



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

KONTROLA SVAROVÝCH SPOJŮ NÁJEZDOVÝCH RAMP

INSPECTION OF WELDED JOINTS OF LOADING RAMPS

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Roman Ertl

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Jaroslav Kubíček

BRNO 2020

Zadání diplomové práce

Ústav:	Ústav strojírenské technologie
Student:	Bc. Roman Ertl
Studijní program:	Strojní inženýrství
Studijní obor:	Strojírenská technologie a průmyslový management
Vedoucí práce:	Ing. Jaroslav Kubíček
Akademický rok:	2019/20

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 diplomové práce:

Kontrola svarových spojů nájezdových ramp

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Skříňové nákladní automobily jsou vybaveny nájezdovou rampou pro nakládku zboží. Rampy jsou svařované konstrukce z hliníkových slitin, které jsou dynamicky zatěžovány. Diplomová práce řeší kontrolu procesu svařování z hlediska výskytu vad svarových spojů.

Cíle diplomové práce:

1. Literární studie problematiky svažitelnosti hliníkových slitin.
2. Návrh experimentální práce.
3. Provedení experimentální práce.
4. Vyhodnocení výsledků.

Seznam doporučené literatury:

ASM handbook Welding, brazing, and soldering Volume 6. 10th editon. Materials Park, Ohio: ASM International, 2016. ISBN 978-0871703828.

KOUKAL, Jaroslav a kolektiv autorů. Materiály a jejich svažitelnost: učební texty pro kurzy svářečských inženýrů a technologů. 2. upr. vyd. Ostrava: ZEROSS, 2001. ISBN 80-85771-85-3.

AMBROŽ, Oldřich a kolektiv autorů. Technologie svařování a zařízení. 2. upr. vyd. Ostrava ZEROSS, 2001. ISBN 80-85771-81-0.

HRIVŇÁK, Ivan. Zváranie a zvariteľnosť materiálov. 2. vyd. Bratislava: Citadella, 2013. ISBN 978-8-89628-18-6.

BARTÁK, Jiří a kolektiv autorů. Výroba a aplikované inženýrství ve svařování. 1. vyd. Ostrava: ZEROSS, 2000. ISBN 80-85771-72-1.

KOVAŘÍK, Rudolf a František ČERNÝ. Technologie svařování: Svařování v ochranných atmosférách. 2. vyd. Plzeň: Západočeská univerzita, 2000. ISBN 80-708-2697-5.

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2019/20

V Brně, dne

L. S.

prof. Ing. Miroslav Píška, CSc.
ředitel ústavu

doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.
děkan fakulty

ABSTRAKT

Diplomová práce je zaměřena na problematiku svařování nájezdových ramp a její následné kontroly. Cílem práce je zjistit a zkontrolovat svary nájezdových ramp s ohledem na výskyt vad. V práci je popsána rešeršní problematika svařování metodou MIG a svařování hliníku a jeho slitin. Podrobně jsou také popsány destruktivní a nedestruktivní metody zkoušení svarů, které je možné aplikovat na svary nájezdových ramp. Následně je v práci popsána experimentální část, která se zaměřuje na tři zkoušky vzorků nájezdové rampy z materiálu EN AW-6005A T6, a to zkoušku tahovou, makroskopickou a zkoušku tvrdosti.

Klíčová slova

svařování, hliník, hliníkové slitiny, nájezdová rampa, MIG, kontrola

ABSTRACT

This master's thesis is focused on problem of welding of loading ramps and inspection of their welded joints. The aim of this thesis is to inspect the welds of loading ramps with regarding to the appearance of defects. The literature review of the research issues of the MIG welding technology and welding of aluminium and its alloys is described in this thesis. There is also described destructive and non-destructive inspection of welds that can be applied to inspection of loading ramps. Theoretical description is followed by an experimental part of the thesis. Experimental part is focused on the three destructive tests (the tensile, the macroscopic and the hardness test) of samples of loading ramps, which are made of EN AW-6005A T6.

Key words

welding, aluminium, aluminium alloys, loading ramp, MIG, inspection

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

ERTL, Roman. *Kontrola svarových spojů nájezdových ramp* [online]. Brno, 2020 [cit. 2020-06-22]. Dostupné z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/125058>. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav strojírenské technologie. Vedoucí práce Jaroslav Kubíček.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma **Kontrola svarových spojů nájezdových ramp** vypracoval samostatně s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených na seznamu, který tvoří přílohu této práce.

24.6.2020

Datum

Bc. Roman Ertl

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji tímto Ing. Jaroslavu Kubíčkoví za cenné připomínky a rady, které mi poskytl při vypracování diplomové práce. Dále děkuji firmě Trans-technik s.r.o. za poskytnuté vzorky a vřelou spolupráci při vypracovávání diplomové práce.

OBSAH

ABSTRAKT	4
PROHLÁŠENÍ	5
PODĚKOVÁNÍ.....	6
OBSAH.....	7
ÚVOD	9
1 NÁJEZDOVÉ RAMPY A JEJICH VÝROBA	10
1.1 Výroba nájezdových ramp	11
2 HLINÍK A JEHO SLITINY	12
2.1 Vlastnosti hliníku a jeho slitin	13
2.1.1 Chemické a mechanické vlastnosti.....	13
2.1.2 Technologické vlastnosti.....	14
2.2 Svařitelnost hliníku.....	15
2.3 Označování hliníku a jeho slitin	19
2.3.1 Vlastnosti slitin hliníku řady 6 000	20
2.4 Výroba protlačovaných hliníkových profilů.....	20
2.5 Vlastnosti slitiny EN AW-6005A T6	21
3 SVAŘOVÁNÍ	23
3.1 MIG – Metal inert gas	23
3.1.1 Druhy přenosu kovu v oblouku	24
3.1.2 Přídavné materiály.....	28
3.1.3 Ochranné plyny metody MIG	29
3.1.4 Parametry procesu svařování.....	31
4 KONTROLA SVAROVÝCH SPOJŮ	32
4.1 Vady svarových spojů.....	32
4.1.1 Rozdělení vad.....	32
4.1.2 Druhy vad.....	32
4.1.3 Posuzování vad.....	34
4.2 Destruktivní zkoušky.....	34
4.2.1 Tahová zkouška	35
4.2.2 Zkoušky tvrdosti	37
4.2.3 Zkouška ohybem.....	38
4.2.5 Zkouška rozlomením	39
4.3 Nedestruktivní zkoušky	40
4.3.1 Vizuální metoda	40

