracoviště, austenitické materiály			
		Podsestava	Ks	Poznámka	
		DR.800.1.3	1	Směr svařování vyznačený na schématu. Použití náběhových desek na začátku svaru. Upnout přípravek č.2 svěrkami, podložení svěrek Al plechem v místech styku s povrchem součásti.	
Návodka svařování		Stroj, Nářadí (nástroj)		Přípravek	Měřidla
W096		C; 2c; 3e; 3f; 8		1; 2	5

7		Výrobní úkon: 104- tupý svar			
		Pracoviště: Oddělené pracoviště, austenitické materiály			
		Podsestava	Ks	Poznámka	
		DR.800.1.3	1	Směr svařování vyznačený na schématu. Použití náběhových desek na začátku svaru. Upnout přípravek č.3 svěrkami, podložení svěrek Al plechem v místech styku s povrchem součásti.	
Návodka svařování		Stroj, Nářadí (nástroj)		Přípravek	Měřidla
W093		C; 8		1; 2	5

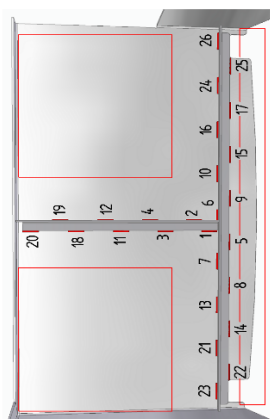
8		Výrobní úkon: Koutový svar 103			
		Pracoviště: Oddělené pracoviště, austenitické materiály			
		Podsestava	Ks	Poznámka	
		DR.800.1.3	1	Směr svařování vyznačený na schématu. Použití náběhové desky na začátku svaru.	
Návodka svařování		Stroj, Nářadí (nástroj)		Přípravek	Měřidla
W094		C		1	5

9	Výrobní úkon: Úprava, kontrola dílu podsestavy			
	Pracoviště: Oddělené pracoviště, austenitické materiály			
	Podsestava	Ks	Poznámka	
	DR.800.1.3	1	Odstranění náběhových desek, mezioperační kontrola svarů dle výkresové dokumentace, očištění rozstříku, kartáčování. 101,102- brousit R2 104- brousit líc	
	Návodka svařování	Stroj, Nářadí (nástroj)	Přípravek	Měřidla
	W094	1b; 1d; 6; 2c; 3e; 3f		4; 6; 8; 9

10	Výrobní úkon: Koutový svar 105			
	Pracoviště: Oddělené pracoviště, austenitické materiály			
	Podsestava	Ks	Poznámka	
	DR.800.1.4	1	Odmaštění dílů acetonem, upnutí pomocí upínek stavebnicového systému 1.	
	DR.800.1.5	1		
	Návodka svařování	Stroj, Nářadí (nástroj)	Přípravek	Měřidla
	W094	C	1	4; 6

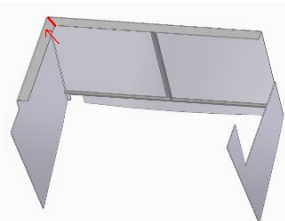
11	Výrobní úkon: Svar 103, 104, 106, stehování 117, 118, 119, 120			
	Pracoviště: Oddělené pracoviště, austenitické materiály			
	Podsestava	Ks	Poznámka	
	DR.800.1.4	1	Odmaštění dílů acetonem, upnutí pomocí upínek stavebnicového systému 1. Zhotovit svary 103, 104, 106. Naznačení rozmístění svarů 117, 118, 119, 120 stehové svary uprostřed oblastí svarů, úprava stehů, kartáčování, kontrola rozměrů.	
	DR.800.1.5	1		
	DR.800.1.1	1		
	Návodka svařování	Stroj, Nářadí (nástroj)	Přípravek	Měřidla
W094	C; 2c; 6, 3e; 3f	1	4; 6	

12

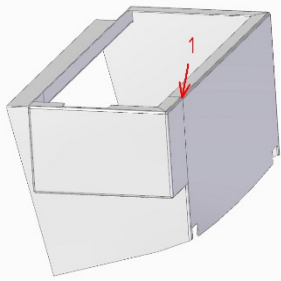
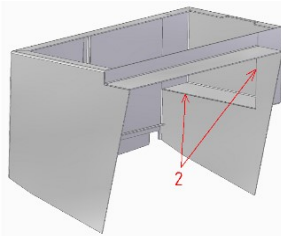
Výrobní úkon: **Svar 117, 118, 119, 120**Pracoviště: **Oddělené pracoviště, austenitické materiály**

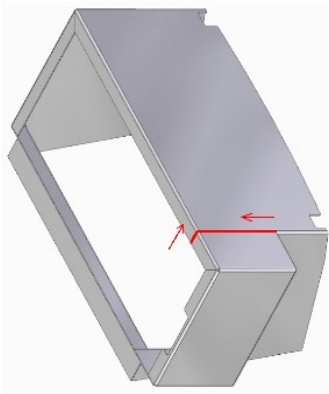
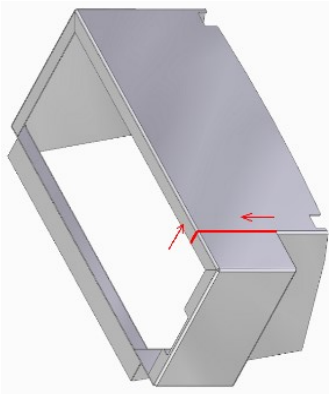
Podsestava	Ks	Poznámka	
DR.800.1.4	1	Podložení na opačné straně svařovaného plechu. předepnutí pomocí přílozek a upínek stavebnicového systému 1, v místech vyznačených na schématu. Svařovat v pořadí vyznačeném na schématu. Použití zvýšeného startovacího proudu (135 %). Upínky odstranit po vychladnutí. Vyrovnání případných deformací, kontrola rozměrů, čištění a kartáčování svarů.	
DR.800.1.5	1		
DR.800.1.1	1		
Návodka svařování	Stroj, Nářadí (nástroj)	Přípravek	Měřidla
W095; W097	C; 2c; 6, 3e; 3f; 7	1; 6; 7; 8; 9	1;4

