



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

POROVNÁNÍ NÝTOVÁNÍ A SVAŘOVÁNÍ KUFRŮ PRO MOTOCYKLY

COMPARISON OF RIVETING AND WELDING OF MOTORCYCLE TRUNKS

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Richard Pirmajer

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Jaroslav Kubíček, IWE

BRNO 2024

Zadání bakalářské práce

Ústav: Ústav strojírenské technologie
Student: **Richard Pirmajer**
Studijní program: Základy strojírenského inženýrství
Studijní obor: Základy strojírenského inženýrství
Vedoucí práce: **Ing. Jaroslav Kubiček, IWE**
Akademický rok: 2023/24

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

Porovnání nýtování a svařování kufrů pro motocykly

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Motocyklové kufrы patří mezi outdoorové vybavení pro endura a cestovní motocykly. Hlavními požadavky na kufr je pevnost a odolnost proti průniku vody. Materiály kufrů jsou různé, ale nejčastěji jsou hliníkové plechy, které jsou snýtované a slepené polyuretanem, nebo celosvařované. Bakalářská práce je zaměřena na technickou a ekonomickou stránku obou variant výroby.

Cíle bakalářské práce:

Provést rozbor zadání se zaměřením na rešerši nýtovacích a svařovacích procesů použitých při výrobě kufrů.

Navrhnout experiment s ohledem na použité základní a přídavné materiály.

Provést experiment.

Vyhodnotit technické a ekonomické podmínky výroby.

Seznam doporučené literatury:

AMERICAN SOCIETY FOR METALS. Welding, brazing, and soldering. 10. vyd. Ohio: METALS Park, 2016. ISBN 978-0871703828.

AMBROŽ, Oldřich; KANDUS, Bohumil a KUBÍČEK, Jaroslav. Technologie svařování a zařízení. Ostrava: ZEROSS, 2001. ISBN 80-85771-81-0.

MUSIL, Miloslav; MORAVEC, Jaromír et al. Výroba a aplikované inženýrství ve svařování. Česká Třebová: DOM-ZO 13, 2017.

HRIVŇÁK, Ivan. Teória zvariteľnosti kovov a zliatin. Bratislava: VEDA, 1989. ISBN 80-224-0016-5.

ONDREJČEK, Peter. Zváranie ocelí v ochrane plynov taviacou sa elektródou, Bratislava: ETERNA PRESS, 2003. ISBN 80-968359-5-5.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2023/24

V Brně, dne

L. S.

Ing. Jan Zouhar, Ph.D.
ředitel ústavu

doc. Ing. Jiří Hlinka, Ph.D.
děkan fakulty

ABSTRAKT

Práce je zaměřena na porovnání technologie nýtování a svařování kufrů pro motocykly. Základním materiálem je slitina EN AW 5754 o tloušťce 1,5 mm. Z ní zhotovené kufry byly poskytnuty firmou SW-MOTECH. V teoretické části byla provedena rešerše týkající se samotného hliníku, jeho vlastností, druhů tepelného zpracování a možností svařitelnosti. Dále byla popsána metoda svařování CMT a metoda prorážecího nýtování, které byly použity při výrobě kufrů. V praktické části byly zkoumány vzorky z obou kufrů, jak svařeného metodou CMT, tak snýtovaného prorážecími nýty. Zkoumání bylo zaměřeno na velikost tepelně ovlivněné oblasti, hloubku průvaru, přítomnost defektů, resp. kvalitu spoje. Nakonec byly metody ekonomicky vyhodnoceny.

Klíčová slova

hliník, hliníkové slitiny, svařování CMT, prorážecí nýtování (RIVSET), motocyklové kufry

ABSTRACT

The work is focused on the comparison of riveting and welding technology for motorcycle trunks. The basic material is EN AW 5754 alloy with a thickness of 1.5 mm. The trunks made of this material were provided by SW-MOTECH. In the theoretical part, research was carried out on aluminium itself, its properties, types of heat treatment and weldability options. Furthermore, the CMT welding method and the piercing riveting method, which were used in the production of the trunks, were described. In the practical part, samples from both trunks, welded by CMT method and riveted by piercing rivets, were examined. Furthermore, the specimens were examined for the size of the heat-affected zone, the depth of penetration, the presence of defects, and the quality of the joint, respectively. At the end, the methods were economically evaluated.

Keywords

aluminium, aluminium alloy, CMT welding, self-pierce riveting (RIVSET), motorcycle trunks

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

PIRMAJER, Richard. *Porovnání nýtování a svařování kufrů pro motocykly* [online]. Brno, 2024 Dostupné z: <https://www.vut.cz/studenti/zav-prace/detail/157728>. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav strojírenské technologie. Vedoucí práce Jaroslav Kubíček.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma Porovnání nýtování a svařování kufrů pro motocykly vypracoval(a) samostatně s využitím uvedené literatury a podkladů, na základě konzultací a pod vedením vedoucího práce.

Nikolčice, 23.05.2024

místo, datum

Richard Pirmajer

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji tímto Ing. Jaroslavu Kubíčkoví, IWE za cenné rady a konstruktivní připomínky, které mi poskytl při vypracování bakalářské práce. Dále děkuji firmě SW-MOTECH s. r. o. za poskytnuté materiály a informace k bakalářské práci.

Velké poděkování patří mé rodině za podporu po celou dobu studia.

OBSAH

ÚVOD.....	9
1 ROZBOR ZADÁNÍ.....	10
1.1 Vlastnosti hliníku a jeho slitin.....	11
1.2 Rozdělení hliníkových slitin.....	11
1.3 Značení hliníkových slitin.....	11
1.4 Tepelné zpracování hliníku a jeho slitin.....	13
2 SVAŘOVÁNÍ A NÝTOVÁNÍ.....	16
2.1 Svařitelnost hliníkových slitin.....	16
2.2 Metoda WIG (TIG).....	18
2.3 Metoda MIG.....	20
2.3.1 Metoda CMT.....	23
2.4 Nýtování prorážecími nýty (RIVSET).....	25
3 PRAKTICKÁ ČÁST.....	27
3.1 Postup výroby.....	28
3.2 Makroskopická kontrola.....	34
4 EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ.....	37
4.1 Nýtování.....	37
4.2 Svařování.....	38
ZÁVĚR.....	40
SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ.....	41
SEZNAM PŘÍLOH.....	45

ÚVOD

Hliník spadá do skupiny neželezných kovů a jedná se o třetí nejrozšířenější prvek na Zemi. Výroba hliníku je náročný proces, jelikož se v přírodě nachází pouze ve sloučeninách. K jeho výrobě se používá ruda zvaná bauxit, ze které se procesem zvaným elektrolýza vyrobí čistý hliník Al. Výroba elektrolýzou byla objevena v roce 1886 a od té doby se každoroční produkce neustále zvyšuje. Protože se ale jedná o energeticky a tím pádem i finančně velmi náročný proces, neustále roste podíl hliníku získaného recyklací na celkové světové výrobě. Zajímavostí je, že 75 % celkového vyrobeného hliníku je stále v oběhu, jelikož stále narůstá výroba z recyklovaného hliníku. Hliník totiž recyklací neztrácí žádnou kvalitu a ušetří značné náklady zejména kvůli energetické náročnosti elektrolýzy. [1; 2; 3; 4]

Jednou z nejrozšířenějších oblastí použití je letecký průmysl, kde jsou používány hliníkové slitiny Al-Cu-Mg zvané duraly. Kromě, pro hliník typické, nízké hmotnosti, se vyznačují i vysokou pevností. Další velmi významnou oblastí jsou automobilní průmysl, kde se z hliníkových materiálů vyrábí kostry karoserií automobilů, bloky motorů nebo hliníkové ráfky. Právě díky prudkému rozvoji těchto průmyslů v 70. letech 20. století zažil hliník prudký nárůst výroby a využití. Dalšími oblastmi jsou kolejová doprava, stavebnictví, strojírenství (obr. 1) a elektrotechnika pro dobré fyzikální vlastnosti. I přes snahu nahradit hliníkové slitiny ještě lehčími materiály, např. na bázi hořčíku, zůstávají nadále nenahraditelnými materiály. [1]



Obr. 1 Hliníkové kufry pro motocykly [5].

1 ROZBOR ZADÁNÍ

Firma SW-MOTECH s.r.o. vznikla v roce 2001 a zabývá se kovovýrobou. Nejvýznamnější oblast výroby tvoří příslušenství k motocyklům. Firma má svůj vývoj, výrobu (obr. 2) i distribuci.

Mezi nejčastěji používané materiály patří konstrukční ocel a hliníkové slitiny. Z těchto materiálů jsou zhotovovány díly jako např. padací rámy, držáky kufrů, hlavní a boční stojany. Jedná se o komponenty, u kterých je důležitá zejména pevnost. Zmíněné hliníkové slitiny jsou používány pro výrobu komponent s požadavky na nízkou hmotnost a především s vysokými nároky na vzhled, např. ochranné kryty motoru.

Zvláštní skupinou výrobků jsou kufrы vyráběné z hliníkové slitiny EN AW 5754, které díky kvalitě zpracování a optickému designu jsou často poptávány také jako originální příslušenství předních světových výrobců motocyklů, jako např. Suzuki, Harley-Davidson, Honda atd.

První generace hliníkových kufrů značky SW-MOTECH byla vyvinuta v roce 2009 a od té doby se technologie výroby vyvíjela v několika etapách. Z počátku byla výroba kufrů realizována pomocí nýtování. Jednalo se o spolehlivou a jednoduchou metodu, která plnila svůj účel, ale měla i své nevýhody. Proto se postupem času přešlo ke svařované variantě využívající modifikaci MIG/MAG svařování zvanou CMT. Výsledkem byla redukce výrobních časů a tím zrychlení výroby, dále podstatné zvýšení kvality spoje a dobrá reprodukovatelnost.

Cílem této bakalářské práce je porovnání těchto dvou variant výroby kufrů. Porovnávána bude technická stránka a dále ekonomická náročnost výroby.



Obr. 2 Výrobní hala firmy SW-MOTECH.

1.1 Vlastnosti hliníku a jeho slitin

Hliník se vyznačuje bělavě šedou barvou, nízkou hmotností, dobrou tvárností a je tvořen kubickou, plošně centrovanou mřížkou zajišťující dobré plastické vlastnosti za tepla i za studena [1]. Disponuje dobrými fyzikálními vlastnostmi jako elektrická a tepelná vodivost, vysoká odrazivost nebo leštitelnost [6]. Má velmi vysokou odolnost vůči korozi, která je dána existencí tenké oxidační vrstvy Al_2O_3 na povrchu [7]. I přesto má čistý hliník nízké pevnostní vlastnosti, které brání použití v oblastech, kde jsou tyto vlastnosti požadovány. Proto jsou jako hliníkové konstrukční materiály používány téměř výhradně hliníkové slitiny. Ty vzniknou přidáním legur jednoho či více prvků a tím dojde ke změně chemického složení a docílí lepších výsledných vlastností. [1; 6]

1.2 Rozdělení hliníkových slitin

Hliníkové slitiny jsou legovány málo. Obsah jednotlivých legujících prvků obvykle nepřesahuje 5-7 % a celkový součet legur zpravidla nepřesahuje 10 %. Legujícími prvky lze vylepšit řadu vlastností např. pevnostní, chemické, technologické nebo fyzikální. Nejčastěji se však jedná o snahu zvýšit pevnostní vlastnosti, kdy může pevnost dosahovat až 500 MPa. [1; 6 s.180]

Hliníkové slitiny lze rozdělit na dva základní druhy: slitiny slévárenské a vhodné pro tváření. Vhodnost závisí z pravidla na množství legujících prvků, kdy u slitin vhodných pro tváření je množství legur menší a mají proto lepší plastické vlastnosti. [8 s.2] Slitiny pro tváření lze dle zpracování dělit na tvářené za studena a zpevňované vytvrzováním. Toto rozdělení je významné vzhledem k možnostem použití. [6]

Mechanické vlastnosti za zvýšených teplot

Mechanické vlastnosti závisí na spoustě parametrů, přičemž u hliníkových slitin jsou nejdůležitější dva – teplota a čas. Při zvyšující se teplotě velmi rychle klesá mez pevnosti R_m , smluvní mez kluzu $R_{p0,2}$ a tvrdost a tažnost spolu s kontrakcemi se zvyšují. U některých slitin, které byly zpevňovány tvářením a tepelnomechanickým zpracováním dochází při ohřevu od určitých teplot k nevratným změnám struktury – záleží po jak dlouhou dobu slitina na vysoké teplotě zůstane. Proto mohou i napětí nižší než $R_{p0,2}$ způsobit přetvoření vedoucí k lomu. [1]

Mechanické vlastnosti za snížených teplot

Stejně tak je důležité znát mechanické vlastnosti při nízkých teplotách. Vlastnosti hliníkových slitin jsou v některých případech dokonce lepší než při pokojové teplotě. To je dáno kubickou plošně centrovanou mřížkou, která současně zajišťuje, že při přechodu k nízkým teplotám není třeba lomových zkoušek jako je tomu např. u ocelí. [1]

1.3 Značení hliníkových slitin

Značení tvářených hliníkových slitin v České republice dáno normou ČSN EN 573-1.

např. **EN AW-5754 H111**

- **EN** – evropská norma
- **AW** – A=hliník / W=tvářené slitiny
- **5754** – čísla značící chemické složení
- **H111** – označení stavu zpracování

Čtyřmístné číslo udává chemické složení hliníkových slitin, přičemž jeho počáteční číslo specifikuje legující prvek a tím pádem celou řadu, do které slitina spadá. Zbylé trojčíslí slouží k bližší specifikaci chemického složení.