4.3.2 Kapilární metoda	41
4.3.5 Metoda prozářením	41
4.4 Metalografické zkoušky	42
4.4.1 Mikroskopická zkouška	43
4.4.2 Makroskopická zkouška.....	44
5 EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST	45
5.1 Tahová zkouška	48
5.2 Makroskopická zkouška	51
5.3 Vizuální kontrola	54
5.4 Zkouška mikrotvrdosti.....	55
6 TECHNICKO-EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ.....	57
6.1 Technické zhodnocení	57
6.2 Ekonomické zhodnocení	58
6.2.1 Stávající situace	58
6.2.1 Zvýšení vstupních parametrů o 20 %	59
6.2.1 Zvýšení vstupních parametrů o 40 %	60
7 DISKUZE	63
7.1 Směr vývoje ve spojování dílů	63
7.2 Zdravotní rizika při svařování nájezdových ramp.....	63
7.3 Napětové stavy při svařování.....	64
7.3.1 Odstraňování deformací nájezdových ramp.....	65
7.4 Použití pevnější hliníkové slitiny	65
ZÁVĚR	66
SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ	67
SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK	72
SEZNAM PŘÍLOH	74

ÚVOD

S vývojem automobilového průmyslu přichází poptávka po snižování výrobních nákladů, za současného důrazu kladeného na kvalitu, design a bezpečnost. V poslední době jsou velkým tématem emisní normy. Snížení emisní stopy je možné dosáhnout snížením hmotnosti vozu, a to za použití lehčích materiálů, jako jsou hliníkové slitiny. Hliník je po slitinách železa druhým nejpoužívanějším kovem na Zemi. Není tedy divu, že hliník a jeho slitiny nacházejí stále větší uplatnění nejen v automobilovém průmyslu. Hliníkové slitiny vyžadují nejrůznější způsoby zpracování a spojování, jedna z těchto metod je svařování.

Důležitým aspektem pro zajištění kvality svarů je poznání jejich vlastností a odolnosti vůči vnějším vlivům, jako jsou teplota, mechanické zatížení či okolní prostředí. Kontrola svarových spojů může probíhat destruktivně (zkouška tahem, rázem v ohybu, rozlomením, zkouška tvrdosti) nebo nedestruktivně (vizuální, kapilární, magnetická, ultrazvuková a zkouška prozářením).



Obr. 0.1 Nájezdová rampa na nákladním automobilu [57].

1 NÁJEZDOVÉ RAMPY A JEJICH VÝROBA

Nájezdové rampy bývají nedílnou součástí nákladních automobilů. Rampy slouží k nakládce nebo vykládce materiálu či zboží, proto musí být materiál pevný, odolný, trvanlivý a nesmí podléhat korozi.

Nájezdové rampy mají mnoho podob a typů. Vyrábí se podle účelu použití, a to dle potřebné nosnosti a velikosti nakládky. Pro menší nakládky se vyrábí párovaná nájezdová sada nebo přenosné malé rampy. Dále se vyrábí rampy pro střední a vysoké zatížení.

Ovládání nájezdové rampy se většinou řeší manuálně pomocí zapuštěných uzávěrů nebo přes hydraulické zařízení.

Důležitým aspektem je materiál, ze kterého je rampa vyrobena. Primárně se vyrábí ze slitin hliníku a oceli. Rampy ze slitiny oceli se vyrábí pro těžší nakládky, jelikož mají větší nosnost při stejné velikosti. Slitiny hliníku jsou při použití stejně odolné, zároveň ale lehčí a snadněji se tedy s nimi manipuluje. Hliníkové rampy bývají dražší, ale daleko lehčí než ocelové. V automobilovém průmyslu převládají rampy ze slitiny hliníku.

Nosnost nájezdových ramp může být v řádů stovek kil až několik desítek tun. V rámci diplomové práce bude v experimentální části kontrolována rampa, která je certifikovaná na nosnost 4 000 kg.



Obr. 1.1 Nájezdová rampa na nákladním automobilu [24].

1.1 Výroba nájezdových ramp

Samotná výroba rampy může začít, když jsou připraveny veškeré profily z hliníkové slitiny (EN AW–6005A T6), které jsou objednány a dovezeny z hliníkárný. Profily, které se obvykle používají na výrobu nájezdových ramp, jsou na Obr. 1.2. Jedná se o hliníkové profily – nájezdová špice, modul 375 mm, modul 250 mm, modul koncový pevný, modul koncový 65 mm a závěsná tyč. Rampa má dva druhy špic, jedna je nájezdová, která slouží k nakládce zboží směrem nahoru na valník. Druhá varianta špici je přejezdová, která se používá pro přejezd z valníkové nástavby na nákladní rampy.



Obr. 1.2 Bokorys nájezdové rampy.

V první řadě se musí nájezdová rampa nakreslit na výkres dle požadavků zákazníka, potažmo s ním doladit finální podobu rampy. Následně konstruktér navrhne technologický postup a kusovník. Podle kusovníku se vyskladní profily, které se následně nařezou na potřebné délky a připraví se ke svařecímu pracovišti. Následně ji proškolení pracovník může svařit dle výkresu, který konstruktér nakreslil. Délka svařování rampy se odvíjí od požadavku zákazníka a může mít velikost 595 x 1500 mm, nebo dokonce i 2500 x 2500 mm. Většinou svařování zabere několik hodin. Následná kontrola svarů ve firmě je prováděna pouze svařečem bez příslušného certifikátu vizuální zkoušky a jako finální část je rampa připravena k expedici.

2 HLINÍK A JEHO SLITINY

Hliník se řadí mezi pevné látky a s valnou většinou přísad tvoří tuhé roztoky. Hliník a jeho slitiny se po ocelích řadí na druhé místo nejpoužívanějších materiálů. Je to především proto, že mají nízkou hustotu a s tím spojenou hmotnost, velkou pevnost, dobrou svařitelnost většiny slitin hliníku (kromě duralu), tepelnou a elektrickou vodivost, mají odolnost vůči látkám kyselé povahy. Jejich hlavní nevýhoda je nízká tvrdost. Čistý hliník má v technologických odvětvích nízké uplatnění, a proto se využívají jeho slitiny [10,36].

Slitiny hliníku se rozdělují dle zpracování do čtyř podskupin [10]:

- slévárenské slitiny,
- hliníkové slitiny určené k tváření,
- precipitačně nevytvrditelné slitiny,
- precipitačně vytvrditelné slitiny.