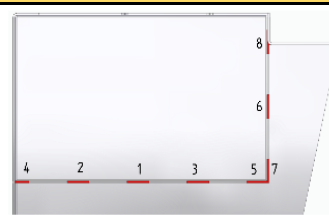
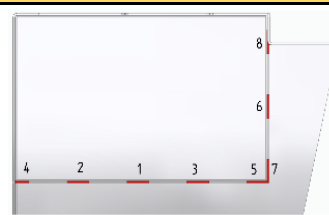
13

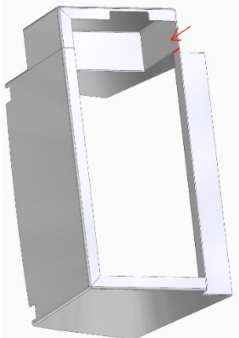
Výrobní úkon: **Tupý svar 101**Pracoviště: **Oddělené pracoviště, austenitické materiály**

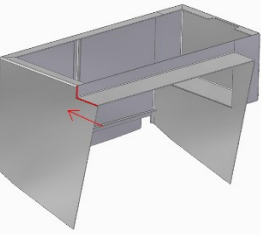
Podsestava	Ks	Poznámka	
DR.800.1.4	1	Stehování, kontrola rozměrů, úprava, kartáčování stehových svarů. Směr svařování vyznačený na schématu. Použití náběhových desek na začátku svaru. Upnout přípravek č.3 svěrkami, podložení svěrek Al plechem v místech styku s povrchem součástí.	
DR.800.1.5	1		
DR.800.1.1	1		
Návodka svařování	Stroj, Nářadí (nástroj)	Přípravek	Měřidla
W093	C; 8c; 2c; 3e; 3f	1; 3	5; 6

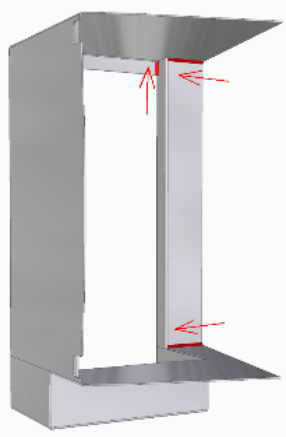
14		Výrobní úkon: Sestehování sestavy			
		Pracoviště: Oddělené pracoviště, austenitické materiály			
		Podsestava	Ks	Poznámka	
		DR.800.1.1	1	Odmaštění všech dílů acetonem. Stehování všech dílů sestavy, maximální vzdálenost stehových svarů 40 mm s výjimkou přerušovaných svarů, umístění stehů v oblasti svarů 101,111,112,113,115,116. Pozice 1 na schématu, svar s plným závarem o délce 10 mm, příprava oboustranného napojení. Pozice 2, přenést rozmístění svarů dle výkresové dokumentace, stehovat uprostřed. Kontrola všech rozměrů.	
		DR.800.1.2	1		
		DR.800.1.3	1		
		DR.800.1.4	1		
		DR.800.1.5	1		
Návodka svařování		Stroj, Nářadí (nástroj)	Přípravek	Měřidla	
W094		C; 2c; 3e; 3f	1;	1; 4; 6	

15		Výrobní úkon: Svar 112			
		Pracoviště: Oddělené pracoviště, austenitické materiály			
		Sestava	Ks	Poznámka	
		DR.800.1.0	1	Upevnění přípravků 4 a 5 svěrkami. Směr svařování dle schématu, na začátku svarů použití náběhových desek.	
		Návodka svařování	Stroj, Nářadí (nástroj)	Přípravek	Měřidla
		W093	C; 8; 9; 2c; 3e; 3f	4;5	5

16		Výrobní úkon: Svar 116			
		Pracoviště: Oddělené pracoviště, austenitické materiály			
		Sestava	Ks	Poznámka	
		DR.800.1.0	1	Upevnění přípravku 2 svěrkami. Pořadí svařování dle schématu.	
		Návodka svařování	Stroj, Nářadí (nástroj)	Přípravek	Měřidla
		W096	C; 9	1; 2	5

17		Výrobní úkon: Svar 102			
	Pracoviště: Oddělené pracoviště, austenitické materiály				
	Sestava	Ks	Poznámka		
	DR.800.1.0	1	Směr svařování podle schématu, použití náběhové desky na začátku svaru. Kartáčovat rohový spoj na konci svaru.		
	Návodka svařování	Stroj, Nářadí (nástroj)	Přípravek	Měřidla	
	W093	C; 8; 3e	1; 4	5	