- **Řada 1xxx** značí technický hliník o minimální čistotě 99,00 %. V této skupině podává druhá číslice informaci o znečištění. Pokud je rovna nule, jedná se o hliník, kde se znečištění pohybuje v rámci přípustných limitů. Poslední dvojčíslí udávají čistotu hliníku, která je vyjádřena s přesností na setiny. Běžná pevnost v tahu čistého hliníku je 70 MPa a tažnost okolo 30 %. Čistý hliník je měkký a tvárný kov, takže je ideální volbou pro ohýbání, obrábění a je dobře svařitelný. [7; 9]
- **Řada 2xxx** značí slitiny hliníku a mědi **AlCu** a jedná se o nejstarší vytvrzovanou slitinu hliníku. Díky mědi slitina ztrácí něco ze své odolnosti proti korozi, i přesto je však díky své rozpustnosti a zpevňujícímu účinku jedním z nejdůležitějších prvků přítomných v hliníkových slitinách. Doplňujícími legurami jsou hořčík a mangan. Přítomnost manganu zajišťuje částečné zvýšení pevnostních vlastností až na úroveň 450 MPa a odolnost vůči korozi. Slitiny AlCuMg byly dříve hlavními slitinami pro užití v letectví i strojírenství nazývané duraly. [1; 6]
- **Řada 3xxx** značí slitiny hliníku a manganu **AlMn**, jehož obsah obvykle nepřekračuje 1,5 %. Patří do skupiny slitin zpevňovaných tvářením za studena a jedná se o nejjednodušší typ hliníkových slitin. Mangan zvyšuje pevnost, která v tvrdém stavu může nabývat až dvojnásobných hodnot, a snižuje plasticitu. Současně snižuje náchylnost k interkrystalické korozi a korozi pod napětím. [1; 6]
- **Řada 4xxx** jsou slitiny hliníku s křemíkem **AlSi**. Tyto slitiny se nazývají siluminy a tvoří naprostou většinu hliníkových slitin pro odlévání. Přítomnost křemíku ve slitině snižuje bod tání, zaručuje vysokou zabíhavost, velmi nízký sklon k praskání a tvorbě staženin při lití a možnosti svařování a pájení. Obsah Si se pohybuje mezi 10-13 %. Legujícími prvky jsou Cu nebo Mg za účelem vytvrzování, anebo Sr a Na pro zlepšení slévateľnosti a obrobiteľnosti. [1; 6; 8; 10; 11; 12]
- **Řada 5xxx** jsou slitiny hliníku s hořčíkem **AlMg**. Obsah hořčíku bývá od 1-7 % a výrazně zlepšuje mechanické vlastnosti. Avšak s velkým obsahem Mg klesá schopnost plastické deformace a korozní odolnosti. Vhodným zpracováním a volbou legujících prvků je možno dosáhnout pevnosti až 400 MPa a vysoké korozní odolnosti i v mořské vodě. [1; 6]
- **Řada 6xxx** značí slitiny hliníku s hořčíkem a křemíkem **AlMgSi**. Jsou to tzv. přechodové slitiny s obsahem legur Mg a Si do 1 %. Mechanické vlastnosti jsou závislé na poměru těchto dvou legur. Slitiny jsou díky přítomnosti Mg₂Si schopny vytvrzování a v kombinaci s tvářením za studena lze dosáhnout pevnosti přes 300 MPa. Vynikají dobrou svařitelností, odolností vůči korozi a zpracovatelností za tepla i studena. Používají se např. k výrobě složitých profilů ve stavebnictví. [1; 6]
- **Řada 7xxx** značí slitiny hliníku se zinkem **AlZn**. Jedná se o slitiny, které se jako jedny z prvních průmyslově vyráběly. Poskytují dobrou ochranu proti korozi. Legujícími prvky jsou Mg a Cu. Vyznačují se nejvyššími mechanickými vlastnostmi a používají se pro výrobu součástí, které jsou za provozu vysoce namáhány např. drak letounu. [10] S vyšším obsahem Zn a Mg se zvyšuje pevnost a náročnost na tepelné zpracování [1].
- **Řada 8xxx** je vyčleněna pro hliníkové slitiny s legujícími prvky jinými, než které jsou uvedeny v předchozích řadách jako např. lithium. [13]

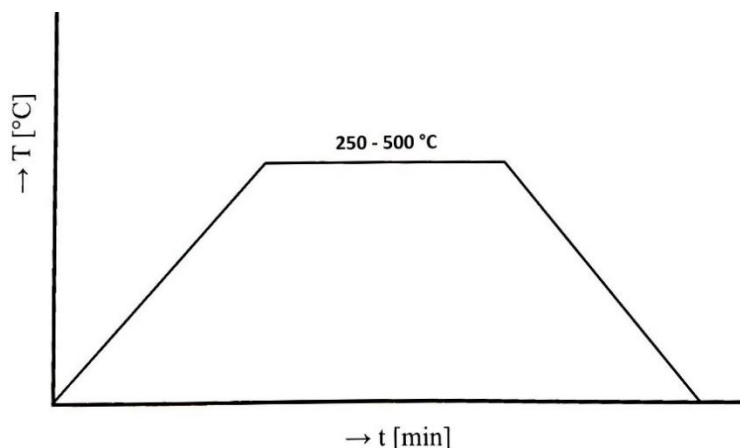
1.4 Tepelné zpracování hliníku a jeho slitin

Tepelným zpracováním (dále jen TZ) hliníku je myšleno jeho podrobení jednomu nebo více žíhacím cyklům, aby bylo dosaženo požadované struktury a s tím souvisejícími vlastnostmi. Žíhací cyklus se skládá ze tří fází. Nejdříve probíhá kontrolovaný ohřev na požadovanou teplotu a následuje výdrž na teplotě po určitý čas, který je nezbytný proto, aby bylo provedeno požadované TZ. Zakončeno je to ochlazováním, jehož rychlost nesmí přesáhnout kritickou rychlost, při které nastává rozpad přesyceného tuhého roztoku viz obr. 3. V TZ hliníkových slitin určených pro odlévání a pro tváření není zásadní rozdíl a dělí se na dvě skupiny: [1; 14]

- žíhání
- vytvrzování

Žíhání

Rekrytalizační žíhání je způsob TZ uplatňovaný pro kovy, které byly tvářeny za studena a přitom byla původní struktura zdeformovaná. Cílem je původní strukturu obnovit, přičemž současně s tím dojde i ke změně vlastností. Plastické vlastnosti se zvyšují a naopak pevnostní vlastnosti se snižují. Teplota rekrytalizačního žíhání se pohybuje nejčastěji mezi 250-500 °C a závisí na dvou aspektech – velikost deformace při předchozím tváření za studena a čistotě hliníku. Způsob ochlazování po rekrytalizaci závisí na tom, zda je slitina vytvrzitelná či nevytvrzitelná. U vytvrzitelných slitin lze ochlazovat na vzduchu, avšak u nevytvrzitelných je nutné ochlazovat pomalu z důvodu zachování rovnovážného stavu. [1; 14]



Obr. 3 Žíhací cyklus [14].

Odstranění struktury vzniklé při deformaci se skládá ze zotavení, rekrytalizace a růstu zrna. Zotavením se nazývají změny, ke kterým dochází ještě před rekrytalizací. Jedná se především o změnu uspořádání dislokací nebo-li poruch mřížky. Tento proces se nazývá polygonizace a dochází přitom ke snížení deformační energie. Po polygonizaci vzniká nové nedeformované subzrno, přičemž spojením několika dohromady vzniká nové zrno s nízkou hustotou dislokací. Po dokončení primární rekrytalizace nastává růst zrna, kdy dochází k dalšímu snížení energie kovu zmenšením úhrnné plochy povrchu zrn. Růstu zrn lze dosáhnout např. sekundární rekrytalizací. [1; 14]

Žíhání s částečnou rekrytalizací se používá jako TZ za studena tvářených kovů. Teploty jsou ve stejném rozmezí jako u rekrytalizačního žíhání, avšak po kratší dobu, aby nedošlo k plné rekrytalizaci a vedle rekrytalizovaných zrn zbyl určitý podíl tvářené struktury. [1; 14]

Stabilizační žíhání je dalším TZ používaným pro změnu struktury, vlastností a rozměrů nejčastěji u odlitků. Nejčastější využití je pro součásti, které budou za provozu ohřívány nebo vystaveny zvýšené teplotě. Teplota žíhání musí být větší než teplota provozní. [1; 14]

Žíhání ke snížení pnutí, jak z názvu vyplývá, je druh TZ sloužící ke snížení vnitřního pnutí vzniklým po předchozím opracování. Často je využíváno jako mezioperační krok nebo po svařování. Teplota je pod rekrystalizační teplotou, takže nedochází ke změně struktury, a pohybuje se kolem 350 °C. Ochlazování je řízené aspoň do teploty 200 °C. [1; 14]

Homogenizační žíhání je TZ, jehož cílem je odstranění nebo snížení nestejnomyerné struktury tzv. heterogenity pomocí difúzních procesů viz obr. 4. Jedná se o nejdelší druh TZ, jehož délka závisí na chemickém složení a struktuře slitiny a zároveň probíhá za nejvyšších teplot blízko teploty solidu. V některých případech se používá dvojstupňová homogenizace spočívající ve dvou po sobě jdoucích cyklech, přičemž každý o jiné teplotě. [1; 14]



Struktura slitiny AlCu4MgMn po krystalizaci před homogenizací



Struktura slitiny AlCu4MgMn po homogenizaci 11 hodin

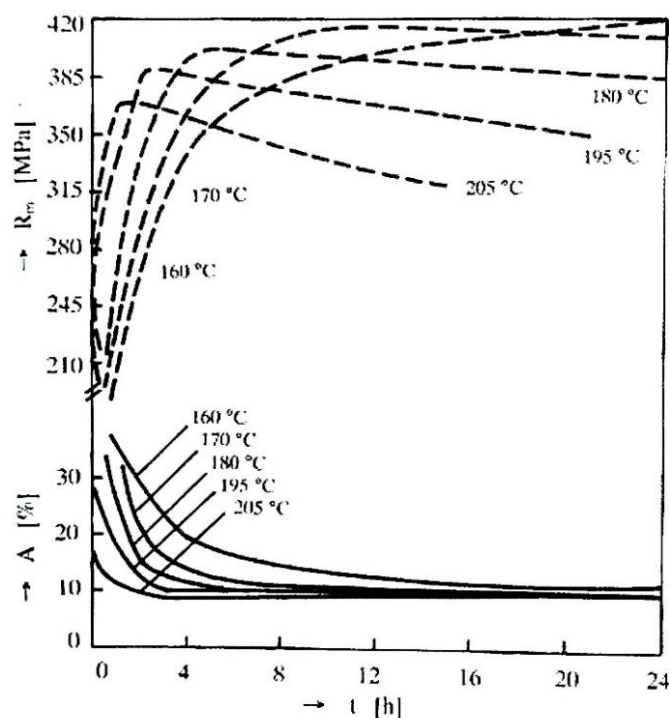
Obr. 4 Struktura slitiny před a po homogenizaci [1].

Vytvrzování

Vytvrzování nebo-li precipitační zpevnění je druhou možností TZ hliníku a jeho slitin a výrazně mění mechanické, fyzikální a technologické vlastnosti. Hliníkové slitiny se dělí na vytvrditelné a nevytvrditelné. Základním předpokladem vytvrditelných slitin je výrazný pokles rozpustnosti legujících prvků v závislosti na teplotě. Skládá se ze dvou základních operací: rozpouštěcí žíhání a stárnutí, přičemž obě jsou stejně důležité. [1]

Rozpouštěcí žíhání je ohřev na určitou teplotu, výdrž na teplotě a ochlazení. U tohoto typu žíhání je však rychlost ochlazení kritická nebo i nadkritická, čímž je zachován přesycený tuhý roztok α a materiál má dobrý výchozí stav pro následné vytvrzování. Hodnota rychlosti ochlazování se u každé slitiny liší a ovlivňuje řadu věcí jako pevnost R_m , vnitřní pnutí, korozní vlastnosti aj. Kalicím médiem může být např. voda, olej a vzduch o různých teplotách. Každé médium má jinou ochlazovací rychlost. [1; 15]

Stárnutím lze získat maximální možné pevnostní vlastnosti pro každou slitinu. Je to rozpad přesyceného tuhého roztoku α a u některých slitin probíhá již při pokojové teplotě (přirozené stárnutí). U slitin, které tuto schopnost nemají, je nutné rozpad realizovat zvýšením teploty (umělé stárnutí). Doba, za kterou se rozpad uskuteční, závisí na chemickém složení a je tedy u každé slitiny jiná. Po celou dobu procesu stárnutí dochází k substrukturním změnám a tím ke změně vlastností fyzikálních, korozních a technologických. Těmto změnám se říká kinetika rozpadu a je popsána křivkami viz obr. 5. [1]



Obr. 5 Křivky umělého stárnutí [14].

Označování stavů tepelného zpracování hliníku a jeho slitin

Značení stavů TZ je v současnosti je dáno pod normu ČSN EN 515 viz tab. 1.

Tab. 1 Označování stavů – ČSN EN 515 [1].

Stav	Definice
F	Z výroby
O	Žíhaný
H1x	Deformačně zpevněný
H2x	Deformačně zpevněný a částečně žíhaný
H3x	Deformačně zpevněný a stabilizovaný
H4x	Deformačně zpevněný a barvený nebo lakovaný
W	Po rozpouštěcím žihání
T1	Ochlazený za zvýšené teploty tváření a přirozeném stárnutí
T2	Ochlazený za zvýšené teploty tváření a přirozeném stárnutí
T3	Po rozpouštěcím žihání, tváření za studena a přirozeném stárnutí
T4	Po rozpouštěcím žihání a přirozeném stárnutí
T5	Ochlazený za zvýšené teploty tváření a uměle stárnutí
T6	Po rozpouštěcím žihání a umělém stárnutí
T7	Po rozpouštěcím žihání a umělém přestárnutí
T8	Po rozpouštěcím žihání, tváření za studena a umělém stárnutí
T9	Po rozpouštěcím žihání, umělém stárnutí a tváření za studena

2 SVAŘOVÁNÍ A NÝTOVÁNÍ

Svařováním kovů a slitin je myšleno jejich nerozebíratelné spojení za pomoci vysoké teploty, tlaku nebo obojího a s použitím nebo bez přídavného materiálu. Po staletí bylo jedinou metodou svařování kovářské. K zásadnímu posunu došlo v 19. století, kdy byl objeven acetylen a elektrický oblouk. Z dnešního pohledu byl nejdůležitější objev obalené elektrody na začátku 20. století, jejíž obal byl tvořen vodní směsí oxidů a křemičitanů. [16; 17]

2.1 Svařitelnost hliníkových slitin

Svařování hliníkových slitin je možné všemi druhy obloukového svařování, elektrickým odporem, elektronovým paprskem, laserem, plamenem a dalšími. Největší potíž představuje přítomnost oxidační vrstvy Al_2O_3 na povrchu. Kvůli tomu nejlepší svařitelností disponují metody obloukového svařování v ochranném plynu MIG a WIG, jelikož zaručují porušení této vrstvy. Dalšími problémy při svařování hliníkových slitin je pórovitost svarů, trhliny ve svarových spojích, pokles pevnostních vlastností u vytvrditelných slitin. [7; 17]

Povrchová vrstva Al_2O_3

Přítomnost oxidu Al_2O_3 zajišťuje hliníku a jeho slitinám velmi vysokou odolnost vůči korozi. Jedná se o přilnavou, nevodivou vrstvu s teplotou tavení kolem $2050\text{ }^\circ\text{C}$, přičemž teplota tavení samotného hliníku je kolem $650\text{ }^\circ\text{C}$, takže se vrstva během svařování netaví. Tím nedochází ke spojení základního materiálu s přídavným. Proto je nutné ji před svařováním odstranit. [7 ;17]

Po mechanickém odstranění např. kartáčem vzniká hned 1 vteřinu po porušení oxidační vrstvy $1\text{ }\mu\text{m}$ nové. Vhodnějším řešením je proto použití chemických prostředků. Příkladem může být použití vhodného tavidla, jako např. 100 g hydroxidu sodného rozpuštěného v 1 litru vody, přičemž ideální teplota lázně se pohybuje mezi $60\text{-}70\text{ }^\circ\text{C}$. Další možností je odstranění přímým účinkem elektrického oblouku za přítomnosti ochranného plynu argonu. [7; 18]

Tzv. čistící účinek argonu vzniká při svařování střídavým napětím, kdy je elektroda připojena na kladný pól zdroje. Ionty Ar o velké hmotnosti jsou pak urychlovány směrem k oxidační vrstvě a tím se oxidy Al_2O_3 stáhnou k okraji svarové lázně. [19]