Slévárenské slitiny

Dané slitiny se používají k odlévání nebo k tlakovému lití. Je tedy od nich předpoklad, aby měly vlastnosti určené k danému použití. Většinou mívají větší obsah přísad, jako slitiny hliníku k tváření. Nejčastější legující prvek je křemík (Si), přičemž vznikají siluminy (Al-Si slitina). Mechanické vlastnosti daných slitin jsou závislé na způsobu lití, dosažitelná pevnost bývá kolem 250 MPa [10].

Hliníkové slitiny určené k tváření

Od slitin určených k tváření se vyžadují vlastnosti jako je dobrá svařitelnost, tvářitelnost, lomovou houževnatost. Obsah přísadových prvků v daných slitinách většinou nepřesahuje deset procent. Nejčastější legující prvky jsou hořčík (Mg), zinek (Zn) a měď (Cu) se kterými vznikají slitiny Al-Mg, Al-Zn a Al-Cu [10].

Pevnost hliníkových slitin lze nejefektivněji zvýšit pomocí precipitačního vytvrzování. Dále lze pevnost zvýšit deformačním zpevněním, substitučním zpevněním mřížky vytvořením tuhého roztoku α a také disperzním zpevněním [14].

Teplota je vlastnost, která nejvíce ovlivňuje strukturu a mechanické vlastnosti slitiny. Se zvyšující se teplotou roste tažnost, ale klesá mez pevnosti a mez kluzu. Některé slitiny hliníku mají při velmi nízkých teplotách (-200 °C) daleko lepší mechanické vlastnosti. Je to dáno strukturou mřížky, která je kubická plošně centrovaná [8,14].

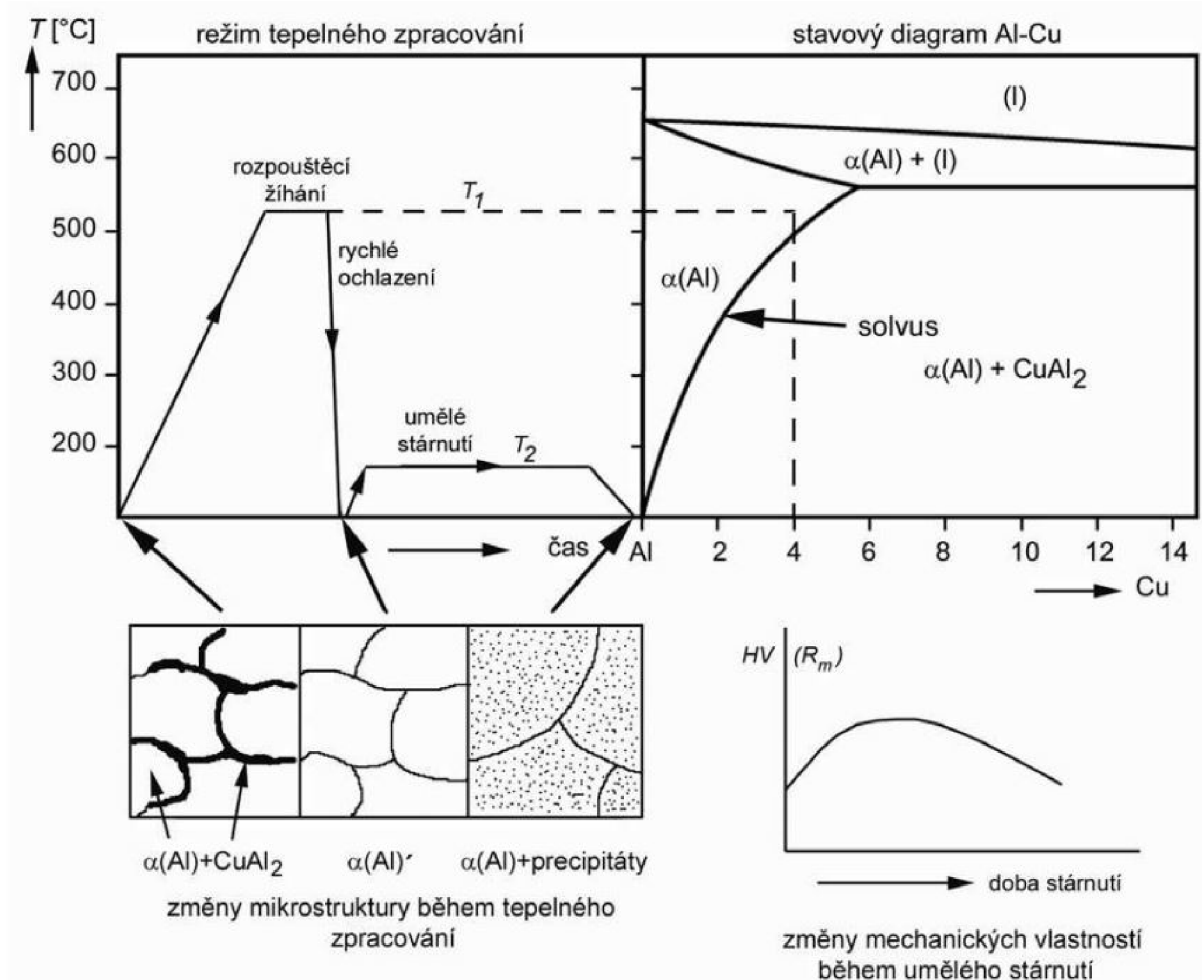
Precipitačně nevytvrditelné slitiny

Jsou to slitiny, u kterých se nerozpouští legující prvky ani za vyšších teplot [10].

Precipitačně vytvrditelné slitiny

U vytvrzených slitin např. slitina Al-Cu klesá rozpustnost legujících prvků v tuhém roztoku α (Al) v závislosti na teplotě, kde následně vznikne přesycený roztok, který je na Obr. 2.1. Při tepelném zpracování daných slitin probíhá v první fázi rozpouštěcí žíhání (nad teplotou solvu T_1), u kterého se rozpouští fáze CuAl_2 v tuhém roztoku. Následně dochází k rychlému ochlazení, u kterého se nestihne vyloučit další fáze CuAl_2 , pokud je proces dostatečně rychlý, tak vznikne přesycený tuhý roztok. Ve finální

třetí fázi probíhá umělé stárnutí, při kterém dojde k ohřevu na teplotu T_2 a dochází k rozpadu přesyceného tuhého roztoku, při kterém dochází k vylučování velice jemných částic – precipitátů. Tyto částice blokují pohyb dislokací a tím způsobují velké zvýšení pevnosti (R_m) a tvrdosti (HV) [10,19].



Obr. 2.1 Precipitační vytvrzování slitiny typu Al-Cu [19].