18		Výrobní úkon: Svar 115			
	Pracoviště: Oddělené pracoviště, austenitické materiály				
	Sestava	Ks	Poznámka		
	DR.800.1.0	1	Směr svařování podle schématu, použití náběhové desky na začátku svaru.		
	Návodka svařování	Stroj, Nářadí (nástroj)	Přípravek	Měřidla	
	W096	C; 8	1; 2	5	

19		Výrobní úkon: Svar 111, 113, 120			
	Pracoviště: Oddělené pracoviště, austenitické materiály				
	Sestava	Ks	Poznámka		
	DR.800.1.0	1	Směr svařování podle schématu, použit náběhové desky na začátku svaru. Svar 117- drážkovat kořen rohového spoje, kartáčovat svarové plochy. Čistit, kartáčovat před svařováním předchozí svary na konci.		
	Návodka svařování	Stroj, Nářadí (nástroj)	Přípravek	Měřidla	
W094	C; 1 a; 3e	1	5		

		List	8/9
20			
Výrobní úkon: Broušení čistění			
Pracoviště: Oddělené pracoviště, austenitické materiály			
Sestava	Ks	Poznámka	
DR.800.1.0	1	Odstranění náběhových desek, očištění svarů, rovnání případných deformací, zabroušení svarů předepsaných výkresovou dokumentací: 102- brousit kořen, 112- brousit líc, 101- brousit líc 115- brousit R2	
Návodka svařování	Stroj, Nářadí (nástroj)	Přípravek	Měřidla
	1a; 1d; 1b; 3e; 3f; 7; 6		1; 6

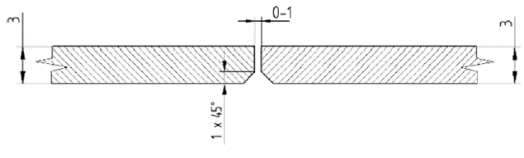
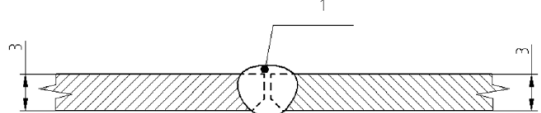
21			
Výrobní úkon: Kontrola rozměrů, vizuální kontrola svarů			
Pracoviště: Pracoviště technické kontroly			
Sestava	Ks	Poznámka	
DR.800.1.0	1	VT 100% Metodika dle: ČSN EN ISO 17637 Kvalifikace: ČSN EN ISO 10042, stupeň jakosti D Kontrola všech rozměrů.	
Návodka svařování	Stroj, Nářadí (nástroj)	Přípravek	Měřidla
			1;2;4;5;6;7;8;9

Seznam zařízení, nářadí, přípravků a měřidel

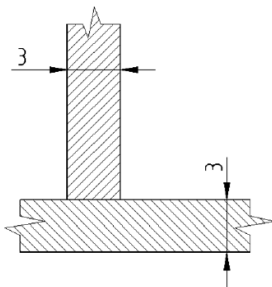
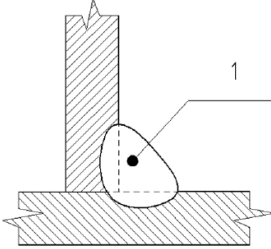
Zařízení, stroj	Označení
Vodní paprsek-PTV WJ 2Z	A
Ohraňovací lis-HACO ERMS 30135	B
Svářečka Fronius TPS 2700	C
Nářadí	
Elektrická úhlová bruska	1
Elektrická přímá bruska	2
Elektrická vrtačka	3
Pilník plochý, 200 mm	4

	List	9/9
Ruční odjehlovač NG1005		5
Sekáč plochý 150 mm		6
Palice gumová		7
Samosvorné kleště typu C, 285 mm-2Ks		8
Svěrka rychloupínací páková 250x100 mm-2Ks		9
Nástroje		
Brusný kotouč ø115x8 mm, určený pro hliník		a
Řezný kotouč ø115x1,2 mm, hliník		b
Stopková fréza, karbid Z5409 9,5 x 27 x 6/44		c
Lamelový kotouč ø115mm P80		d
Kartáč stopkový okružní ø75mm; 0,30 mm-Nerez		e
Kartáč stopkový ø 12 mm; 0,30mm-Nerez		f
Horní nástroj ohraňovací lis R3 SH 1001-3		g
Spodní nástroj ohraňovací lis V35 SD 2045-35		h
Měřidla		
Svinovací metr-2 m		1
Posuvné měřidlo 150 mm		2
Univerzální úhломěr s noniem, rozlišení-5'		3
Ocelové měřítko-600 mm		4
Ocelové měřítko 300 mm		5
Zámečnický úhelník-plochý 400/250 mm		6
Luxmetr LX-103		7
Měrka koutových svarů DBP		8
Posuvná měrka tupých a koutových svarů 0-20 mm		9
Přípravky		
Svařovací stavebnicový systém Siegmunt 16		1
Podložka, rohové svary		2
Podložka, tupé svary „rohová“, drážka: b=11 mm, h=4 mm, l=50 mm materiál EN 1.4301, t=8 mm		3
Podložka tupé svary krátká, drážka: b=11 mm, h=4 mm, l= 60mm materiál EN 1.4301, t=8 mm		4
Podložka tupé svary dlouhá, drážka: b=11 mm, h=4 mm, l= 230mm materiál EN 1.4301, t=8 mm		5
Podložka pro přepnutí, 740x30x2mm materiál EN 1.4301		6
Podložka pro přepnutí, 330x30x2mm materiál EN 1.4301		7
Příložka 330x150x8mm materiál EN 1.4301		8
Příložka 350x150x8mm materiál EN 1.4301		9
Příložka 350x150x8mm s úkosem 60° materiál EN 1.4301 2Ks		10