Pórovitost svarů

Příčinou tvorby pórů, bublin a někdy i trhlín je vodík. Nepříznivý vliv je dán teplotou svarové oblasti, jelikož rozpustnost vodíku v hliníku je dána na teplotě. Svařováním dojde v tepelně ovlivněné oblasti (dále jen TOO) k rychlé krystalizaci hliníku a tedy část vodíku zůstává během krystalizace ve svaru a nedojde k jeho plnému vyloučení, dokud neklesne teplota pod teplotu solidu. Nepříznivé vlivy vodíku lze snížit: [7]

- minimalizováním obsahu vodíku v základním materiálu a v přídavném materiálu
- minimalizací času stráveného tavením oblasti svaru a s tím spojeného zvyšování teploty, která zvyšuje rozpustnost vodíku v hliníku
- použití vhodné ochrany svarové lázně ať už struskové, tavidlové nebo plynové

Trhliny ve svarových spojích

Trhliny jsou obecně jedním z největších problémů při svařování hliníkových materiálů, jelikož jsou vždy považovány za nepřijatelnou vadu. Nejčastějšími jsou tzv. **horké trhliny**, které se šíří v mezikrystalových oblastech. Na vznik horkých trhlín má vliv způsob krystalizace a segregace. Podle místa výskytu se dělí na dva druhy: solidifikační (ve svarovém kovu) a likvační (v TOO). [7; 20]

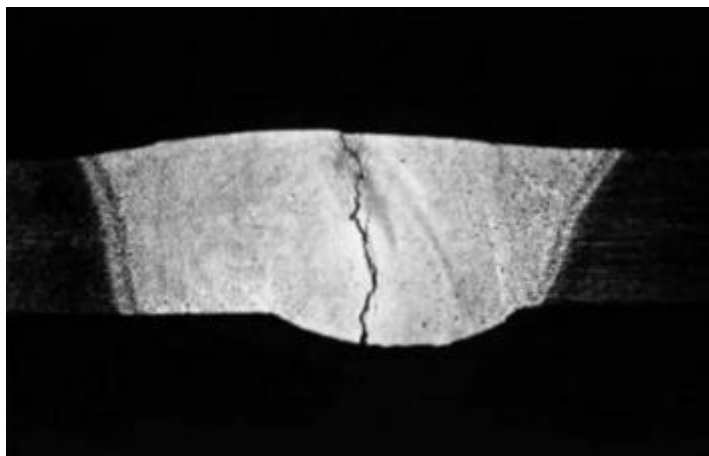
Solidifikační trhliny vznikají během tuhnutí svaru, kdy se materiál smršťuje a vlivem předchozí tepelné roztažnosti, která je u hliníku vysoká, dochází k tvorbě vysokého napětí. Trhliny se šíří od osy svaru, tedy od místa, kde dochází k tuhnutí naposledy viz obr. 6. Typické jsou pro tepelně zpracované slitiny řad 2000, 6000 a 7000. Pro každou řadu hliníkových slitin je stanovena kritická hodnota obsahu legujícího prvku, kdy je náchylnost k tvorbě trhlin největší. [7; 20]

Likvační trhliny vznikají v podhousenkovém pásmu při vícevrstevném svařování, kde je vysoká teplota. Příčinou je kombinace elastického a plastického napětí během tuhnutí. [20]

Náchylnost ke vzniku trhlin je především ovlivněna typem a množstvím eutektické fáze, která musí vyplňovat prostory mezi rostoucími dendrity. To by mělo být ideálně v rozmezí 15 – 25 % v závislosti na druhu slitiny a metodě svařování. Při nedostatečném množství eutektika lze doplnit přídatným materiálem. Snížit pravděpodobnost vzniku trhlin lze obecně např. těmito způsoby: [7; 20]

- vhodným přídatným materiálem (např. AlSi5 nebo AlMg5, závisí na druhu slitiny)
- předehřevem
- volbou vhodné metody svařování (např. MIG s vysokou svařovací rychlostí)
- svařování provádět s malým výkonem, pro co nejmenší prohřátí a v neupnutém stavu

U vysoce pevných ocelí s omezenou tažností, mohou vznikat při teplotách 200 - 400 °C tzv. **studené** (transkrystalické) **trhliny** v TOO. Příčinou je snížená pevnost už při lehce zvýšených teplotách. Řešením je přidání legur např. Cu nebo Mg, snížení obsahu nečistot nebo vícestupňové tepelné zpracování. [7]



Obr. 6 Solidifikační trhlina [20].

Pokles pevnostních vlastností u vytvrditelných slitin

Zejména u vytvrditelných hliníkových slitin Al-Cu-Mg, Al-Mg-Si a Al-Zn-Mg nastává po svařování velký pokles pevnostních vlastností v celém svarovém spoji až na úroveň pevnosti žíhaného materiálu. Při svařování takových slitin navíc v upnutém stavu by mohlo dojít i k prasknutí. Nedochází jen ke snížení meze pevnosti, ale i změně struktury a snížení odolnosti proti korozi. Kritická teplota, při které všechny výše zmíněné problémy nastávají, je kolem 200 °C. To značně limituje i použití předehřevu nebo tepelného rovnání. [7; 21]

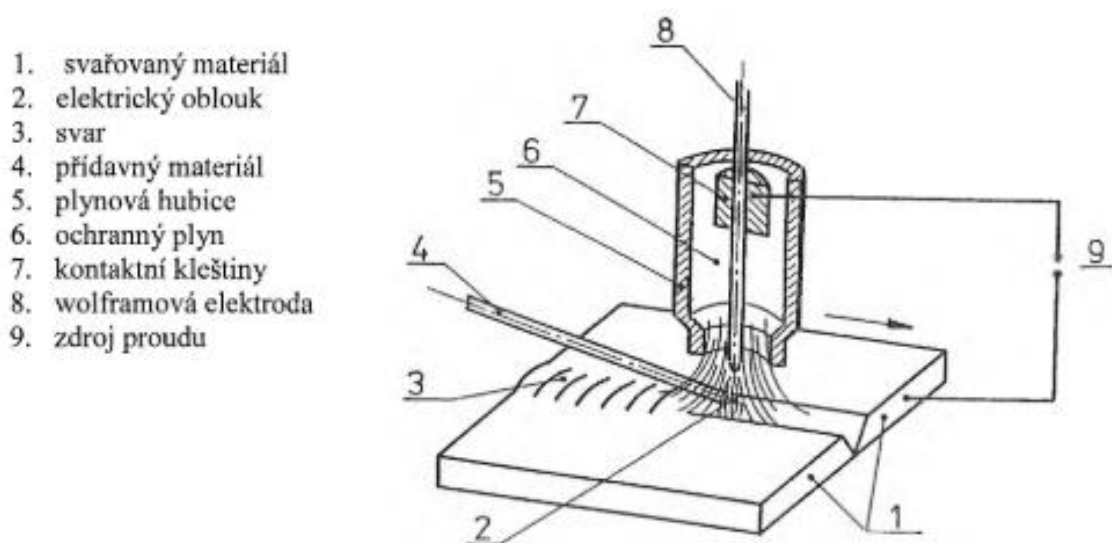
Tento problém se dosud nepodařilo zcela vyřešit, a proto se volí postupy, kterými je aspoň částečně pokles pevnosti a tvrdosti ve svarech omezen. Doporučuje se používat druhy svařování buď s vysokým teplotním gradientem v místě svaru jako např. odporové bodové svařování nebo s nižší pracovní teplotou než je teplota stability vytvrditelných slitin. Další možností je provedení doplňkového TZ celého svařence nebo jen svarového spoje. [7]

2.2 Metoda WIG (TIG)

Metoda WIG (Wolfram Inert Gas), v angličtině nazývána jako TIG (Tungsten Inert Gas), je svařování netavící se wolframovou elektrodou v inertním plynu viz obr 7. Inertní plyn se nijak nepodílí na chemické reakci, ale pouze chrání roztavenou oblast svaru před okolní atmosférou. Používají se argon, helium nebo jejich směs. Svařování WIG lze provádět s přídavným materiálem nebo bez něj tak, že se spojované materiály nataví a slíjí dohromady. Lze svařovat pomocí stejnosměrného, střídavého a impulzního proudu. Umožňuje svařování rozdílných materiálů jako je ocel a měď, bronz nebo niklové slitiny. [16; 22]

Hlavní výhody této metody jsou: vysoce kvalitní svarový spoj s malou TOO bez nutnosti použití tavidla, viditelná a snadně kontrolovatelná lázeň, stabilní elektrický oblouk s širokým pásmem svařovacích proudů, čistota povrchu, možnost svařovat hliníkové slitiny již od tloušťek 1 mm. [22; 23]

Použití např. pro svařované konstrukce vysoce legovaných ocelí, v chemickém a potravinářském průmyslu, ale i v jaderném průmyslu. Dále na svařování speciálních slitin z titanu, zirkonu a dalších speciálních slitin v oblasti leteckého průmyslu. [16]



Obr. 7 Princip svařování metodou WIG (TIG) [16].

Wolframová elektroda

Protože svařováním WIG může teplota ve svarové oblasti přesahovat až 6000 °C, musí být elektroda schopna odolávat těmto vysokým teplotám. Proto je používán wolfram, který má teplotou tání 3 380 °C a jedná se dokonce o nejvyšší hodnotu ze všech známých prvků. Elektrody jsou vyráběny spékáním wolframu (čistota 99,9 %) nebo z wolframu legovaného oxidy kovů jako např. thorium (Th), lanthan (La), zirkon (Zr) aj. Tyto oxidy snižují teplotu

ohřevu o 1000 °C, čímž se prodlužuje životnost, zlepšuje zapalování oblouku a jeho stabilita zvýšením emisí elektronů. [16; 17]

Elektrody jsou popsány dle normy ČSN EN 26 848 např. WT 10 (Wolframová elektroda s 1 % koncentrací oxidu thoričitého) a dále musí být na jednom konci barevný pásek (pro WT 10 je vyhrazena žlutá barva). [17]

Hrot elektrody musí být vybroušen do požadovaného tvaru v závislosti na druhu svařovacího proudu, velikosti svařovacího proudu, typu a hloubce svarového úkosu. Dle svařovacího proudu se rozlišuje broušení hrotu do kužele s daným vrcholovým úhlem nebo do kulového tvaru. [17]

Svařování stejnosměrným proudem

Jedná se o základní způsob svařování WIG. Zapojení uspořádáno tzv. přímě, takže elektroda je připojena k zápornému pólu a základní materiál k pólu kladnému. Díky tomu se 2/3 tepla přenáší na základní materiál, čímž je umožněna velká hloubka závaru a zbylá pouhá 1/3 tepelného výkonu je přenášena na elektrodu, která tím pádem není přetěžována. Nepříímá polarita se kvůli velkému namáhání elektrody teplem nevyužívá. Velká hloubka závarů je dána i dopadem elektronů, které přeměňují svoji kinetickou energii na tepelnou. [16; 22]

Tento typ se používá ke svařování všech typů ocelí, mědi, titanu, niklu a jejich slitin a lze spojovat i tenkostěnné materiály se silnostěnnými. Svařovat stejnosměrným proudem lze i hliník a jeho slitiny, ale pouze za použití směsi plynů Ar + He, přičemž helia musí být nejméně 75 %. Pak, díky vysoké vodivosti hélia, se do oblasti sváru dostává velké množství tepla, které dokáže roztavit povrchovou vrstvu Al_2O_3 . [16; 22]

Svařování střídavým proudem

Další možností je použití střídavého proudu. Ten nachází uplatnění výhradně při svařování hliníku, hořčíku a jejich slitin kvůli již dříve zmíněnému čistícímu účinku, který vznikne při zapojení elektrody na kladný pól. [22]

Svařování impulsním proudem

Posledním druhem svařování WIG je za použití impulsního proudu. Ten se v čase mění mezi dvěma hladinami a to základním proudem I_z a impulsním proudem I_p [22]. Hlavní výhodou jsou lepší vlastnosti svárů mechanické a plastické a celistvost, snížení náchylnosti vzniku mezikrystalové koroze u vysokolegovaných ocelí nebo možnost svařování plechů tloušťek již od 0,5 mm bez použití podložky. [16]

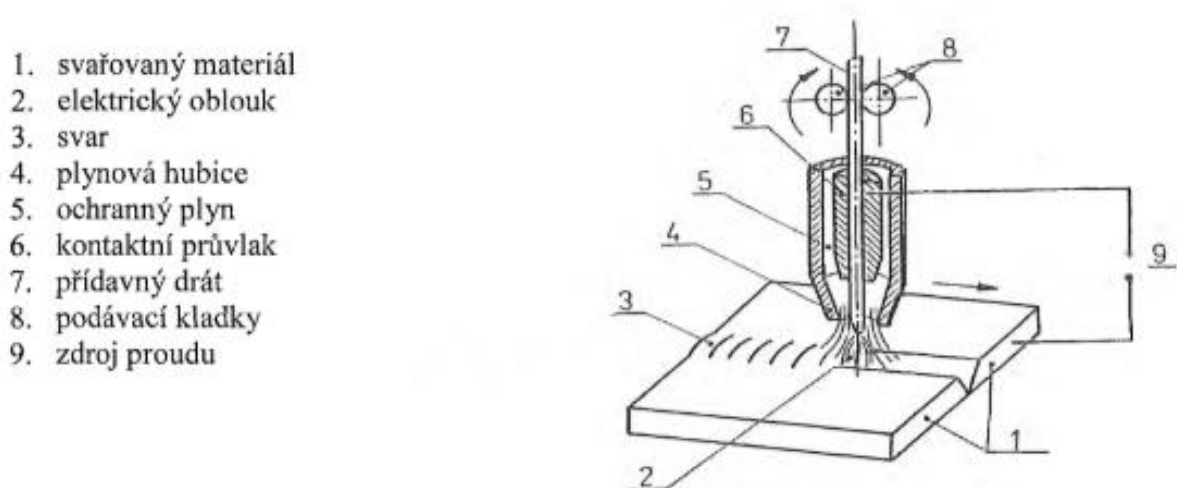
Základní proud má hodnotu nízkou 10-15 A a zajišťuje pouze ionizaci oblasti oblouku v čase. K úplnému ztuhnutí svarové lázně dochází pokud doba I_z přesáhne dvojnásobek doby pulsu, čehož se využívá při svařování vysoce legovaných ocelí. V opačném případě lázeň neztuhne, ale změní svůj rozměr. [16]

Impulsní proud slouží k natavení svarové lázně a tím i přídavného materiálu. Hodnota amplitudy a doba trvání pulsu ovlivňuje rozměry svarové lázně [16]. Díky tomu lze perfektně regulovat množství vneseného tepla a tvarování lázně [22]. Oproti hodnotě proudu při klasickém svařování je hodnota impulsního proudu menší, což vede k menší TOO a deformaci a nižším náchylnostem k praskání. [16]

2.3 Metoda MIG

Metoda MIG společně s metodou MAG je v současné době jedna z nejrozšířenějších metod svařování. Jedná se o druh obloukového svařování probíhající mezi základním materiálem a tavící se drátovou elektrodou. To vše probíhá za přítomnosti ochranného plynu, který je buď inertní (Metal Inert Gas) anebo aktivní (Metal Active Gas). Zatímco MAG se používá pro svařování nelegovaných a nízkouhlíkových ocelí, použití metody MIG je v oblasti svařování hliníkových, hořčíkových, měděných a dnes i titanových materiálů. Proto bude dál popisována pouze metoda MIG. [16; 17]

Výhody jsou např. možnost vysoké svařovací rychlosti a tím menší TOO, schopnost svařování materiálů tloušťek počínaje už 0,8 mm, minimální tvorba strusky, nízká pórovitost, dobrá kvalita svaru, několik typů přenosů kovu v oblouku aj. Metoda MIG je používána při zejména svařování hliníkových konstrukcí. [16] Schéma svařování metodou MIG/MAG je znázorněno na obr. 8.