2.1 Vlastnosti hliníku a jeho slitin

Čistý hliník má velice úzké možnosti uplatnění, jedná se především o část v elektronickém, chemickém či potravinářském průmyslu. Z konstrukčního hlediska je jeho složení a vlastnosti nevyhovující, a proto se do něj přidávají legující prvky. Přidáváním legujících prvků se zvyšují jeho vlastnosti, jako jsou odolnost proti korozi nebo elektrická vodivost, ale klesá jeho pevnost [8,14,36].

2.1.1 Chemické a mechanické vlastnosti

Hliník je stříbřitě šedý neušlechtilý kov, který je nestálý a elektricky vodivý. V přírodě se vyskytuje ve formě sloučenin, nejčastěji jako bauxit ($\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$). Nejběžnější sloučeniny hliníku jsou s oxidačním číslem +III, nazývají se hlinité. Hliník má záporný potenciál. V kyselém prostředí tvoří ve vodném roztoku hlinitý kation a hlinitanový anion v zásaditém prostředí. V reakci s kyslíkem tvoří na svém povrchu tenkou vrstvu oxidu hlinitého (Al_2O_3), který slouží jako ochrana proti další oxidaci a díky tomu je za působení vzduchu ustálený. Oxid hlinitý má odlišné chemické vlastnosti jako čistý hliník [8,10].

Čistý hliník má většinou vyšší chemickou odolnost než jeho slitiny. Odolnost ve vodních roztocích je závislá na pH elektrolytu. Pokud je pH v rozmezí 4,5–8,5, pak má hliník dobrou odolnost. V jiném pH je odolnost nižší. Při kontaktu s prostředím pH 8,5 a výše se hliník rozpouští již po několika hodinách. Slitiny hliníku s přísady mědi a zinku mají menší odolnost vůči korozi, protože tyto legující prvky mají kladný potenciál v porovnání s hliníkem a v korozivním prostředí se hliník začne rozpouštět [8,10].

Využití hliníku díky vysoké elektrické vodivosti je i v elektrotechnice. Hliník je ovšem křehký, a proto jeho využití není tak velké. Při průchodu elektrického proudu dochází k zahřívání a zvětšování průřezu, což například v domácnosti může být nebezpečné a je místo hliníku používána měď [8,10].

Všechny slitiny hliníku se skládají ze základního prvku (hliník), hlavního přísadového prvku (např. Si, Cu, Mg – určují vlastnosti slitiny), vedlejšího přísadového prvku (jedná se o stopové množství prvku, které ovlivní vlastnosti slitiny) a doprovodného prvku (neúmyslné prvky – například nečistoty z vyzdívky tavicí peci) [8,10].

Nejdůležitější vlastnosti jsou tvrdost, pevnost, tažnost a houževnatost. Mechanické vlastnosti velmi ovlivňují faktory, jako jsou tloušťka materiálu, tepelné zpracování a typ slitiny.

Tvrdost se zkouší dle Vickerse, daná zkouška bude probrána v následujících kapitolách. Dále se zkouší dle Brinella a označuje se HB. Jedná se o statickou zkoušku tvrdosti. Forma a provedení je dána normou ČSN EN ISO 6506-1 (420359). Zkouška probíhá vnikáním zkušební tělesa, za určité síly, do materiálu. Čistý hliník má nízkou tvrdost okolo 25 HBS, kdežto například slitina používaná pro výrobu nájezdových ramp EN AW-6005A T6 má tvrdost kolem 95 HBS [14,31].

Čím více má slitina hliníku legujících prvků nebo nečistot, tím roste jeho pevnost a tažnost. Čistý hliník má pevnost cca 45 MPa za současné tažnosti okolo 80 %. Primární vliv na pevnost mají železo (Fe) a křemík (Si) z důvodu jejich nízké rozpustnosti za normální teploty (20 °C) a to 0,04 % [14].

Pevnost lze zvýšit tvářením za studena, které se využívá u slitiny hliníku Al-Mn a Al-Mg. Dojde ale ke snížení tažnosti. Zřídka se tvářením za studena používá u precipitačně vytvrzitelných slitin, jedná se o stavy tepelného zpracování, které se značí dle ČSN EN 515 (420053) – T8 (tvářením před umělém stárnutí) nebo T9 (tvářením po umělém stárnutí). Největšího zvýšení pevnosti se dosahuje u slitin Al-Mg-Si (používá se k výrobě nájezdových ramp), Al-Cu-Mg a dalších precipitačně vytvrzených slitin [14].

2.1.2 Technologické vlastnosti

Jsou to vlastnosti, které umožňují s materiálem dále pracovat. Jedná se o tvářitelnost, obrobitelnost a slévárenské vlastnosti. Dále se mezi ně řadí svařitelnost, která bude rozebrána v následující podkapitole. Dané vlastnosti se zjišťují zkoušením v tahu dle ČSN EN ISO 6892-1 (420310) [10,14,31].

Obrobitelnost

Vlastnost, která popisuje schopnost materiálu být zpracováván technologiemi obrábění. Jedná se o souhrnný vliv chemických i fyzikálních vlastností hliníkových slitin. Hliníkové slitiny patří mezi dobře obrobitelné materiály. Při stejných pevnostních podmínkách ve srovnání s oceli vznikají daleko menší síly při obrábění hliníkových slitin. Čistý hliník má špatnou obrobitelnost, jelikož má velkou tažnost a tvárnost,

a tudíž ulpívá na čele řezného nástroje. Precipitačně vytvrzené slitiny mají lepší obrobiteľnosť než nevytvrzené slitiny. Teploty obrábění nedosahují tak vysokých hodnot jako u obrábění ocelí [10,14].

Tvářitelnost

Je to schopnost slitiny přizpůsobit se trvalé plastické změně tvaru, aniž by se materiál porušil. Tvářitelnost ovlivňuje typ mřížky, teplota, při které probíhá tváření, stav napjatosti, složení slitiny a tepelné zpracování slitiny. Díky výborné tažnosti a nízké pevnosti má čistý hliník dobrou tvářitelnost, a proto má využití v potravinářském průmyslu jako obal. Zpracované hliníkové slitiny mají menší tvářitelnost než čistý hliník, protože se přidávají legující prvky, které zvyšují pevnost a tvrdost [10,14].