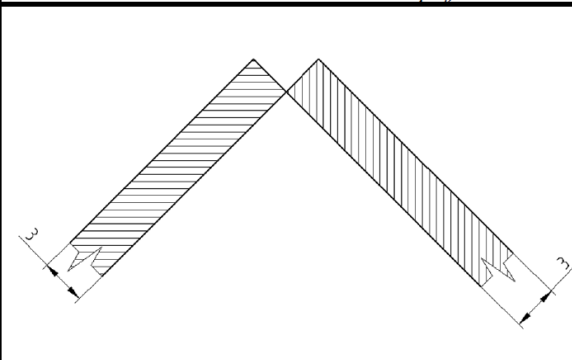
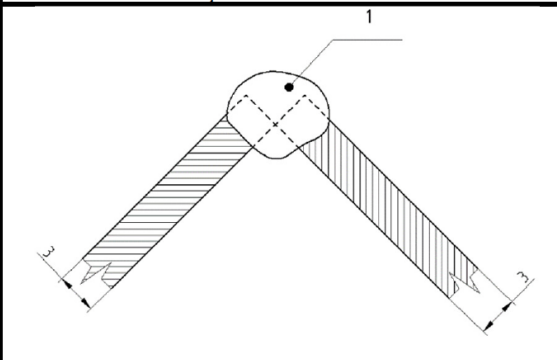
PŘÍLOHA P III: NÁVODKA PRO SVAŘOVÁNÍ TUPÝCH SPOJŮ METODOU MIG

Svařovací návodka								
<i>Číslo návodky:</i> W093								
<i>Metoda svařování:</i> 131				<i>Základní materiál:</i> ČSN EN 573-1: ENAW5754H111 ; TNI CEN ISO/TR 15608: sk.22.3 <i>Číslo tavby:</i> H21EHS804016				
<i>Typ spoje:</i> BW II 3				<i>Vnější průměr (mm):</i>				
<i>Údaje o přípravě svarových ploch:</i>				<i>Svařovaná tloušťka (mm):</i> 3mm				
Obrousit, očistit pilníkem a ocelovým kartáčem (nerez), do vzdálenosti 30mm, odmastit acetonem, po svaření očistit ocelovým kartáčem				<i>Velikost koutového spoje:</i>				
				<i>Poloha svařování – EN ISO 6947:</i> PA				
<i>Tvar a rozměr svarového spoje</i>				<i>Postup kladení housenek</i>				
								
<i>Parametry svařování</i>								
<i>Svař. vrstva</i>	<i>Metoda svařování</i>	<i>Průměr příd. mat</i>	<i>Svařovací Proud (A)</i>	<i>Napětí (V)</i>	<i>Druh proudu</i>	<i>Polarita</i>	<i>Vnesené teplo (kJ/mm)</i>	<i>Rychlost svař. (mm/s)</i>
1	131-P	1,2	70-79	17,2-18,1	DC	+	0,28	3,84
<i>Přídavný materiál:</i> EN ISO 18273 -S-AL5356; AWS A 5.10 ER5356								
<i>Předpis sušení:</i> -								
<i>Ochranný plyn</i>			<i>Druh:</i> I1, Ar-4.6 dle EN ISO 14175			<i>Průtok (l/min):</i> 15		
<i>Ochrana kořene</i>			<i>Druh:</i> -			<i>Průtok (l/min):</i>		
<i>Wolframová elektroda:</i> -						<i>Rozkvyv:</i> -		
<i>Teplota předehřevu:</i> -								
<i>Interpass (max):</i> -								
<i>Tepelné zpracování po svaření:</i> -								
<i>Poznámky:</i>								
<i>Vystavil: Jméno, datum, podpis:</i>								

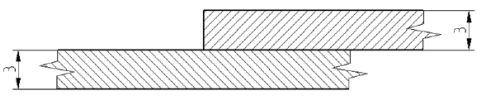
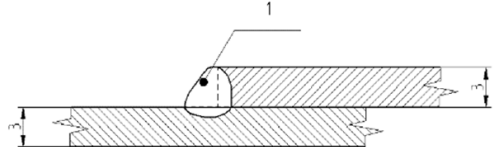
PŘÍLOHA P IV: NÁVODKA PRO SVAŘOVÁNÍ KOUTOVÝCH SPOJŮ METODOU MIG

Svařovací návodka								
Číslo návodky: W094								
Metoda svařování: 131				Základní materiál: ČSN EN 573-1: ENAW5754H111 ; TNI CEN ISO/TR 15608: sk.22.3 Číslo tavby: H21EHS804016				
Typ spoje: FW				Vnější průměr (mm):				
Údaje o přípravě svarových ploch:				Svařovaná tloušťka (mm): 3mm				
Obrousit, očistit pilníkem a ocelovým kartáčem (nerez), do vzdálenosti 30mm, odmastit acetonem, po svaření očistit ocelovým kartáčem				Velikost koutového spoje: a3				
				Poloha svařování – EN ISO 6947: PB				
Tvar a rozměr svarového spoje				Postup kladení housenek				
								