1. svařovaný materiál
2. elektrický oblouk
3. svar
4. plynová hubice
5. ochranný plyn
6. kontaktní průvlak
7. přídavný drát
8. podávací kladky
9. zdroj proudu

Obr. 8 Princip svařování metodou MIG/MAG [16].

Ochranné plyny

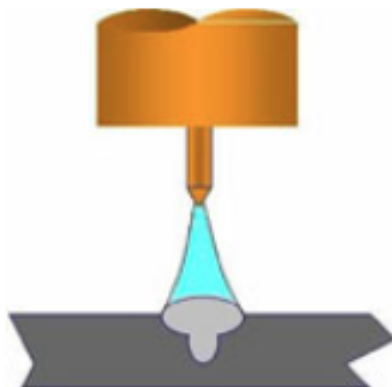
Důvodem použití ochranných plynů je zamezení vstupu vzduchu do oblasti svařování – do tavné lázně, oblouku a elektrody. V opačném případě by došlo k oxidaci a nitridaci svarového kovu, který by dále vedl ke zhoršení jeho mechanických vlastností. Ochranné plyny svým složením ovlivňují: [16; 17]

- tvorbu ionizovaného prostředí pro dobrý start a hoření oblouku
- způsob přenosu svarového kovu obloukem
- množství ostříků a rychlosti svařování
- stabilitu elektrického oblouku
- tvar a rozměr průřezu svaru
- kvalitu, celistvost a mechanické vlastnosti svarového spoje

Svařování MIG probíhá v inertních plynech a tento pojem byl vysvětlen v kapitole 2.2 Metoda WIG (TIG). Používanými plyny je čistý argon a helium, popř. u větších tloušťek jejich dvousložkové směsi 1:1 Ar + He. [7]

Argon (Ar)

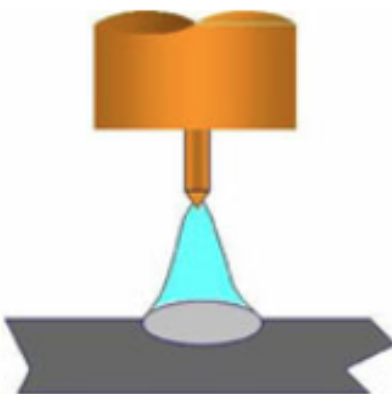
Argon je inertní, bezbarvý, jednoatomový plyn bez chuti a zápachu. Vyznačuje se malou tepelnou vodivostí a nízkým ionizačním potenciálem (15,8 eV), což přispívá k dobré zápalnosti oblouku, vysoké stabilitě a proudové zatížitelnosti a dosažení vysokých teplot. Hustota tohoto plynu je $1,784 \text{ kg.m}^{-3}$ tedy těžší než vzduch, což přispívá k velmi dobré plynové ochraně. Vizually se zformuje úzký sloupec oblouku, který vytvoří závar tradiční pro argon – úzký a hluboký viz obr. 9. Běžnou nabízenou kvalitou je čistota značená jako 4,6 tj. 99,996 % Ar. Jedná se o nejběžnější ochranný plyn nejen kvůli možnosti použití pro všechny svařitelné materiály, ale i kvůli ekonomické dostupnosti. [16; 24]



Obr. 9 Sloupec oblouku při použití argonu [24].

Hélium (He)

Hélium je jednoatomový plyn bez barvy a zápachu vyznačující se vyšší tepelnou vodivostí než argon a vyšší ionizačním potenciálem (24,6 eV), což se projevuje špatným zápalným obloukem a jeho nestabilitou. Díky nízké hustotě $0,178 \text{ kg.m}^{-3}$ je k dokonalé ochraně potřeba vyšší průtok plynu. Vizually se zformuje široký profil závaru s dobrou smáčivostí na okrajích housenky viz obr. 10. Do svařovací lázně také přivádí více tepla ve srovnání s argonem. Běžně nabízená kvalita je stejně jako u argonu 99,996 % He. [16; 24]



Obr. 10 Sloupec oblouku při použití helia [24].

Směsi argonu a helia

Směsi argonu a helia jsou samotnou skupinou inertních plynů. Nejčastější to bývají tyto poměry: (70 % Ar + 30 % He), (30% Ar + 70 % He) nebo (Ar – He 50/50). Zvyšování poměru helia způsobuje vyšší napětí na oblouku a celkový výkon oblouku. To pozitivně ovlivňuje tvar a rozměr svaru. Při použití směsi argonu s heliem dojde také ke zvýšení hloubky závaru společně se zvýšením rychlosti svařování. [17]

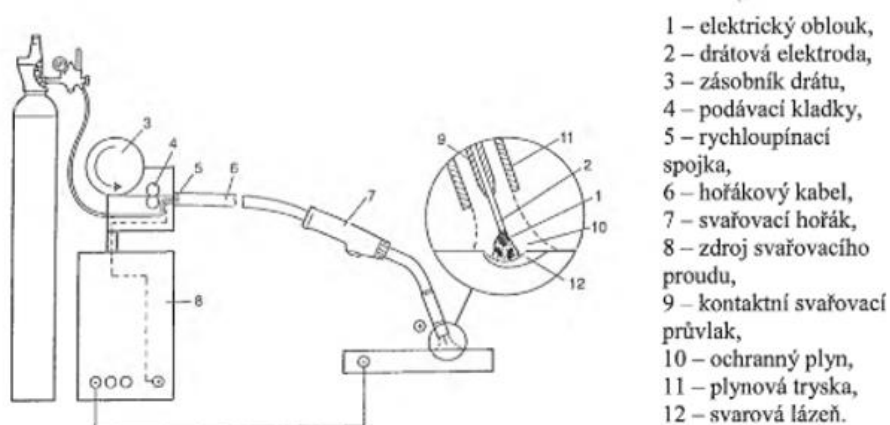
Přídavný materiál

Přídavný materiál se volí podle základního materiálu. Pro MIG/MAG jsou elektrody k dispozici ve formě plného nebo plněného drátu navinutého na cívce s běžnou hmotností 15 kg. Výjimkou jsou dráty pro robotická stanoviště, které jsou dodávány ve velkých svitcích s hmotností dosahující i 200 kg. Průměry drátů se standartně pohybují od 0,8 – 2,4 mm. Nejčastěji používaným průměrem je 0,8 a 1,6 mm. [7]

Svařovací stanice

V dnešní době je možné pořízení monofunkčních stanic výhradně pro svařování metodou MIG/MAG nebo těch multifunkčních, kdy jsou zahrnuty metoda WIG a ruční svařování obalenou elektrodou. Základními komponentami jsou (obr. 11): [16; 17]

- zdroj svařovacího proudu s řídicí jednotkou
- podavač drátové elektrody
- svařovací hořák
- multifunkční kabel hořáku s rychlospojkou
- uzemňovací kabel se svorkou
- zásobník ochranného plynu s nastavitelným ventilem



Obr. 11 Základní schéma stanice pro svařování MIG/MAG [16].

Zdroj

Ke svařování MIG se používá pouze stejnosměrný proud, kde ke kladnému pólu je připojena drátová elektroda. Lze kombinovat i se střídavým proudem. Tyto zdroje umí zajistit konstantní napětí se samoregulační schopností udržování konstantní délky oblouku. [17]

Prvním typem jsou kompaktní zdroje s nízkým až středním výkonem do 250 A, kde spolu s ním je ve skříni i podavač drátu a hořák je chlazen plynem. Druhým je výkonový zdroj s výkonem do 500-600 A, přičemž podavač drátu je oddělen a ve skříni je uložena chladicí jednotka. [16]

Podavač drátu

K nepřetržitému přísunu přídavného materiálu do hořáku slouží podavač drátu. Důležité je zajištění rovnoměrného podávání bez deformace a poškození povrchu. Pohon drátu může být jednokladkový, dvoukladkový, čtyřkladkový nebo s mimoběžnými osami. Podávací kladky se dělí podle typu drážek např. na drážku V, lichoběžníkovou, hladkou polokulatou aj. Přesnost regulace rychlosti podávání drátu je na úrovni $0,03 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$. [16; 17]

Hořák

Svařovací hořák zajišťuje přívod drátu do svarové oblasti, napájení drátu elektrickým proudem a také laminární proudění ochranného plynu. Vzhledem k vysokým teplotám, vznikajícím ve svaru, je nutné hořák chladit. Při nižších výkonech (zhruba do 150 A) chlazení zajišťuje ochranný plyn. Při těch vyšších je zapotřebí chladit proudící kapalinou. [16; 17]

Napájení drátu elektrickým proudem je zprostředkováno kontaktním proudovým průvlakem. Jelikož musí drátové elektrody napájet rovnoměrně a být elektricky vodivý, je nejčastěji vyráběn ze slitiny mědi s přidanými legurami chromu či zirkonu pro zvýšení odolnosti. I přesto se jedná o spotřební součást a třeba dbát na výměnu, jelikož při zvýšení otvoru dochází k vychylování drátu a nepravidelnostem v napájení drátu proudem. [16; 17]

Svařovací proud je spouštěn spínačem na rukojeti a nejčastěji funguje ve dvoutaktním režimu, kdy se stisknutím zapne ochranný plyn, svařovací proud a posuv drátu. Vhodné pro stehování, krátké svary a automatický režim např. na robotických pracovištích. [16; 17]

2.3.1 Metoda CMT

Metoda CMT nebo-li Cold Metal Transfer (přenos studeného kovu) je modifikací metody MIG, která je známá především pro možnost spojování hliníku a oceli. CMT kombinuje horkou část procesu se studenou. Po kontaktu drátu s tavnou lázní dojde ke zkratu, následně ke snížení intenzity proudu a drát zajíždí zpět do hubice, což napomáhá oddělení kapky bez ostříku viz obr 12. Jakmile je zkrat přerušen, drát opět vyjíždí a celý proces začíná nanovo. Jedná se tedy o oscilační pohyb s frekvencí v rozmezí 50-170 Hz. Celý tento proces posuvu drátu je digitálně řízený, což zaručuje konstantní vzdálenost a rozměr housenky. [16; 25]

V porovnání s MIG je svarová oblast o třetinu méně tepelně namáhaná (s tím jsou spojené malé tepelné deformace) a tvorba ostříků je naprosto minimální, čímž odpadají nároky na následné opracování. Zároveň rychlost svařování je dvojnásobná při stejné hloubce závaru. Obecně jsou tři hlavní aplikační oblasti: bezostřikové MIG pájení, svařování tenkých plechů a spojování hliníku a oceli. [25; 26]

Jednou z hlavních aplikačních oblastí je bezostřikové MIG pájení. Předností je minimální tvorba ostříků a možnost spojování pozinkovaných plechů, kdy ZM zůstává a taví se pouze přídavný. Dobré přemostitelnosti a malého přísunu tepla se používá při svařování hliníkových plechů tloušťek menších než 1 mm bez podložky. Dříve byla podložka nutná, aby nedošlo k propálení svaru. Takto svařovat lze nerezovou ocel i hořčík. [16; 25]

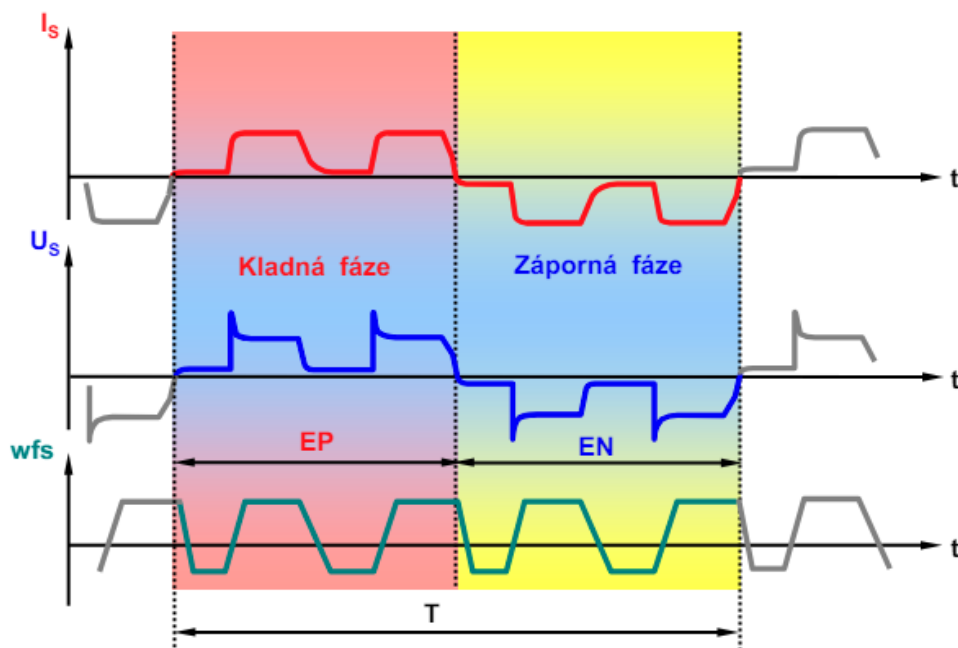
Spojení oceli a hliníku je možné pouze díky malému vnesenému teplu. Při běžném svařování je teplota v oblasti sváru vysoká, čímž vzniká křehká intermetalická fáze o značné tloušťce. Avšak za použití CMT je vlivem malého vneseného tepla do sváru fáze velmi tenká. [25; 27]



Obr. 12 Princip svařování metodou CMT [26].

CMT Advanced

Významnou modifikací je CMT Advanced. Tato metoda využívá střídavý proud jako první ze všech MIG/MAG druhů svařování. Při oddělení kapky dochází k poklesu proudu i napětí a ke změně polarity dochází během zkratu, díky čemuž je proces stabilní (obr. 13). Počet po sobě jdoucích fází a pulzů nastavuje operátor a může být libovolný. Záporné napomáhají zvyšovat tavný výkon a kladné fáze podporují čistící účinek. Oproti klasické metodě svařování CMT nabízí větší přemostitelnost a zvýšený odtavný výkon. [16; 28]



Obr. 13 Metoda CMT Advanced [19].