Slévárenské vlastnosti

Jako slévárenské vlastnosti jsou označeny vlastnosti, které souvisí s odléváním. Jedná se o zabíhavost, vznik staženin, naplynění a odolnosti proti vzniku trhlin. Teploty, při kterých se odlévají hliníkové slitiny, jsou v intervalu 50–100 °C nad teplotou likvidu příslušné hliníkové slitiny. Interval tuhnutí hliníkových slitin je velký i malý, je to interval mezi likvidem a solidem. Slitiny s malým intervalem tuhnutí jsou výhodnější pro odlévání. Velký interval tuhnutí souvisí se vznikem staženin a dané slitiny mají při tuhnutí horší zabíhavost. Legující prvky ovlivňují velikost intervalu tuhnutí [10].

Zabíhavost popisuje schopnost hliníkové slitiny vyplnit dutinu formy při odlévání. Ovlivňuje ji povrchové napětí, smáčivost formy, legující prvky v slitině. Sklon ke vzniku sraženin je popsán jako úbytek kovu během fáze tuhnutí a tím docházejícímu počátečnímu vzniku nežádoucích staženin. Sklon k naplynění je charakterizován jako rozpustnost plynů v tekutém stavu, respektive úroveň naplynění taveniny určuje, zda se budou tvořit plynové bubliny v odlitku. Odolnost proti vzniku trhlin je schopnost odolávat napětí, které vzniká při tuhnutí vlivem smršťováním [10].

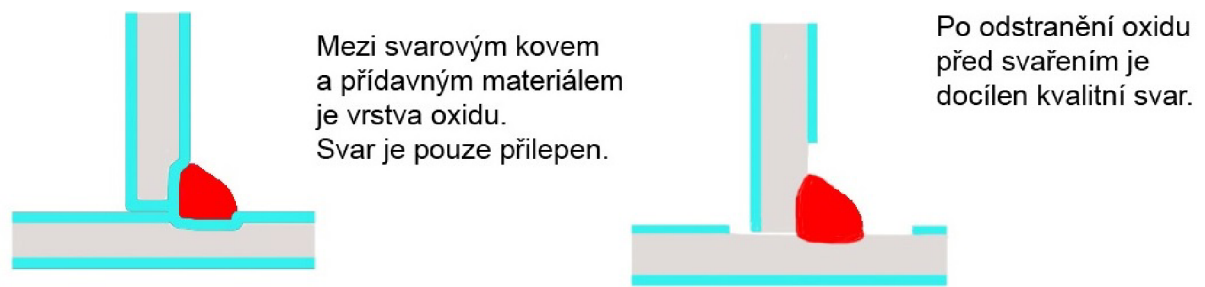
2.2 Svařitelnost hliníku

Obloukové svařování hliníku a slitin hliníku je popsáno v normě ČSN EN 1011-4 (052210), lze svařovat veškerými možnými způsoby. Po odstranění povrchové vrstvy Al_2O_3 má hliník výbornou svařitelnost. Slitiny hliníku mají většinou nízké procento přísadových prvků, a tudíž mají také dobrou svařitelnost jako čistý hliník [17,30].

Schopnost slitiny vytvořit, za určitých podmínek, svarový spoj nazýváme svařitelnost. Za jiných podmínek vznikají jiné svarové spoje, které mají jiné mechanické, korozní a únavové vlastnosti. Vlastnosti, které ovlivňují svařitelnost hliníkových slitin, jsou:

Afinita hliníku ke kyslíku

Při procesu svařování a reakce hliníku s kyslíkem vzniká povrchová vrstva oxidu hlinitého (Al_2O_3), která významně ovlivňuje svar tím, že zabraňuje spojení přídatného drátu k základnímu materiálu. Teplota tavení je 2050 °C, což je několikanásobně vyšší než teplota tavení hliníku. Na Obr. 2.2 je možné vidět svar s vrstvou oxidu hlinitého a bez vrstvy oxidu [17].



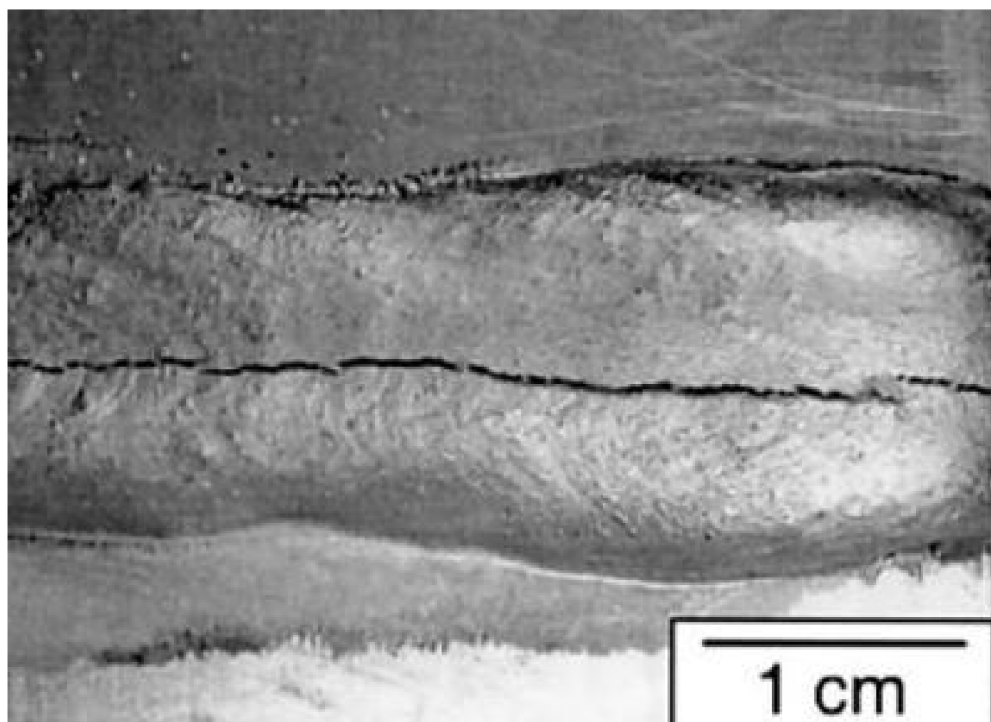
Obr. 2.2 Svar s vrstvou a bez vrstvy oxidu hlinitého [17].

Před svařováním je nutné očistit plochu, která se bude svařovat. Je možné použít chemické nebo mechanické prvky k očištění [17].