Parametry svařování								
Svař. vrstva	Metoda svařování	Průměr příd. mat	Svařovací Proud (A)	Napětí (V)	Druh proudu	Polarita	Vnesené teplo (kJ/mm)	Rychlost svař. (mm/s)
1	131-P	1,2	93-107	16,1-17,2	DC	+	0,26	5,17
Přídavný materiál: EN ISO 18273 -S-AL5356; AWS A 5.10 ER5356								
Předpis sušení: -								
Ochranný plyn			Druh: Il, Ar-4.6 dle EN ISO 14175			Průtok (l/min): 15		
Ochrana kořene			Druh: -			Průtok (l/min):		
Wolframová elektroda: -						Rozkyv: -		
Teplota předehřevu: -								
Interpass (max): -								
Tepelné zpracování po svaření: -								
Poznámky:								
Vystavil: Jméno, datum, podpis:								

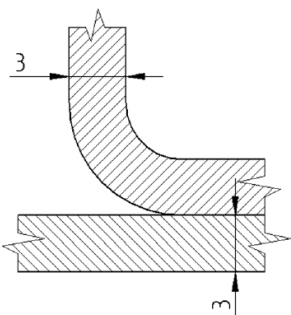
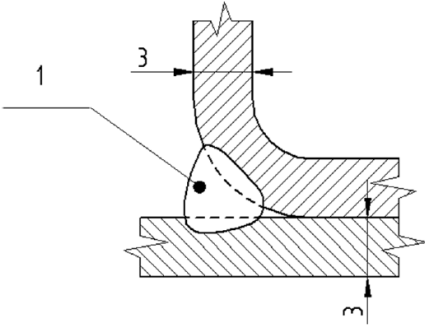
PŘÍLOHA P V: NÁVODKA PRO SVAŘOVÁNÍ ROHOVÝCH SPOJŮ METODOU MIG

Svařovací návodka								
Číslo návodky: W096								
Metoda svařování: 131				Základní materiál: ČSN EN 573-1: ENAW5754H111 ; TNI CEN ISO/TR 15608: sk.22.3 Číslo tavby: H21EHS804016				
Typ spoje: FW				Vnější průměr (mm):				
Údaje o přípravě svarových ploch:				Svařovaná tloušťka (mm): 3mm				
Obrousit, očistit pilníkem a ocelovým kartáčem (nerez), do vzdálenosti 30mm, odmastit acetonem, po svaření očistit ocelovým kartáčem				Velikost koutového spoje: Z3				
				Poloha svařování – EN ISO 6947: PB				
Tvar a rozměr svarového spoje				Postup kladení housenek				
								
Parametry svařování								
Svař. vrstva	Metoda svařování	Průměr r příd. mat	Svařovací Proud (A)	Napětí (V)	Druh proudu	Polarita	Vnesené teplo (kJ/mm)	Rychlost svař. (mm/s)
1	131-P	1,2	72-79	17,4-18,6	DC	+	0,26	4,84
Přídavný materiál: EN ISO 18273 -S-AL5356; AWS A 5.10 ER5356								
Předpis sušení: -								
Ochranný plyn			Druh: II, Ar-4.6 dle EN ISO 14175			Průtok (l/min): 15		
Ochrana kořene			Druh: -			Průtok (l/min):		
Wolframová elektroda: -						Rozkvy: -		
Teplota předehřevu: -								
Interpass (max): -								
Tepelné zpracování po svaření: -								
Poznámky:								
Vystavil: Jméno, datum, podpis:								

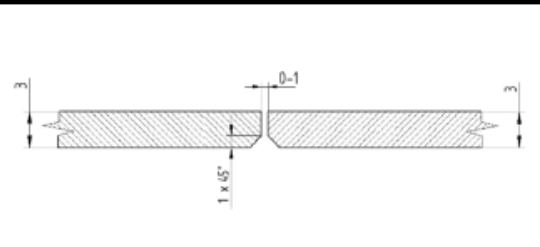
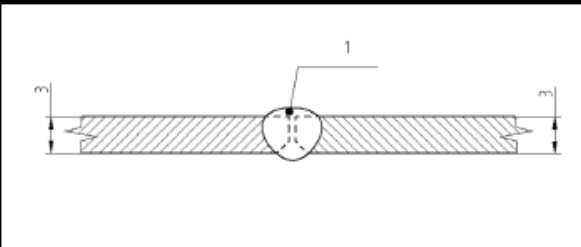
PŘÍLOHA P VI: NÁVODKA PRO SVAŘOVÁNÍ PŘEPLÁTOVANÝCH SPOJŮ METODOU MIG

Svařovací návodka								
Číslo návodky: W095								
Metoda svařování: 131				Základní materiál: ČSN EN 573-1: ENAW5754H111 ; TNI CEN ISO/TR 15608: sk.22.3 Číslo tavby: H21EHS804016				
Typ spoje: FW				Vnější průměr (mm):				
Údaje o přípravě svarových ploch:				Svařovaná tloušťka (mm): 3mm				
Obrousit, očistit pilníkem a ocelovým kartáčem (nerez), do vzdálenosti 30mm, odmastit acetonem, po svaření očistit ocelovým kartáčem				Velikost koutového spoje: Z3				
				Poloha svařování – EN ISO 6947: PA				
Tvar a rozměr svarového spoje				Postup kladení housenek				
								