CMT Advanced Pulse

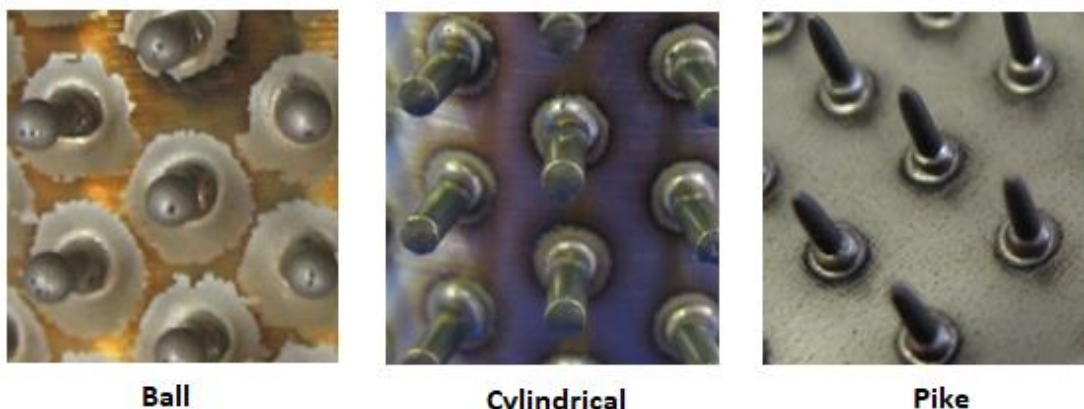
Další variantou je CMT Advanced Pulse. Tato metoda umožňuje vnesení více tepla do svaru, které zlepšuje natavení základního materiálu. Na kladné fázi hoří oblouk pouze z konce drátu, avšak u záporné fáze se oblouk natavuje na delší vzdálenost. Impulzy lze kombinovat v ideálním poměru 2 kladné fáze a 4 záporné fáze. Množství odtaveného materiálu lze regulovat množstvím zkratu v kladné nebo záporné oblasti. Svařovací napětí je pak ještě nižší než u klasického CMT. [26; 29]

CMT Pin

Technologie CMT Pin je metoda svařování pomocí které jsou na povrchu materiálu tvořeny tzv. piny připomínající hroty. Svařovací drát je nataven a spojen se ZM. Následuje výdrž v této pozici, aby došlo ke zchlazení svaru a poté se drát opět zahřeje až dojde k jeho přerušení. Tím vzniká pin o tloušťce odpovídající průměru PM a předvolené délce. Touto metodou lze spojovat různé materiály jako např. ocel s plastem nebo gumou. [30; 31]

Podle tvaru se rozlišují tři základní druhy CMT Pin viz obr. 14:

- **Ball** – pin s kuličkou na konci
- **Cylindrical** – pin ve tvaru válce
- **Pike** – pin ve tvaru hrotu



Obr. 14 Typy čepů metodou CMT Pin [29].

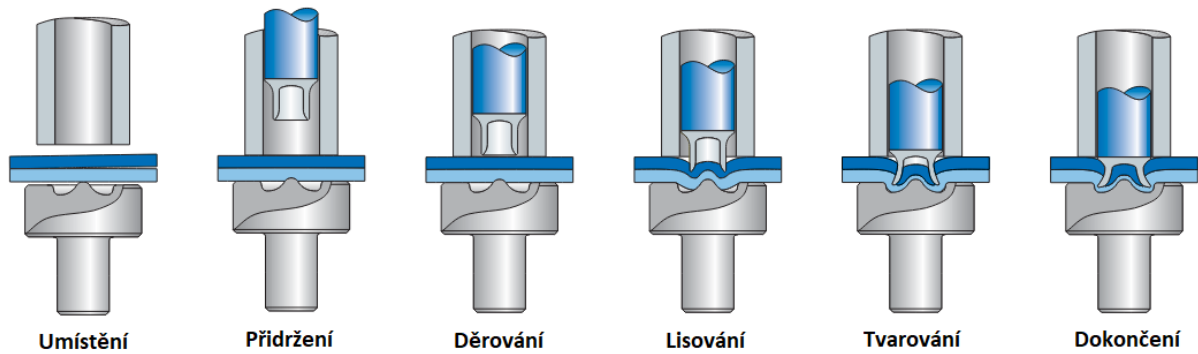
2.4 Nýtování prorážecími nýty (RIVSET)

Prorážecí nýtování je dalším druhem spojování materiálů představený německou společností Böllhoff založenou již v roce 1877 [32].

Tato technologie má řadu výhod: [33]

- absence předvrtaných děr
- vysoká dynamická pevnost spoje
- možnost spojení různých materiálů
- možnost spojení více vrstev plechů
- nenarušení materiálu v okolí spoje
- snadná reprodukovatelnost a nízká hlučnost

Proces se skládá z několika po sobě jdoucích operací zahrnující děrování, lisování nebo formování tvaru spoje viz obr. 15. Při nýtování dvou vrstev touto metodou dochází vyvinutým tlakem k prostřížení vrchního materiálu. Nýt je navržen tak, aby se při procesu, po prostřížení vrchního materiálu, zdeformoval, a tím nedošlo k prostřížení spodní vrstvy. Zároveň je deformací nýtu zajištěno zaklínění uvnitř spojovaných vrstev. Celý spoj je pak shora vtlačen do matrice. Proces je u konce, když je dosaženo předem stanoveného tlaku. Tím, že spodní vrstva není prostřížena, zachovává si spoj odolnost vůči tekutinám a plynům. [34]



Obr. 15 Princip prorážecího nýtování RIVSET [33].

Existuje několik druhů RIVSET nýtů (obr. 16), které se liší velikostí, průřezem a jejich použití závisí na aplikaci, druhu a tloušťce spojovaného materiálu, požadované pevnosti atd. Nýty samotné jsou, vyráběny z několika materiálů jako uhlíková ocel, nerezová ocel, hliník aj. Rozdílná je také jejich pevnost, která je daná především konstrukcí a dále povrchové úpravy, které slouží buď k dosažení vysoké korozní odolnosti nebo plní estetickou funkci, jelikož nýty lze i lakovat. Pro náročnější aplikace byly vyvinuty robustnější nýty RIVSET HDX. schopny spojit vysoce pevné oceli s pevností v tahu až 1600 MPa a tloušťkou vrchní vrstvy až 1,8 mm. [33]



Obr. 16 Druhy prorážecích nýtů RIVSET [33].

Tato technologie může být před samotným nýtováním doplněna o lepení a takový spoj pak nazýváme hybridním. Hybridním je nazýván takový spoj, k jehož realizaci byly použity dvě metody spojování materiálu. Jedná se o lepení v kombinaci s jinou metodou. [35]

3 PRAKTICKÁ ČÁST

Porovnání nýtového a svarového spoje bylo provedeno na dvou kufrech. Jeden byl vyroben hybridním nýtováním a druhý je svařovaný metodou CMT viz obr. 17. V obou případech se jednalo o hliníkovou slitinu EN AW-5754 H111.

Slitina EN AW 5754 H111

Jedná se o jednu z nejrozšířenějších konstrukčních hliníkových slitin řady 5000. Patří mezi nevytvrditelné slitiny se střední pevností pohybující se v rozmezí 160-200 MPa a tažností kolem 12 % [36]. H111 značí stav žíhaný a mírně deformačně zpevněný. [1]

Vlastnostmi tato slitina vyniká především velmi dobrou odolností vůči korozi, která je při běžných podmínkách srovnatelná s hliníkem o čistotě 99,5 % a v mořském prostředí ještě vyšší a dále vynikající svařitelností [37]. Slitina má vysokou mez únavy, je dobře obrobitelná a tvarovatelná za studena. Povrch je velmi dobře leštitelný a schopný dosáhnout kvalitní úrovně eloxování. [37]

Nejširší oblastí použití je potravinářský (tlakové nádoby), chemický (úložné nádrže), strojírenský (silniční stožáry a jiné konstrukce) a dopravní průmysl. Pro svou dobrou svařitelnost (především metodami MIG a TIG) a korozně odolné svary se využívá i na stavbu konstrukcí nebo dopravních prostředků, provozovaných v nehostinných prostředích jako jsou např. ropné plošiny nebo lodě. [37; 38; 39]

Naše konkrétní slitina pochází z tavby S11116148 a její materiálový list č. 3707 je zobrazen v příloze 1. Chemické složení je popsáno v tab. 2. a mechanické vlastnosti v tab. 3.

Tab. 2 Chemické složení slitiny EN AW 5754 H111 [5].

	Mg	Si	Fe	Mn	Cu	Zn	Cr
Obsah [%]	3,0	0,37	0,31	0,23	0,08	0,06	0,03

Tab. 3 Vybrané mechanické vlastnosti slitiny EN AW 5754 H111 [5].

R_m [MPa]	$R_{p0.2}$ [MPa]	A [%]
190 - 240	80	14



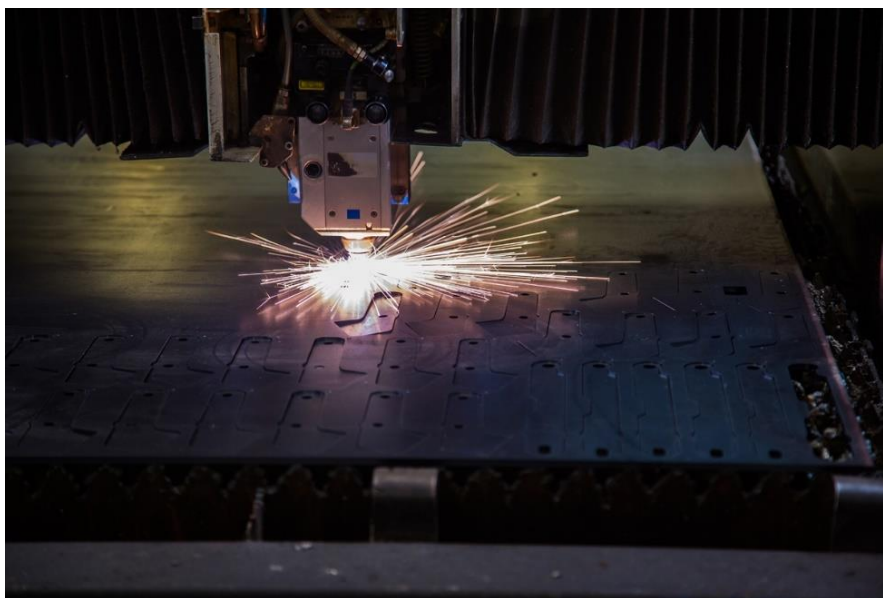
Obr. 17 Nýtovaný a svařovaný kufr [5].

3.1 Postup výroby

Postup výroby jednotlivých komponentů pro obě varianty je identický:

- laserové řezání (obr. 18)
- lisování loga (obr. 19)
- ohraňování na ohraňovacím lisu (obr. 20)

Nejprve jsou z hliníkové tabule tloušťky 1,5 mm zhotoveny výpalky. K tomu je využíváno CO₂ laserové pracoviště značky TRUMPF. Jedná se velmi rychlý a přesný proces.



Obr. 18 Řezání laserem [5].

Logo je lisováno na dalším pracovišti pomocí hydraulického lisu. Dle typu kufru se může jednat buď o logo SW-MOTECH nebo logo konkrétního OEM zákazníka např. SUZUKI. Při lisování je důležité matrici po každém kusu profouknout vzduchem, aby bylo zamezeno přítomnosti nečistot, které by se při zdvihu mohly obtisknout do výpalku.



Obr. 19 Lisování loga [5].

Následným výrobním krokem je ohraňování na ohraňovacím lisu. Celý kufr se skládá z 18 ohybů a je velmi důležité dosáhnout maximální přesnosti u každého z nich. Tím bude mít díl už po ohraňování podobu finálního tvaru a přilehlé hrany na sebe budou krásně doléhat. V opačném případě budou hrany buď moc daleko nebo příliš blízko u sebe. Obě možnosti jsou kritické pro následné svařování, které tím činí velmi náročné.



Obr. 20 Ohýbání na ohraňovacím lisu [5].

Nýtovaná varianta

U nýtování, na rozdíl od svařování, musí být kufr před zahájením procesu již povrchově upraven. Nýtování je totiž, vyjma balení, poslední operací. Nejprve je na oblasti, které budou později nýtovány, aplikováno lepidlo. Typ lepidla je jednokomponentní polyuretan a jinou oblastí použití je např. lepení skel u automobilů.

Nýtování je realizováno montážním systémem značky Böllhoff viz obr. 21. Jedná se o nýtovačku ve tvaru C a malým trnem, což umožňuje dobrou manipulaci s dílem. Jako spojovací materiál jsou používány nýty typu C-SKR také značky Böllhoff. Jedná se o ocelové nýty určené pro tloušťku materiálu 3 mm.

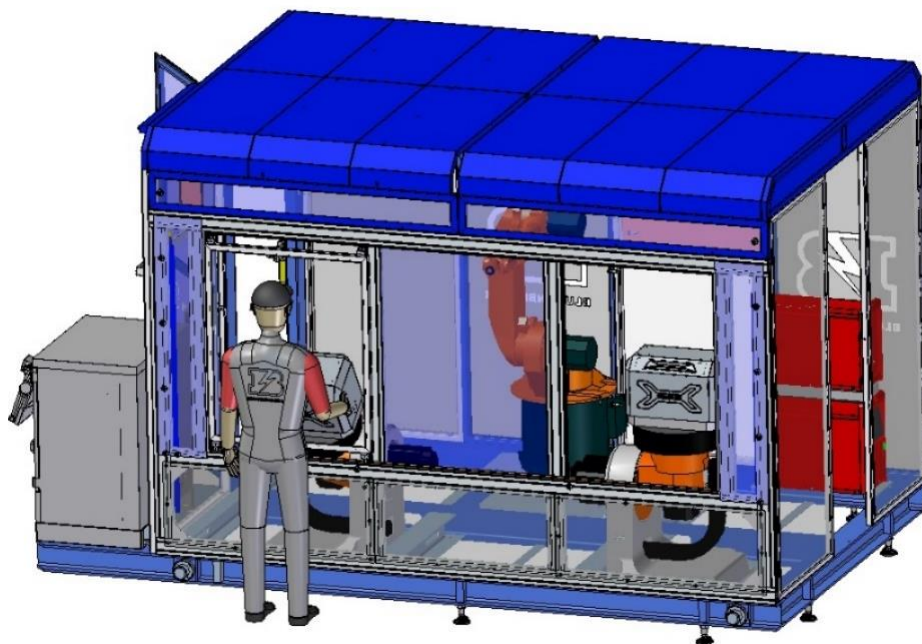
Následně je důležité tmel nechat vytvrdnout. Snýtováním plechů dochází k velké kompresi a tím i k vytlačení části tmelu na pohledové plochy, a proto je potřeba ho mechanicky odstranit. Nakonec je snýtovaný kufr podroben tlakové zkoušce za účelem zjištění těsnosti popisované u níže uvedené svařované varianty.



Obr. 21 Nýtovací zařízení Böllhoff.

Svařovaná varianta

Z ohraňovacího lisu dorazí kufr na speciální robotické pracoviště. Toto pracoviště disponuje robotem a polohovadly značky Kuka (obr 22. a obr. 23) a svařovacím agregátem Fronius.