Velký koeficient tepelné roztažnosti

Způsobuje vznik deformací či napětí ve svařenci, kvůli kterým vznikají trhliny jak za tepla, tak i za studena. Při velkém intervalu tuhnutí vznikají trhliny za tepla, kvůli velké změně koeficientu objemové roztažnosti u přechodu z pevné do fluidní fáze. Interkrystalické solidifikační trhliny (Obr. 2.3) vznikají, pokud je objem eutektika nízký při krystalizaci a tím pádem dostatečně nevyplní prázdný prostor mezi rostoucími dendrity. Z toho vyplývá, že pokud je dostatečné množství eutektika, tak se trhliny dostatečně vyplňují. Přísadové prvky výrazně ovlivňují objem eutektika. Aby se docílila požadovaná koncentrace přísad, které vytvoří ideální objem eutektika, což je zhruba 15–25 %, tak se přidávají přísady do lázně pomocí přídavného drátu [17].

Studené trhliny se nevytváří příliš často, jejich výskyt je spíše u vysokolegovaných slitin hliníku. Převážně vznikají podél svaru za teplot 200–400 °C a mají lesklý povrch bez oxidů. Vznikají důsledkem přítomnosti vodíku (H) ve svarové lázni nebo zbytkovým tahovým napětím. Snížením teplotních gradientů lze eliminovat jejich vznik [17].



Obr. 2.3 Interkrystalická solidifikační trhlina [29].

Dobrá tepelná vodivost

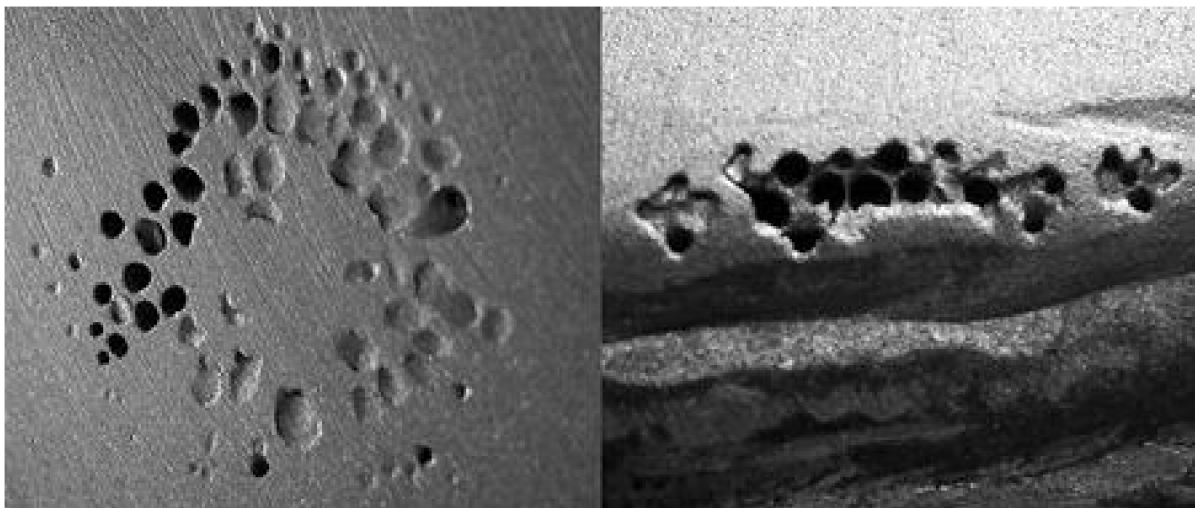
Jedná se o nežádoucí vlastnost, kterou lze eliminovat předehřevem nebo vysokým tepelným příkonem. Norma ČSN EN 1011-4 pojednává o teplotách předehřevu a teplotách interpass, což je teplota mezi housenkami při vícevrstvěm svařování. U vytvrditelných slitin hliníku se většinou používá teplota předehřevu 150 °C. Předehřev není nutný u součástí do tloušťky 8 mm [17].

Diference mezi vlastnostmi v litém a tvářeném stavu

Svařování takového spoje je problematické, jelikož je těžké dosáhnout identických vlastností, protože svarový kov má licí strukturu a základní materiál tvářenou. U tvářených materiálů se jedná především o tvářené materiály za studena. Cílem je dosáhnout identických vlastností svarového spoje a základního materiálu [17].

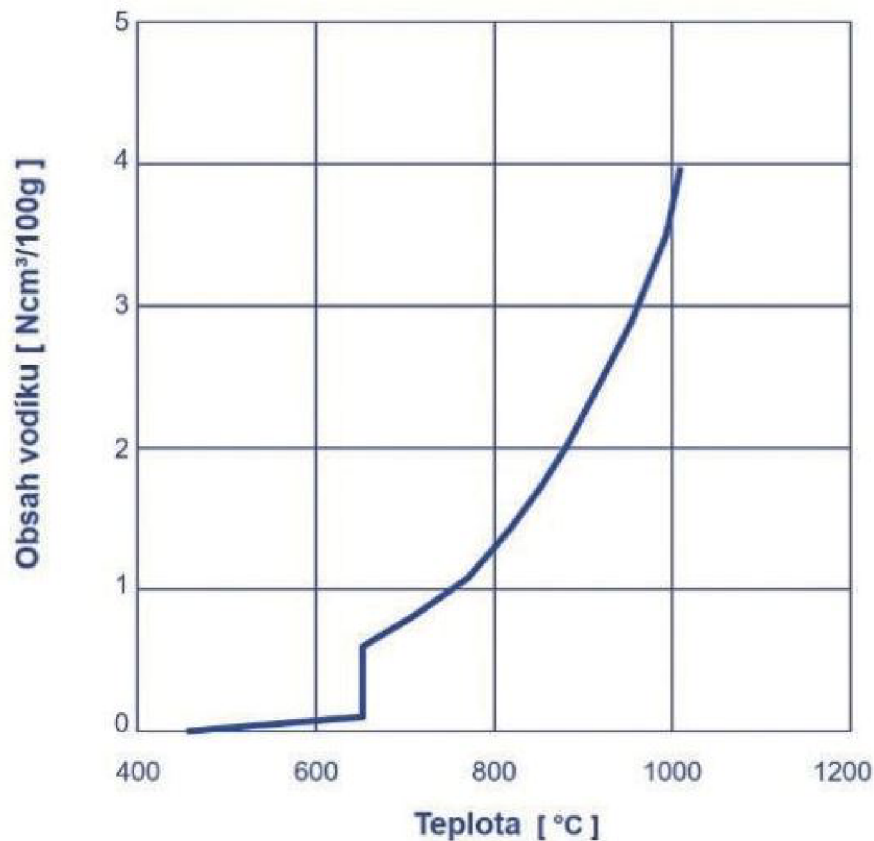
Vysoká rozpustnost plynů v hliníku a jeho slitinách

Před svařováním je nutné očistit svařovací plochy a odstranit mastnotu, nečistoty a prach. Též je nutné správně skladovat přídatné dráty, aby se na ně nedostaly nečistoty a tím pádem nezneškodily svar. V případě nedodržení těchto zásad se do svaru může dostat plyn a následně ve svaru vznikají póry, kterou jsou ilustrovány na Obr. 2.4 [17].