Parametry svařování								
Svař. vrstva	Metoda svařování	Průměr příd. mat	Svařovací Proud (A)	Napětí (V)	Druh proudu	Polarita	Vnesené teplo (kJ/mm)	Rychlost svař. (mm/s)
1	131-P	1,2	90-94	16,8-17,5	DC	+	0,26	5,36
Přídavný materiál: EN ISO 18273 -S-AL5356; AWS A 5.10 ER5356								
Předpis sušení: -								
Ochranný plyn			Druh: I1, Ar-4.6 dle EN ISO 14175			Průtok (l/min): 15		
Ochrana kořene			Druh: -			Průtok (l/min):		
Wolframová elektroda: -						Rozkvyv: -		
Teplota předehřevu: -								
Interpass (max): -								
Tepelné zpracování po svaření: -								
Poznámky:								
Vystavil: Jméno, datum, podpis:								

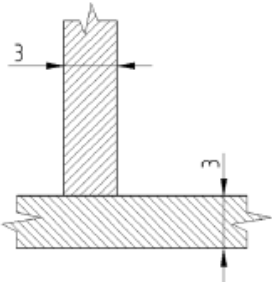
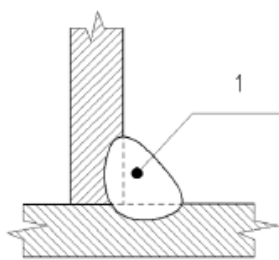
PŘÍLOHA P VII: NÁVODKA PRO SVAŘOVÁNÍ OBLÝCH SPOJŮ METODOU MIG

Svařovací návodka								
Číslo návodky: W097								
Metoda svařování: 131				Základní materiál: ČSN EN 573-1: ENAW5754H111 ; TNI CEN ISO/TR 15608: sk.22.3 Číslo tavby: H21EHS804016				
Typ spoje: BW S3				Vnější průměr (mm):				
Údaje o přípravě svarových ploch:				Svařovaná tloušťka (mm): 3mm				
Obrousit, očistit pilníkem a ocelovým kartáčem (nerez), do vzdálenosti 30mm, odmastit acetonem, po svaření očistit ocelovým kartáčem				Velikost koutového spoje:				
				Poloha svařování – EN ISO 6947: PA				
Tvar a rozměr svarového spoje				Postup kladení housenek				
								
Parametry svařování								
Svař. vrstva	Metoda svařování	Průměr příd. mat	Svařovací Proud (A)	Napětí (V)	Druh proudu	Polarita	Vnesené teplo (kJ/mm)	Rychlost svař. (mm/s)
1	131-P	1,2	92-98	16,8-17,5	DC	+	0,30	4,41
Přídavný materiál: EN ISO 18273 -S-AL5356; AWS A 5.10 ER5356								
Předpis sušení: -								
Ochranný plyn			Druh: II, Ar-4.6 dle EN ISO 14175			Průtok (l/min): 15		
Ochrana kořene			Druh: -			Průtok (l/min):		
Wolframová elektroda: -						Rozkyv: -		
Teplota předehřevu: -								
Interpass (max): -								
Tepelné zpracování po svaření: -								
Poznámky:								
Vystavil: Jméno, datum, podpis:								

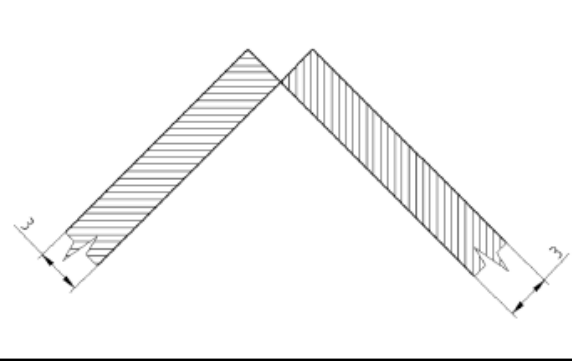
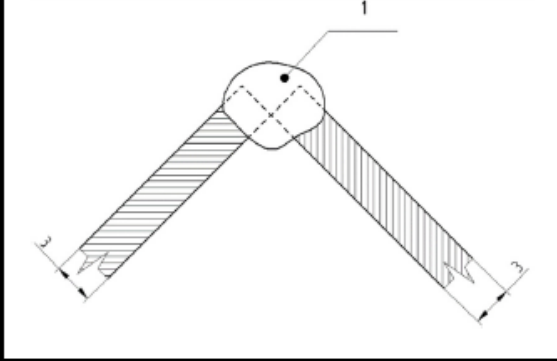
PŘÍLOHA P VIII: NÁVODKA PRO SVAŘOVÁNÍ TUPÝCH SPOJŮ METODOU TIG

Svařovací návodka								
<i>Číslo návodky:</i> W098								
<i>Metoda svařování:</i> 141				<i>Základní materiál:</i> ČSN EN 573-1: ENAW5754H111 ; TNI CEN ISO/TR 15608: sk.22.3 <i>Číslo tavby:</i> H21EHS804016				
<i>Typ spoje:</i> BW II 3				<i>Vnější průměr (mm):</i>				
<i>Údaje o přípravě svarových ploch:</i>				<i>Svařovaná tloušťka (mm):</i> 3mm				
Obrousit, očistit pilníkem a ocelovým kartáčem (nerez), do vzdálenosti 30mm, odmastit acetonem, po svaření očistit ocelovým kartáčem				<i>Velikost koutového spoje:</i>				
				<i>Poloha svařování – EN ISO 6947:</i> PA				
<i>Tvar a rozměr svarového spoje</i>				<i>Postup kladení housenek</i>				
								