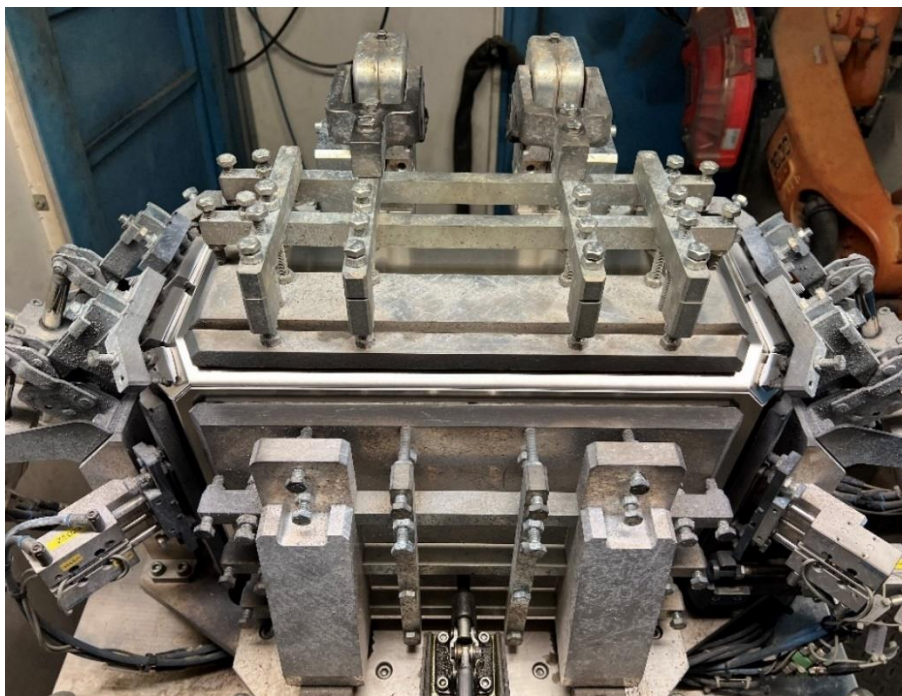


Obr. 22 Schéma robotického pracoviště [5].



Obr. 23 Robotické pracoviště.

Nejprve je do přípravku vložen ohraněný díl. Je důležité zkontrolovat, že je v přípravku správně ustaven (obr. 24) a hrany lícují (obr. 25) Následně je na zadní stranu přiložen další výpalek, který po svaření tvoří záda. Když je vše připraveno, je zahájeno svařování.



Obr. 24 Uložení kufru do svařovacího přípravku.



Obr. 25 Ukázka správného ustavení.

Svařovací parametry

Parametry používané pro svařování hliníkových kufrů jsou popsány v tab. 4.

Tab. 4 Svařovací parametry [5].

U [V]	I [A]	v_s [mm.s ⁻¹]	η
11,8	92	108,3	0,8

Následně byl z parametrů vypočítán tepelný příkon dle rovnice X

$$Q = \eta \cdot \frac{U \cdot I}{v_s \cdot 1000} \text{ [kJ} \cdot \text{mm}^{-1}] \quad (\text{X})$$

$$Q = 0,8 \cdot \frac{11,8 \cdot 92}{10 \cdot 1000} = 86,8 \cdot 10^{-3} \text{ kJ} \cdot \text{mm}^{-1}$$

kde:

- U – svařovací napětí [V]
- I – svařovací proud [A]
- v_s – svářecí rychlost [mm.s⁻¹]
- η - účinnost

Svařovací drát

Jako přídavný materiál (dále jen PM) je používán svařovací drát AlMg5 OK AUTROD 5356 o průměru 1,2 mm s číslem tavby PVX4711945. Inspekční certifikát 3.1 č. 327/2024 je zobrazen v příloze 2. Chemické složení drátu je popsáno v tab. 5 a mechanické vlastnosti v tab. 6.

Tab. 5 Chemické složení svařovacího drátu AlMg5 [5].

	Mg	Si	Fe	Mn	Cu	Zn	Cr
Obsah [%]	3,0	0,37	0,31	0,23	0,08	0,06	0,03

Tab. 6 Mechanické vlastnosti svařovacího drátu AlMg5 [5].

R_m [N · mm ⁻²]	$R_{p0,2}$ [N · mm ⁻²]	A [%]
265	120	23

Svařování je zajišťováno agregátem značky Fronius disponujícího metodou CMT. Důležitou roli hraje i pořadí svarů, které je definováno na základě řady praktických zkoušek, které jsou však součástí know-how firmy SW-MOTECH, a proto nebude detailněji popisováno. I přesto, že už sama metoda CMT způsobuje minimální tepelné deformace, je navíc podpořena svařovacím přípravkem s integrovaným chlazením. Jako svařovací plyn je používán argon čistoty 4.6.

Po dokončení svařování (obr. 26) je kufr vyjmut z přípravku a podroben tlakové zkoušce viz obr. 27. Díl je přitlačen na gumovou podložku, ve které je otvor přivádějící vzduch dovnitř kufru. Následně je na základě výsledku kufr poslán buď dál na povrchovou úpravu nebo v případě netěsnosti na opravu. V tomto případě je velkou výhodou svařované varianty oproti nýtované možnost okamžité a hlavně rychlé nápravy. Součástí svařovacího pracoviště je totiž, právě pro tyto účely, ruční TIG svářečka. Operátoři tak mohou kufr během pár sekund opravit a robot mezitím svařuje další kus, takže nedochází k žádným prostojům.



Obr. 26 Ukázka rohového svaru.



Obr. 27 Pracoviště na zkoušku těsnosti.

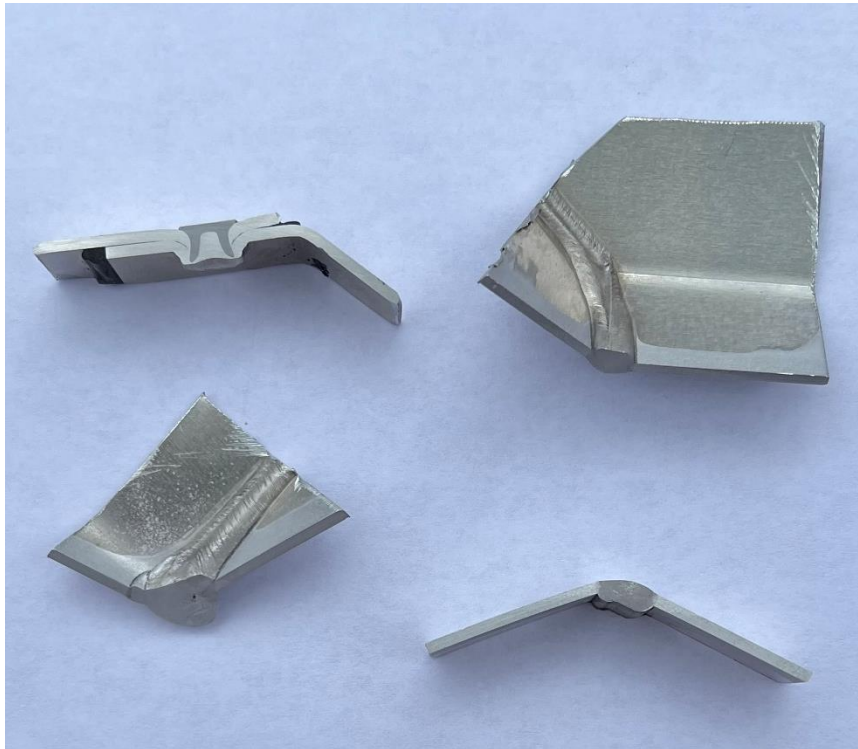
3.2 Makroskopická kontrola

V praktické části této bakalářské práce byly z obou kufrů odejmuty vzorky. U nýtované varianty byl vyříznut kousek, který obsahoval nýt i lepidlo. U svařované varianty byly vyříznuty tři vzorky, jelikož během svařování jsou některá místa více tepelně zatěžována, a proto se předpokládá, že při makroskopické kontrole se budou pohledy lišit.

Poté se zkoumané plochy všech vzorků přebrousily. Vzorky byly broušeny na rotujícím kotouči, který byl navíc chlazen vodou, aby nedošlo k zahřátí vzorků a tím ke změně TOO. Broušení probíhalo na brusných papírech od zrnitosti 180 až 800. Nejprve byl použit kotouč s větší drsností až bylo dosaženo rovné plochy.

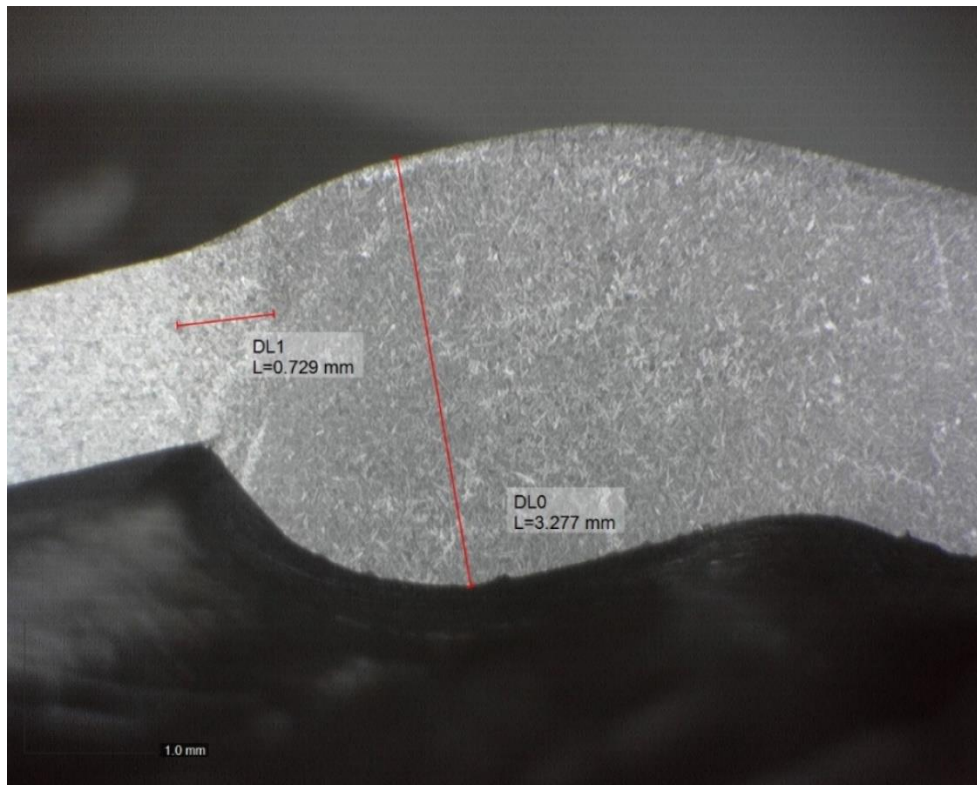
Pak byly plochy naleptány v roztoku hydroxidu sodného a vody. Leptání v tomto roztoku vede k odstranění oxidační vrstvy Al_2O_3 a naleptá svarový spoj v ZM viz obr. 28 a dále odhalí případné defekty, které budou viditelné pod mikroskopem.

Nakonec se přistoupilo k makroskopické kontrole. Makroskopická kontrola je kontrola svarového spoje z důvodu rozměru, tvaru svarového kovu a vad např. trhlinám, pórům, vměstkům a dalším. Prováděna je při zvětšení menším než 60násobném. [40]

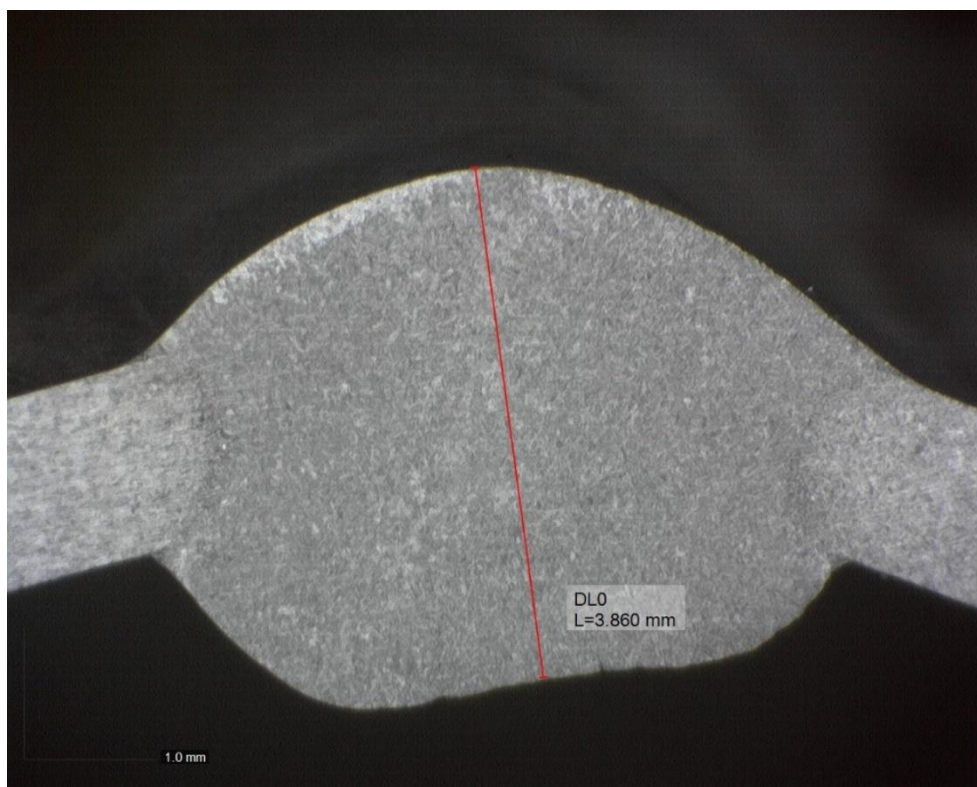


Obr. 28 Vzorky po naleptání v roztoku hydroxidu sodného a vody.

U obou svarových vzorků na obr. 29 a obr. 30 je patrný kvalitní a hluboký průvar o délce DL0. U prvního vzorku byla změřena i TOO, která má délku DL1, tudíž se jedná o TOO velmi typickou pro svařování metodou CMT. Oba vzorky jsou bez jakýchkoliv vad.



Obr. 29 Vzorek průběžného svaru.



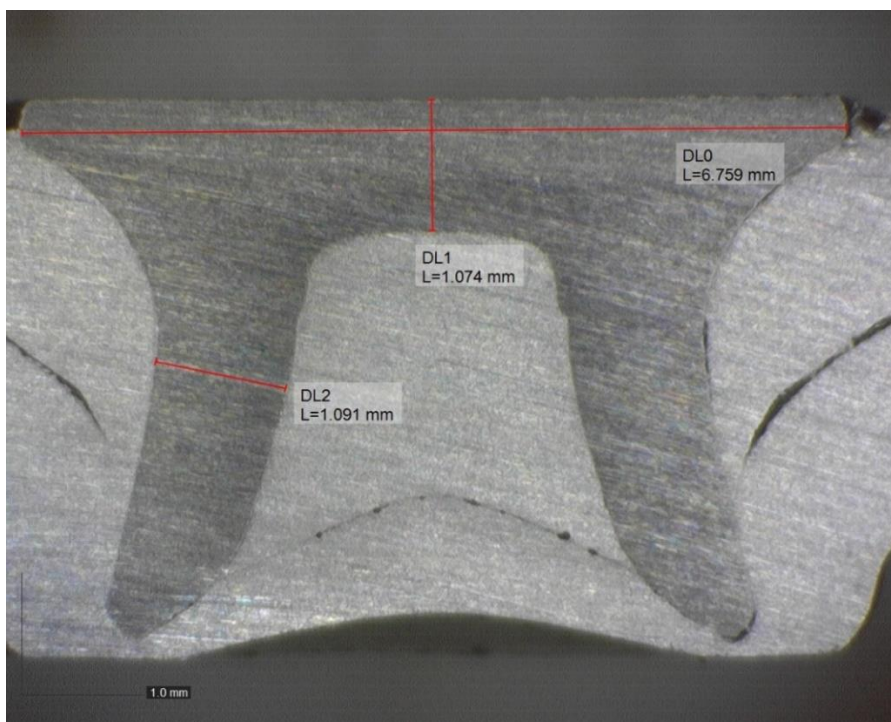
Obr. 30 Vzorek rohového svaru.