Obr. 2.4 Pórovitost svaru [34].

Nejčastější příčina tvorby pórů je přítomnost vodíku ve svaru, který se tam dostává z vlhkosti ve vzduchu. Druhým činitelem je oxid hlinitý, který je nutno odstranit z povrchu, jelikož je hygroskopický, aneb vrstva oxidu absorbuje vlhkost ze vzduchu. Problém vodíku ve svarovém spoji je na Obr. 2.5, kde je znázorněno, že při tuhnutí svarové lázně klesá rozpustnost vodíku v hliníku, který krystalizuje. Poměrně velké množství vodíku setrvá ve svarovém spoji a jeho vylučování začne až pod teplotou solidu, čímž vznikají póry ve svarové housence. Takovému jevu se dá předejít použitím pulzního režimu u obloukového svařování, potažmo zkrácení doby přímého tavení a tím docílit snížení přehřátí svarového kovu [17].



Obr. 2.5 Rozpustnost vodíku v hliníku [35].

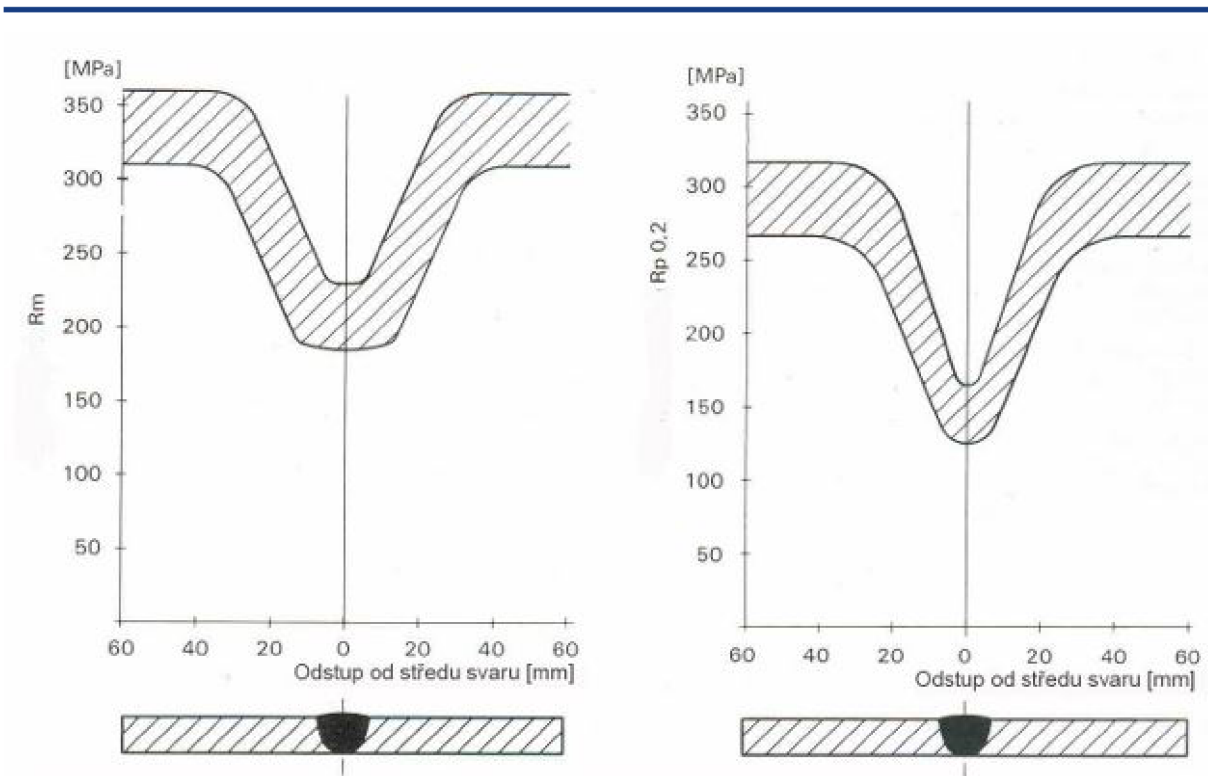
Barevná neměnnost při ohřevu

Hliník a jeho slitiny při zahřátí nepozmění barvu a tím pádem je pro svařeče složité rozeznat teplotu tání. Pracovník musí umět rozpoznat pomezí tavné lázně a udržovat adekvátní rychlost svařování. Ideálně by měl elektrický oblouk mířit do první třetiny délky svarové lázně. Pokud oblouk předběhne svarovou lázeň, tak hrozí propálení materiálu, potažmo produkce studených spojů a tím trhání svarové housenky. Při pomalé rychlosti svařování hrozí předbíhání svarové lázně a tím dojde k zalití nenatavených ploch, o které se svarová lázeň ochladí a vznikne přilepení spoje, kterému se říká spoj studený [17].

Citlivost slitin hliníku na ohřev

Problém se vztahuje na tepelně vytvrditelné slitiny, kde v rámci vytvrzení vzniknou precipitáty. U slitiny EN AW-6005A se jedná o silicid hořečnatý (Mg_2Si), který se vlivem svařování začne rozpouštět nebo naopak růst, ale bude se snižovat počet precipitátů a tím dojde ke zhoršení mechanických vlastností a odolnosti proti korozi v tepelně ovlivněné oblasti svařovaného materiálu. U nevytvrditelných slitin hliníku je také pokles mechanických vlastností ve svaru a v jeho okolí vlivem ohřevu, ale ne tak markantní, jako u vytvrditelných slitin hliníku. Pokles tvrdosti slitiny AlMgSi1 je možné vidět na Obr. 2.6 [17,37].

Při navrhování technologie a výroby je důležité počítat s poklesem pevnosti a tvrdosti. Snížit ovlivněnou oblast se dá zvýšením rychlosti svařování, ale svařovací rychlost nesmí předběhnout rychlost svarové lázně. To znamená, že je potřeba svařovat s vyšším proudem, aby se dostatečně natavily svařovací plochy, vyšší rychlostí svařování a ideálně zvolenou délkou oblouku (3–5 mm) [17].