<i>Parametry svařování</i>								
<i>Svař. vrstva</i>	<i>Metoda svařování</i>	<i>Průměr příd. mat</i>	<i>Svařovací Proud (A)</i>	<i>Napětí (V)</i>	<i>Druh proudu</i>	<i>F- AC (Hz)</i>	<i>Vnesené teplo (kJ/mm)</i>	<i>Rychlost svař. (mm/s)</i>
1	141	2	110	12,7-14	AC	130	0,58	1,53
<i>Přídavný materiál:</i> EN ISO 18273 -S-AL5356; AWS A 5.10 ER5356								
<i>Předpis sušení:</i> -								
<i>Ochranný plyn</i>		<i>Druh:</i> I1, Ar-4.6 dle EN ISO 14175			<i>Průtok (l/min):</i> 9			
<i>Ochrana kořene</i>		<i>Druh:</i> -			<i>Průtok (l/min):</i>			
<i>Wolframová elektroda:</i> -					<i>Rozkyv:</i> -			
<i>Teplota předehřevu:</i> -								
<i>Interpass (max):</i> -								
<i>Tepelné zpracování po svaření:</i> -								
<i>Poznámky:</i>								
<i>Vystavil: Jméno, datum, podpis:</i>								

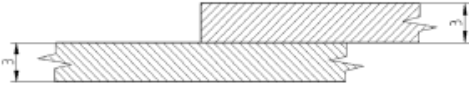
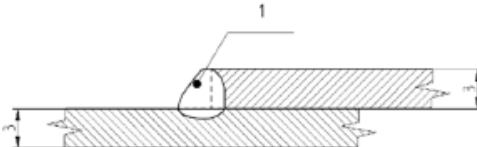
PŘÍLOHA P IX: NÁVODKA PRO SVAŘOVÁNÍ KOUTOVÝCH SPOJŮ METODOU TIG

Svařovací návodka								
Číslo návodky: W099								
Metoda svařování: 141	Základní materiál: ČSN EN 573-1: ENAW5754H111 ; TNI CEN ISO/TR 15608: sk.22.3 Číslo tavby: H21EHS804016							
Typ spoje: FW	Vnější průměr (mm):							
Údaje o přípravě svarových ploch:	Svařovaná tloušťka (mm): 3mm							
Obrousit, očistit pilníkem a ocelovým kartáčem (nerez), do vzdálenosti 30mm, odmastit acetonem, po svaření očistit ocelovým kartáčem	Velikost koutového spoje: a3							
	Poloha svařování – EN ISO 6947: PB							
<i>Tvar a rozměr svarového spoje</i>	<i>Postup kladení housenek</i>							
								
<i>Parametry svařování</i>								
Svař. vrstva	Metoda svařování	Průměr příd. mat	Svařovací Proud (A)	Napětí (V)	Druh proudu	F-AC (Hz)	Vnesené teplo (kJ/mm)	Rychlost svař. (mm/s)
1	141	2	135	12,7-14	AC	130	0,65	1,53
Přídavný materiál: EN ISO 18273 -S-AL5356; AWS A 5.10 ER5356								
Předpis sušení: -								
Ochranný plyn			Druh: I1, Ar-4.6 dle EN ISO 14175			Průtok (l/min): 9		
Ochrana kořene			Druh: -			Průtok (l/min):		
Wolframová elektroda: -						Rozkvy: -		
Teplota předehřevu: -								
Interpass (max): -								
Tepelné zpracování po svaření: -								
Poznámky:								
Vystavil: Jméno, datum, podpis:								

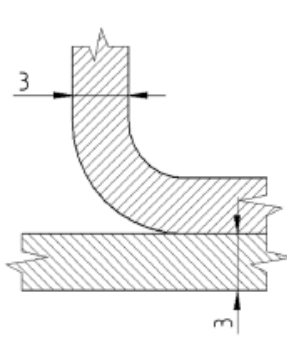
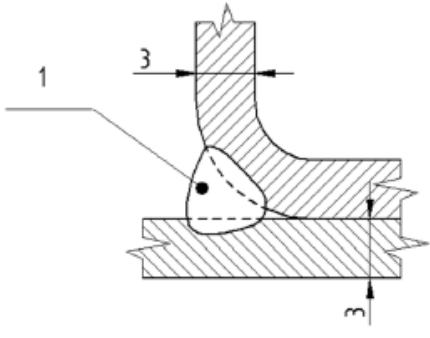
PŘÍLOHA P X: NÁVODKA PRO SVAŘOVÁNÍ ROHOVÝCH SPOJŮ METODOU TIG

Svařovací návodka								
Číslo návodky: W102								
Metoda svařování: 141				Základní materiál: ČSN EN 573-1: ENAW5754H111 ; TNI CEN ISO/TR 15608: sk.22.3 Číslo tavby: H21EHS804016				
Typ spoje: FW				Vnější průměr (mm):				
Údaje o přípravě svarových ploch:				Svařovaná tloušťka (mm): 3mm				
Obrousit, očistit pilníkem a ocelovým kartáčem (nerez), do vzdálenosti 30mm, odmastit acetonem, po svaření očistit ocelovým kartáčem				Velikost koutového spoje: z3				
				Poloha svařování – EN ISO 6947: PB				
Tvar a rozměr svarového spoje				Postup kladení housenek				
								