U koutového vzorku lze již okem pozorovat pór a mikrořediny. Ten pravděpodobně vznikl z důvodu více vneseného tepla a objemu svarového kovu v důsledku křížení drah svařovacího robota. Avšak dle jeho velikosti DL0 (obr. 31) má na funkci zanedbatelný vliv.



Obr. 31 Detail póru.

U nýtovaného vzorku lze pozorovat velmi zřetelně deformaci nýtu (obr. 32) včetně změřených délek.



Obr. 32 Detail nýtového spoje.

4 EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ

V této kapitole bude probrána časová a finanční náročnost obou metod. Výrobní časy byly osobně změřeny nebo poskytnuty firmou SW-MOTECH stejně jako ceny.

4.1 Nýtování

Výpočet doby nýtování

Výsledný čas nýtování t_n je dán součtem všech tří kroků jako nanesení tmelu, nýtování a následné čištění vytlačeného tmelu dle vztahu 4.1. Všechny časy jsou včetně manipulace.

$$t_n = t_{n1} + t_{n2} + t_{n3} \quad (4.1)$$

$$t_n = 0,7 + 3,3 + 5 = 9 \text{ min}$$

Kde: t_{n1} – čas nanesení tmelu [min]

t_{n2} – čas nýtování [min]

t_{n3} – čas čištění [min]

Potom po započítání minutové sazby za každý krok jsou náklady času nýtování N_{tn} vypočítány vztahem:

$$N_{tn} = 0,7 \cdot 10 + 3,3 \cdot 10 + 5 \cdot 8 = 80 \text{ Kč} \quad (4.2)$$

Výpočet nákladů na nýtovací materiál

Celkový počet nýtů použitých ke kompletaci jednoho kufru činí 18 ks. Celkové náklady na nýty N_n jsou tedy:

$$N_n = C_n \cdot n \quad (4.3)$$

$$N_n = 0,155 \cdot 18 = 2,79 \text{ Kč}$$

Kde: C_n – cena jednoho nýtu [Kč]

n – počet použitých nýtů [ks]

Výpočet spotřeby tmelu

Celková délka L , na kterou je nanášen tmel je 115 cm. Hmotnost tmelu byla počítána z délky housenky, která má průřez rovnostranného trojúhelníku o výšce 5 mm. Hmotnost celkového použitého tmelu m_t byla spočítána dle vztahu 4.4:

$$m_t = S \cdot \rho_t \cdot L = \frac{a \cdot v_a}{2} \cdot \rho_t \cdot L \quad (4.4)$$

$$m_t = \frac{(5,7735 \cdot 5) \cdot 10^{-6}}{2} \cdot 2000 \cdot 1,15 = 0,033 \text{ kg}$$

Kde: a – strana trojúhelníku [m]

v_a – výška trojúhelníku [m]

ρ_t – hustota tmelu [$\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$]

L – délka housenky [m]

Celková cena použitého tmelu je dána vztahem:

$$N_t = m_t \cdot C_{tj} \quad (4.5)$$

$$N_t = 0,033 \cdot 613,5 = 20,25 \text{ Kč}$$

Kde: C_{tj} – cena za 1 kg tmelu [$\text{Kč} \cdot \text{kg}^{-1}$]

Celkové náklady nýtování

Celkové náklady jsou vypočítány jako součet předchozích nákladů dle vztahu 4.6.

$$N_{nc} = N_n + N_t + N_{tn} \quad (4.6)$$

$$N_{nc} = 2,79 + 20,25 + 80 = 103,04 \text{ Kč}$$

4.2 Svařování

Výpočet doby svařování

Čistý čas svařování jednoho kufru je 2,8 min/ks. K tomuto času je nutné přičíst vedlejší časy potřebné k přejezdům robota mezi jednotlivými svary a pohybu polohovadel. Dále je třeba zahrnout manipulační časy operátora na vložení a vyjmutí kufru do svařovacího přípravku. Kompletní cyklus svařování byl vypočítán dle vztahu 4.7:

$$t_s = t_{s1} + t_{s2} + t_{s3} \quad (4.7)$$

$$t_s = 2,8 + 0,7 + 1 = 4,5 \text{ min}$$

Kde: t_{s1} – čistý čas svařování [min]

t_{s2} – vedlejší časy svařování [min]

t_{s3} – manipulační čas [min]

Po vynásobení minutovou sazbou 12 Kč dostaneme cenu celkového času svařování:

$$N_{ts} = 4,5 \cdot 12 = 54 \text{ Kč} \quad (4.8)$$

Výpočet nákladů na přídatný materiál

Svařovací drát je navinut na cívce o hmotnosti 7 kg. Celková délka navinutého drátu je 2 370 m. Délka spotřebovaného PM na jeden kufr je 15,96 m. Tato spotřeba je však pouze teoretická, jelikož v průběhu procesu svařování je třeba zůstatek drátu na cívce kontrolovat. V případě, že by drát došel během svařování, vznikl by zmetkový kus. Na tyto případy je vyčleněno 1% délky navinuté na cívce. Celková cena spotřebovaného PM byla vypočítána dle vztahu 4.9:

$$C_{pm} = \frac{C_b}{L_c - L_m} \quad (4.9)$$

$$C_{pm} = \frac{2156}{2370 - 0,01 \cdot 2370} = 0,9189 \text{ Kč} \cdot \text{m}^{-1}$$

Kde: C_{pm} – cena PM za 1 m [$\text{Kč} \cdot \text{m}^{-1}$]

L_c – celková délka na cívce [m]

L_m – manipulační délka [m]

Následně celkové náklady PM jsou vypočítány ze vztahu 4.10:

$$N_{pm} = C_{pm} \cdot L_s \quad (4.10)$$

$$N_{pm} = 0,9189 \cdot 15,96 = 14,67 \text{ Kč}$$

Kde: L_s – spotřebovaná délka drátu na 1 kufr [m]

Výpočet nákladů na svařovací plyn

Argon je uložen ve svazku 12x50 litrových lahví. Celkový objem plynu činí 183 400 l o celkové ceně 16 470 Kč. Stejně jako u PM i zde je důležité počítat s jistou rezervou, aby se předešlo vzniku zmetkového kusu v důsledku absence plynu. Avšak v současné době jsou zásobníky průběžně doplňovány během provozu, proto je absence plynu vyloučena a nebude brána v potaz. Náklady na svařovací plyn N_{sp} byly vypočítány ze vztahu 4.11.

$$N_{sp} = q \cdot t_s \cdot C_j \quad (4.11)$$

$$N_{sp} = 14 \cdot 2,8 \cdot \frac{16\,470}{183\,400} = 3,52 \text{ Kč}$$

Kde: q – průtok plynu za 1 min [$l \cdot m^{-1}$]

C_j – cena 1 l argonu [$Kč \cdot l^{-1}$]

Celkové náklady svařování

Celkové náklady na svařování jsou součtem přechozích nákladů.

$$N_{sc} = N_{ts} + N_{pm} + N_{sp} \quad (4.12)$$

$$N_{sc} = 54 + 14,67 + 3,52 = 72,19 \text{ Kč}$$

ZÁVĚR

Tato bakalářská práce se zabývala porovnáním nýtované a svařované varianty výroby kufrů. Cílem bylo posoudit, která z metod je vhodnější jak z technického, tak z ekonomického pohledu. Vypracování této práce proběhlo ve spolupráci s firmou SW-MOTECH, která poskytla dva kompletní kufry, každý zhotovený jednou z uvedených technologií. Základním předpokladem pro nýtování bylo, že tato metoda bude technologicky jednodušší, avšak časově náročnější a pracnější. Naopak předpokladem svařované varianty metodou CMT byla technologicky větší náročnost, avšak po správném nastavení rychlejší a kvalitnější produkce.

V praktické části byly za účelem zkoumání kvality spojů odebrány vzorky z každého kufru. U nýtovaného kufru byl vybrán vzorek obsahující nýt, aby bylo možno zkontrolovat kvalitu spoje, tzn. přítomnost tmelu a deformaci nýtu. Kvalitu tohoto spoje bylo možno vyhodnotit pouhým okem. U svařované varianty byly vybrány celkem tři vzorky, jelikož v důsledku křížení drah při svařování, nejsou svary stejné. Ty byly následně naleptány a byla provedena makroskopická kontrola. Kontrola neodhalila žádné defekty, naopak ukázala hluboký průvar a malou tepelně ovlivněnou oblast.

V ekonomickém zhodnocení bylo prokázáno, že uvažované předpoklady pro obě technologie byly správné. Bylo provedeno porovnání času potřebného pro jednotlivé výrobní operace a dále porovnání spotřebního materiálu pro obě varianty. Čas svařování byl oproti času nýtování poloviční a to při zahrnutí hodinové sazby operací znamená třetinovou úsporu nákladů. Ceny spotřebního materiálu svařování, což je svařovací drát a svařovací plyn, byly oproti ceně spotřebního materiálu pro nýtování zahrnující tmel a nýty zhruba o pětinu nižší. Celková cena svařování je tedy oproti nýtované variantě úspornější o 30 %.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

1. MICHNA, Štefan a MICHNOVÁ, Lenka. *Neželezné kovy*. Děčín: Štefan Michna, Lenka Michnová, 2014. ISBN 978-80-260-7132-7.
 2. ŠMEJKALOVÁ, Jana. Jak na hliník? *MM Průmyslové spektrum* [online]. 2015 [cit. 2024-04-26]. Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/clanek/jak-na-hlinik>
 3. Sustainability – Recycling. *Recycling / Aluminum Association* [online]. [cit. 2024-04-26]. Dostupné z: <https://www.aluminum.org/Recycling>
 4. Hliník. *Navio* [online]. [cit. 2024-04-26]. Dostupné z: <https://www.navio.cz/slovník-pojmu/hlinik/>
 5. Interní firemní dokumenty SW-MOTECH s.r.o
 6. SEDLÁČEK, Vladimír. *Neželezné kovy a slitiny*. Praha: SNTL, 1979, s. 180-263.
 7. FOLDYNA, Václav et al. *Materiály a jejich svařitelnost: učební texty pro kurzy svářečských inženýrů a technologů*. Svařování. Ostrava: ZEROSS, 1999. ISBN 80-85771-63-2.
 8. ROUČKA, Jaromír. *Metalurgie neželezných slitin*. [online]. 2004. [cit. 2024-04-27]. Dostupné z: <https://ust.fme.vutbr.cz/slevarenstvi/sites/default/files/clanky/metalurgie-nezelezných-kovu/metalurgienezeleznýchkovu-skripta.pdf>
 9. Hliník – normy a slitiny. *Atreon* [online]. [cit. 2024-04-26]. Dostupné z: <https://www.atreon.cz/normy-jakosti/normy-a-slitiny-hlinik/>
 10. Aluminum Grades. *TM Total Materia* [online]. [cit. 2024-04-26]. Dostupné z: <https://www.totalmateria.com/en-us/material-basics-properties/aluminum-grades/>
 11. Informace o hliníku a jeho slitinách. *Hliníkové profily proal* [online]. [cit. 2024-04-26]. Dostupné z: <https://proal.cz/hlinik/>
 12. *Metalurgie slitin hliníku*. Strojnické tabulky online. [online]. [cit. 2024-04-26]. Dostupné z: <https://www.strojnicketabulkyonline.cz/odlevani/metalurgie-slitin-hliniku/>.
 13. Normování a popis hliníku a jeho slitin. *ALUNET.cz* [online]. [cit. 2024-04-26]. Dostupné z: <http://www.alunet.cz/normovani-a-popis-hliniku-a-jeho-slitin>
 14. MICHNA, Štefan. *Encyklopedie hliníku*. Prešov: Adin, 2005. ISBN 80-890-4188-4.
 15. Tepelné zpracování. *ALUNET.cz* [online]. [cit. 2024-04-27]. Dostupné z: <http://www.alunet.cz/tepelne-zpracovani>
 16. *TECHNOLOGIE SVAŘOVÁNÍ A ZAŘÍZENÍ: Učební texty pro mezinárodní/evropské svářečské inženýry a technology (I/EWE, I/EWT)*. Brno: Česká svářečská společnost ANB, VUT v Brně, FSI, odbor svařování - ATB 2, 2016.
 17. *Technologie svařování a zařízení: učební texty pro kurzy svářečských inženýrů a technologů*. Svařování. Ostrava: ZEROSS, 2001. ISBN 80-85771-81-0
 18. KOUTNÝ, Jiří. Hliníkové materiály a možnosti jejich svařování. *Svarinfo.cz: Magazín praktického svařování* [online]. 1998, 2006 [cit. 2024-04-20]. Dostupné z: <https://www.svarbazar.cz/phprs/storage/hlinik.pdf>
 19. KUBÍČEK, Jaroslav. *TECHNOLOGIE II ČÁST SVAŘOVÁNÍ – I* [online]. [cit. 2024-04-28]. Dostupné z: https://ust.fme.vutbr.cz/svarovani/img/opory/5te_technologie_II_opora_svarovani_2018_I_kubicek.pdf
 20. KOLAŘÍK, Ladislav a Karel KOVANDA. Svařitelnost hliníkových slitin. *MM průmyslové spektrum* [online]. 2011 [cit. 2024-04-28]. Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/clanek/svaritelnost-hlinikovych-slitin>
-

21. KOLÁŘ, Vladislav. Svařitelnost hliníkových slitin: Svařitelnost hliníkových slitin. *Česká svářečská společnost ANB* [online]. 2015 [cit. 2024-04-28]. Dostupné z: <https://www.cws-anb.cz/t.py?t=2&i=502>
22. BROŽ, Ondřej. *Obloukové svařování wolframovou elektrodou v inertním plynu WIG (TIG) - 141* [online]. 2017 [cit. 2024-04-20]. Dostupné z: <https://docplayer.cz/10485186-Obloukove-svarovani-wolframovou-elektrodou-v-inertnim-plynu-wig-tig-141.html>
23. Metoda TIG - základní seznámení. *Svarecky-elektrody.cz* [online]. [cit. 2024-04-20]. Dostupné z: <https://www.svarecky-elektrody.cz/radce-svarece/metoda-tig-zakladni-seznameni/>
24. Ochranné plyny pro obloukové svařování. *T+T Technika a trh* [online]. 2009 [cit. 2024-04-20]. Dostupné z: <https://www.technikaatrh.cz/aktuality/ochranne-plyny-pro-obloukove-svarovani>
25. Nový standard ve svařovací technice Proces CMT (Cold Metal Transfer). *Technický týdeník* [online]. 2006 [cit. 2024-04-28]. Dostupné z: https://www.technickytydenik.cz/rubriky/archiv/novy-standard-ve-svarovaci-technice-proces-cmt-cold-metal-transfer_10667.html
26. COLD METAL TRANSFER. *HBT weld* [online]. [cit. 2024-04-28]. Dostupné z: <https://hbt-weld.cz/app/uploads/2019/02/CMT-COLD-METAL-TRANSFER.pdf>
27. Fronius CMT Cold Metal Transfer. *Toolec Inc* [online]. [cit. 2024-04-28]. Dostupné z: <https://www.toolec.com.ph/products/high-technology-welding-welding/fronius-cmt-cold-metal-transfer>
28. EDER, Thomas. Na hranici obloukového svařování – technologické a aplikační inovace s CMT Advanced. *Technologické a aplikační inovace s CMT Advanced* [online]. 2010 [cit. 2024-04-28]. Dostupné z: <http://old.konstrukce.cz/clanek/na-hranici-obloukoveho-svarovani-technologicke-a-aplikacni-inovace-s-cmt-advanced/>
29. MILLINGER, Andreas. *The CMT process*. Presentace. Wels. Fronius International GmbH
30. Cmt pin: pro velmi pevná spojení kovu a plastu: pro velmi pevná spojení kovu a plastu. *Fronius* [online]. [cit. 2024-04-28]. Dostupné z: <https://www.fronius.com/cs-cz/czech-republic/perfect-welding/svet-svarovani/fronius-welding-processes/cmt-pin>
31. REIS, Ruham et al. Fiber-Metal Laminate Panels Reinforced with Metal Pins. *IntechOpen* [online]. 2018 [cit. 2024-04-28]. Dostupné z: <https://www.intechopen.com/chapters/62942>
32. Historie naší společnosti. *Böllhoff* [online]. [cit. 2024-05-09]. Dostupné z: <https://www.boellhoff.com/cz-cs/historie/>
33. Ke stažení: Lisovací nýtování pro moderní konstrukce z kombinací různých druhů materiálů. *Böllhoff* [online]. [cit. 2024-05-09]. Dostupné z: <https://www.boellhoff.com/cz-cs/vyrobky/specialni-spojovaci-prvky/lisovaci-nytovaci-technika-rivset/#c378>
34. RIVSET® Self-Pierce Riveting. *CEFIP* [online]. [cit. 2024-05-09]. Dostupné z: <https://www.cefip.com.tr/images/katalog/22.pdf>
35. KUBÍČEK, Jaroslav. *TECHNOLOGIE HYBRIDNÍHO SPOJOVÁNÍ* [online]. [cit. 2024-05-09]. Dostupné z: https://ust.fme.vutbr.cz/svarovani/img/opory/hpu_renovace_a_povrchove_upravy_hybridni_spojovani_2020_kubicek.pdf
36. EN AW-5754 H114 (AlMg3 W19), EN AW-5754 H12/H22 (AlMg3 F22/G22). *ALUNET.cz* [online]. [cit. 2024-04-27]. Dostupné z: <http://www.alunet.cz/ENAW-5754>

37. Slitina EN AW-5754 (AlMg3). *Hliníkové profily proal* [online]. [cit. 2024-04-27]. Dostupné z: <https://proal.cz/hlinik/slitiny-hliniku/en-aw-5754/>
38. Značení slitin hliníku. *ALU A-Z spol. s r.o* [online]. [cit. 2024-04-27]. Dostupné z: <https://aludecin.cz/znaceni-slitin-hliniku>
39. Hliník: EN AW-5754. *Primapol* [online]. [cit. 2024-04-27]. Dostupné z: <https://www.primapol.cz/produkty/hlinik/>
40. TREJTNAR, Josef. Destruktivní zkoušky svarových spojů: Makroskopická a mikroskopická kontrola. *Techportál.cz* [online]. 2017 [cit. 2024-05-09]. Dostupné z: <https://www.techportal.cz/33/destruktivni-zkousky-svarovych-spoju-uniqueidmRRWSbk196FNf8-jVUh4Eoqedn9IqOoGWh5CTKyYaSk/>

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

Symboly

Označení	Legenda	Jednotka
A	tažnost	[%]
C _b	cena cívky svařovacího drátu	[Kč]
C _j	cena 1 litru argonu	[Kč·l ⁻¹]
C _n	cena nýtu	[Kč]
C _{pm}	cena za 1 m přídavného materiálu	[Kč·m ⁻¹]
C _{ij}	cena za 1 kg tmelu	[Kč·kg ⁻¹]
I	proud	[A]
L _c	celková délka svařovacího drátu na cívce	[m]
L _m	manipulační délka svařovacího drátu	[m]
L _s	spotřebovaná délka přídavného materiálu	[m]
m _t	hmotnost tmelu	[kg]
N _{nc}	celkové náklady nýtování	[Kč]
N _{pm}	náklady za přídavný materiál	[Kč]
N _{sc}	celkové náklady svařování	[Kč]
N _{sp}	náklady za svařovací plyn	[Kč]
N _t	cena použitého tmelu	[Kč]
N _{tn}	celkové náklady nýtování	[Kč]
N _{ts}	celkové náklady svařování	[Kč]
Q	tepelný příkon	[kJ·mm ⁻¹]
q	průtok svařovacího plynu	[l·min ⁻¹]
R _m	mez pevnosti	[Mpa]
R _{p0,2}	smluvní mez kluzu	[Mpa]
S	obsah průřezu tmelové housenky	[m ²]
t _n	celkový čas nýtování	[min]
t _{n1}	čas nanesení tmelu	[min]
t _{n2}	čas nýtování	[min]
t _{n3}	čas čištění	[min]
t _s	celkový čas svařování	[min]
t _{s1}	čas svařování	[min]
t _{s2}	vedlejší časy svařování	[min]
t _{s3}	manipulační čas svařování	[min]
η	účinnost	[-]
ρ _t	hustota tmelu	[kg·m ⁻³]


Zkratky

Označení	Legenda
CMT	Cold Metal Transfer
TOO	Tepelně ovlivněná oblast
WIG/TIG	Wolfram/Tungsten Inert Gas
MIG/MAG	Metal Inert/Active Gas
TZ	Tepelné zpracování
PM	Přídavný materiál

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha 1 Materiálový list slitiny 5754	46
Příloha 2 Materiálový list přídatného materiálu AlMg5	47

Příloha 1 Materiálový list slitiny 5754

INSPECTION CERTIFICATE	No: 3707	CERTIFIED SRAC-IQNet	
	Date: 08/02/2022	SO 9001/2015 No.10/valid 2023	

CUSTOMER : PRIMAPOL METAL SPOT

CONTRACT/ORDER : OZM 21/00454
 BILL OF DELIVERY : 80511123
 TRUCK/CONTAINER : AG 25 DTW/ AG 98 DTO

MATERIAL : ALUMINIUM SHEETS
 ALLOY : EN AW-5754 TEMPER: H111
 LOT/DIMENSIONS (mm : 80079064 - - 1.5X1250X2500

ACCORDING TO : EN 485 - 515 - 573; EN 15088

MECHANICAL PROPERTIES				1 MPa = 1 N/mm2 = 0.145 ksi = 0.102 kgf/mm2					
1 lbs = 0.4536 kg				Rm		Rp0.2		Elong. %	Hardness*
				Mpa		Mpa			
Specified values:				min.	max.	min.	max.	min.	min.
				LOT / BATCH 80079064 S11116148				CASE 562488;562496; 562504	
min.	max.	min.	max.						
				190	240	80		14	
				212		114		32.0	
				213		116		30.5	

CHEMICAL COMPOSITION %												
BATCH	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Ni	Zn	Ti	Ga	V	Al
S11116148	0.37	0.31	0.08	0.23	3.0	0.03	0.01	0.06	0.03	0.01	0.01	REM.
Acc. Standard	Min.				2,6							REM.
	Max.	0,40	0,40	0,10	0,50	3,6	0,30	0,05	0,20	0,15	0,05	
Remarks:		0.10 -0.6 Mn+Cr				Other- Each- Max.: 0.05			OthersTotal- Max.: 0.15			

REMARKS: ACCORDING TO: EN 10204:2004 3.1
 ACCORDING TO: EN 485-2:2016; EN 515:2017; EN 573-3:2019; EN15088:2005

We hereby certify that the material detailed hereon has been produced and tested according to the requirements of the relevant standards specification and order. Keep in dry conditions, without large temperatures variations. The differences between metal and air must not exceed 11 °C. Please follow the recommendations of the Aluminium Association Guidelines for minimizing water staining of aluminium, latest edition, for the unloading and storage of the material in your premises before usage. Also we certify that ALRO products comply with REACH legislation no. 1907/2006 concerning Registration, Evaluation, Authorization and Restriction of Chemicals and CLP legislation no. 1272/2008 on classification, labeling and packaging of substances and mixtures and RoHS Directive 2011/65/EU of the European Parliament and of the Council of 8 June 2011 on the restriction of the use of certain hazardous substances in electrical and electronic equipment

 0036-CPR-14-084-2015			
ALRO SA, Slatina, 116 Pitesti street, Oil Country, Romania			
2021 COLD ROLLED SHEETS			
No. 15	ALRO-CPR	EN AW-5754	H111
EN 15088:2005			
SHEETS	EN AW-5754	H111	1.5X1250X2500
Intended use: interior and exterior structural construction			
Dimensional tolerances and shape: Pas			
Elongation: acc. to EN 485-2:2016			
Tensile strength: acc. to EN 485-2:2016			
Weldability:	Class I		
Bending:	B1	EN AW-5754	H111
Fatigue strength:	Class 1		
Durability:	Class A	Batch no.	80079064
Regulated dangerous substance: NPD			

Marius Olteanu, Eng.

QUALITY CONTROL DEPT

SC ALRO SA SLATINA
 Punct de lucru Slatina
 Str. Milcov Nr.1, Jud. Giurgiu
 Serv. Inspectia Calitatii

ALRO S.A. No.116, Pitesti Street Phone: +(40) 0249 435 117; 0249 432 956 alro@alro.ro

SC ALRO SA SLATINA
 230048, Slatina ROMANIA

Fax: (40) 0249 411 487; 0249 415 992 www.alro.ro

cod f1-3/PO-051/Rev.1/2016
 End of Certificate

Příloha 2 Materiálový list přidavného materiálu AlMg5

Strana 1/2



Číslo: 7123070948

Protokol o zkoušce/
TEST REPORT

Datum/Date: 2023-12-06

v souladu s/acc to EN 10204 - 2.2
Číslo certifikátu/Cert no: EC27362616 rev. 0

Naše objednávka/Our order: 0100915544
Naše reference/Our ref: HYBRIS PRD account.
Číslo zákazníka/Cust no: CZB00202
Datum obj. zákazníka/Your date: 20231206

Vaše objednávka/Your order: E20230261
Vaše reference/Your ref:
Vaše faxové číslo/Your fax:
Váš e-mail/Your e-mail:

Fakturační adresa/Invoice address
MORAVSKÝ QUICK SERVIS S.R.O.

Příjemce certifikátu/Cert receiver

Dodací adresa/Delivery address
MORAVSKÝ QUICK SERVIS S.R.O. 0001

DROZDOVICE 1031/12
796 01 PROSTĚJOV 1

DROZDOVICE 1031/12
796 01 PROSTĚJOV 1

DODÁVKA/DELIVERY

LOT číslo/Lot no:

PVX4711945

Množství/Quantity: 140 KGM

VÝROBEK/PRODUCT

Značka/Brand: ESAB
Popis/Desc: OK Autrod 5356 1.2mm 7kg
Číslo výrobku/Item no: 1815129870
Číslo tavby/Heat number: E230509
Množství/Quantity: 140 KGM

CHEMICKÁ ANALÝZA/CHEMICAL ANALYSIS

Wire/strip	
Si	0.05%
Mn	0.13%
Cr	0.12%
Cu	< 0.01%
Al	94.560%
Fe	0.13%
Mg	4.9%
Zn	< 0.01%

KLASIFIKACE/CLASSIFICATIONS

SFA/AWS A5.10: ER5356
EN ISO 18273: S Al 5356 (AlMg5Cr(A))

MECHANICKÉ VLASTNOSTI/MECHANICAL PROPS

Tensile

Re0.2 [MPa/ksi]	Rm [MPa/ksi]	A4-A5 [%]
20/17	265/38	26

A4, A5 = Elongation
ReH = Upper Yield Point
ReL = Lower Yield Point
Rm = Ultimate Tensile Strength (UTS)
Rp0.2 = Yield Strength 0.2 offset
Rp1.0 = Yield Strength 1.0 offset

KOMENTÁŘ/COMMENTS

Certificate complies with requirements specified in ASME Sec II C, ed. 2017 Schedule F

Výrobek je dodán podle programu QA, který splňuje normu EN ISO 9001.

Tento certifikát je vystaven elektronicky.

Veškeré dotazy prosím adresujte na:

ESAB VAMBERK, s.r.o., Smetanovo náb. 334, Vamberk 517 54, tel. +420 494 501 476, order@esab.cz

Product supplied under a QA Programme fulfilling the EN ISO 9001 standard.

This certificate is produced electronically.

Please refer any queries to: (see above)

Za správnost/Validation

Tapio Huhtala, Joe Cacioppo



číslo: 717307099

**INSPEKČNÍ CERTIFIKÁT (3.1) - Chemická analýza
ZKUŠEBNÍ ZPRÁVA (2.2) - Mechanické vlastnosti
INSPECTION CERTIFICATE (3.1) - Chemical analysis
TEST REPORT (2.2) - Mechanical properties**

Odběratel Customer:	63487161 MORAVSKÝ QUICK SERVIS, s.r.o. Drozdovice 12 PROSTĚJOV
796 01	

Číslo certifikátu/Cert no: **327/2024**

Obj.č./Your order No: 5.3.2024

Zakáz.č./Our ref.:

Číslo výrobku Item no	Název výrobku Description	Množství Quantity	Jedn. Unit	LOT
1815129870A	OK AUTROD 5356 1,2 mm		Kg	PVX4711945

Chem.složení/Chem.composition(%) - Skutečné hodnoty/Actual results-v souladu s/acc to EN 10204 - 3.1

Drát Wire	Mn	Si	Cr	Cu	Zn	Al	Fe
	0,140	0,030	0,060	0,010	0,010	zbytek	0,12
	Mg	Ti	Be				
	5,10	0,070	0,0001				

Zkouška tahem/Tensile test Typické hodnoty/Typical data-v souladu s/acc to EN 10204 - 2.2

Svarový kov Weld metal	Temp °C	Rp 0,2 N/mm ²	Re L N/mm ²	Rm N/mm ²	A5 %
	+20	120			265

Zkouška rázem/Impact test Typické hodnoty/Typical data-v souladu s/acc to EN 10204 - 2.2

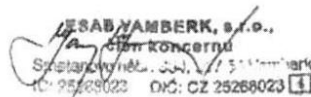
Svarový kov Weld metal	Temp °C	J	Temp °C	J

Doplňující data/Additional data

Comments: Typical values: Interpass temperature 150 °C
Classifications Wire Electrode: SFA/AWS A5.10: ER5356; EN ISO 18273: S Al 5356 (AlMg5Cr(A))
Classifications Wire: JIS Z 3232: A53556

Datum/Date: 05.03.2024

Jana Jirušková
Q.C.Department



Adresa/Address	IČO	Telefon/Phone	Fax
ESAB VAMBERK, s.r.o., člen koncernu Smetanovo nábřeží 334 517 54 VAMBERK CZECH REPUBLIC	25268023	+420 494 501 476	+420 494 501 423

Zapsaná v obchodním rejstříku vedeném Krajským soudem v Hradci Králové, oddíl C, vložka 11464.