Parametry svařování								
Svař. vrstva	Metoda svařování	Průměr příd. mat	Svařovací Proud (A)	Napětí (V)	Druh proud u	F-AC (Hz)	Vnesené teplo (kJ/mm)	Rychlost svař. (mm/s)
1	141	2	110	13,3-14,4	AC	200	0,29	3,13
Přídavný materiál: EN ISO 18273 -S-AL5356; AWS A 5.10 ER5356								
Předpis sušení: -								
Ochranný plyn		Druh: II, Ar-4.6 dle EN ISO 14175			Průtok (l/min): 9			
Ochrana kořene		Druh: -			Průtok (l/min):			
Wolframová elektroda: -					Rozkvy: -			
Teplota předehřevu: -								
Interpass (max): -								
Tepelné zpracování po svaření: -								
Poznámky:								
Vystavil: Jméno, datum, podpis:								

PŘÍLOHA P XI: NÁVODKA PRO SVAŘOVÁNÍ PŘEPLÁTOVANÝCH SPOJŮ METODOU TIG

Svařovací návodka								
<i>Číslo návodky:</i> W100								
<i>Metoda svařování:</i> 141				<i>Základní materiál:</i> ČSN EN 573-1: ENAW5754H111 ; TNI CEN ISO/TR 15608: sk.22.3 <i>Číslo tavby:</i> H21EHS804016				
<i>Typ spoje:</i> FW				<i>Vnější průměr (mm):</i>				
<i>Údaje o přípravě svarových ploch:</i>				<i>Svařovaná tloušťka (mm):</i> 3mm				
Obrousit, očistit pilníkem a ocelovým kartáčem (nerez), do vzdálenosti 30mm, odmastit acetonem, po svaření očistit ocelovým kartáčem				<i>Velikost koutového spoje:</i> z3				
				<i>Poloha svařování – EN ISO 6947:</i> PA				
<i>Tvar a rozměr svarového spoje</i>				<i>Postup kladení housenek</i>				
								
<i>Parametry svařování</i>								
<i>Svař. vrstva</i>	<i>Metoda svařování</i>	<i>Průměr příd. mat</i>	<i>Svařovací Proud (A)</i>	<i>Napětí (V)</i>	<i>Druh proudu</i>	<i>F-AC (Hz)</i>	<i>Vnesené teplo (kJ/mm)</i>	<i>Rychlost svař. (mm/s)</i>
1	141	2	115	13,2-16	DC	174	0,65	1,56
<i>Přídavný materiál:</i> EN ISO 18273 -S-AL5356; AWS A 5.10 ER5356								
<i>Předpis sušení:</i> -								
<i>Ochranný plyn</i>		<i>Druh:</i> I1, Ar-4.6 dle EN ISO 14175			<i>Průtok (l/min):</i> 9			
<i>Ochrana kořene</i>		<i>Druh:</i> -			<i>Průtok (l/min):</i>			
<i>Wolframová elektroda:</i> -					<i>Rozkvy:</i> -			
<i>Teplota předehřevu:</i> -								
<i>Interpass (max):</i> -								
<i>Tepelné zpracování po svaření:</i> -								
<i>Poznámky:</i>								
<i>Vystavil: Jméno, datum, podpis:</i>								

PŘÍLOHA P XII: NÁVODKA PRO SVAŘOVÁNÍ OBLÝCH SPOJŮ METODOU TIG

Svařovací návodka								
<i>Číslo návodky:</i> W103								
<i>Metoda svařování:</i> 141				<i>Základní materiál:</i> ČSN EN 573-1: ENAW5754H111 ; TNI CEN ISO/TR 15608: sk.22.3 <i>Číslo tavby:</i> H21EHS804016				
<i>Typ spoje:</i> BW S3				<i>Vnější průměr (mm):</i>				
<i>Údaje o přípravě svarových ploch:</i>				<i>Svařovaná tloušťka (mm):</i> 3mm				
Obrousit, očistit pilníkem a ocelovým kartáčem (nerez), do vzdálenosti 30mm, odmastit acetonem, po svaření očistit ocelovým kartáčem				<i>Velikost koutového spoje:</i>				
				<i>Poloha svařování – EN ISO 6947:</i> PA				
<i>Tvar a rozměr svarového spoje</i>				<i>Postup kladení housenek</i>				
								
<i>Parametry svařování</i>								
<i>Svař. vrstva</i>	<i>Metoda svařování</i>	<i>Průměr příd. mat</i>	<i>Svařovací Proud (A)</i>	<i>Napětí (V)</i>	<i>Druh proudu</i>	<i>F-AC (Hz)</i>	<i>Vnesené teplo (kJ/mm)</i>	<i>Rychlost svař. (mm/s)</i>
1	141	2	130	14-15,1	AC	224	0,80	1,46
<i>Přídavný materiál:</i> EN ISO 18273 -S-AL5356; AWS A 5.10 ER5356								
<i>Předpis sušení:</i> -								
<i>Ochranný plyn</i>			<i>Druh:</i> I1, Ar-4.6 dle EN ISO 14175			<i>Průtok (l/min):</i> 9		
<i>Ochrana kořene</i>			<i>Druh:</i> -			<i>Průtok (l/min):</i>		
<i>Wolframová elektroda:</i> -						<i>Rozkyv:</i> -		
<i>Teplota předehřevu:</i> -								
<i>Interpass (max):</i> -								
<i>Tepelné zpracování po svaření:</i> -								
<i>Poznámky:</i>								
<i>Vystavil: Jméno, datum, podpis:</i>								