Obr. 2.6 Tepelně ovlivněná oblast u slitiny AlMgSi1 [17].

2.3 Označování hliníku a jeho slitin

Značení slitin hliníku a jeho čistého stavu je dáno normou ČSN EN 573-1. Tato norma udává značení pro tvářené výrobky a ingoty určené ke tváření. Značení je stanoveno písmeny EN AW a dalšími čtyřmi číslicemi (A označuje hliník, W označuje tvářené výrobky a číslice označují skupinu slitin dle legujících prvků podle Tab. 2.1). Značení může být doplněno o chemické označení např. EN AW-3105 (AlMn0.5Mg0.5), potažmo označení jeho stavu (F–z výroby, O–žíhaný, H–deformačně zpevněný, W–po rozpouštěcím žíhání, T–tepelné zpracování) [11,12,13].

Tab. 2.1 Označování tvářených slitin hliníku [11,17].

Označení dle ČSN EN 573-1	Značení slitiny	Legující prvky	Tepelné zpracování
Řada 1 000	Al	Al min. 99,0 %	Nevytvrditelný
Řada 2 000	Al-Cu	Měď	Vytvrditelný
Řada 3 000	Al-Mn	Mangan	Nevytvrditelný
Řada 4 000	Al-Si	Křemík	Nevytvrditelný
Řada 5 000	Al-Mg	Hořčík	Nevytvrditelný
Řada 6 000	Al-Mg-Si	Hořčík a křemík	Vytvrditelný
Řada 7 000	Al-Zn	Zinek	Vytvrditelný
Řada 8 000	Al+...	Různé prvky	Obě varianty

Každý legující prvek má jiný vliv na slitinu hliníku [25]:

- Cu – Zjemňuje zrno a zabraňuje rekrystalizaci. Zvyšuje mez pevnosti a kluzu. Zhoršuje odolnost proti korozi,
- Si – Umožňuje tepelné zpracování v kombinaci s hořčíkem. Odolnost proti korozi,
- Mn – Zjemňuje zrno a zabraňuje rekrystalizaci. Zvyšuje mez pevnosti a kluzu. Odolnost proti korozi,
- Mg – Zvyšuje pevnost, tvrdost a svařitelnost. Odolnost proti korozi,
- Zn – Zvyšuje pevnost a tvrdost. V kombinaci s hořčíkem umožňuje tepelné zpracování slitiny,
- Cr – Zjemňuje zrno a zabraňuje rekrystalizaci. Zvyšuje mez pevnosti i kluzu. Odolnost proti korozi.

Tepelné zpracování je označováno písmenem T a je psáno za označením slitin. Udává informaci o tvrdosti, které bylo dosaženo tepelným zpracováním. Následující číslíčky označují specifický sled operací [26]:

- T1 – kaleno po formování a přirozeně zestárnuo,
- T2 – kaleno, tvrzeno po formování a přirozeně zestárnuo,
- T3 – zpracováno rozpouštěcím žiháním, tvrzeno a přirozeně zestárnuo,
- T4 – zpracováno rozpouštěcím žiháním a přirozeně zestárnuo,
- T5 – kaleno po formování a uměle zestárnuo,
- T6 – zpracováno rozpouštěcím žiháním a uměle zestárnuo,
- T7 – zpracováno rozpouštěcím žiháním a uměle opakovaně zestárnuo,
- T8 – zpracováno rozpouštěcím žiháním, tvrzeno a uměle zestárnuo,
- T9 – zpracováno rozpouštěcím žiháním, uměle zestárnuo a nakonec tvrzeno.

2.3.1 Vlastnosti slitin hliníku řady 6 000

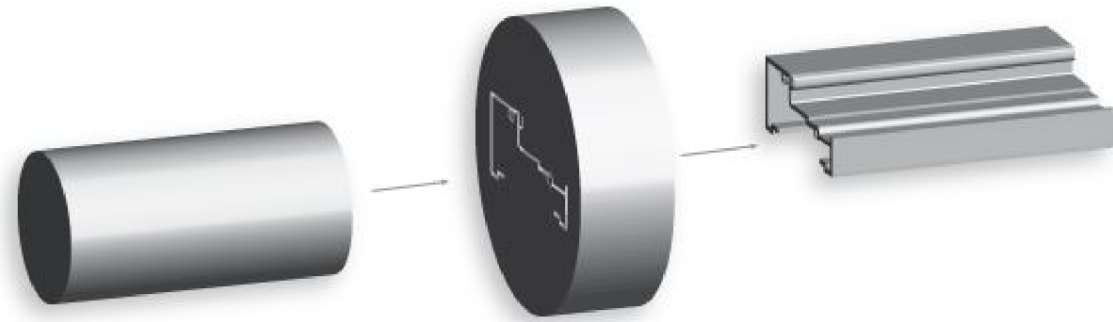
Primární legujícími prvky jsou hořčík (Mg) a křemík (Si) v ideálním poměru k tvorbě silicidu hořečnatého (Mg_2Si), který je zodpovědný za to, že slitina je tepelně zpracovatelná. Legující prvek křemík, který je přidán do slitiny hliníku a hořčíku umožní vytvrzení na vyšší pevnost. I přes to mají slitiny řady 6 000 střední pevnost, získají tvárnost, lepší svařitelnost a lepší odolnost proti korozi. Při přírodním stárnutí se získá vyšší odolnost proti mezikystalické korozi v porovnání s umělým stárnutím. Slitiny řady 2 000, obsahující měď (Cu), jsou náchylné na tuto korozi. Koroze souvisí se vznikem precipitátů na hranicích zrn v průběhu umělého stárnutí [27].

Jejich aplikace je v automobilovém průmyslu, stavebnictví, architektuře a například v cyklistice.

2.4 Výroba protlačovaných hliníkových profilů

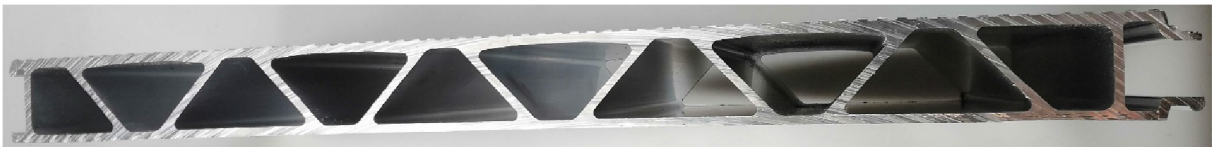
Do hliníkárný se dováží hliník v sochorech o různých průměrech, které se nařezou pomocí pily na potřebné délky. Nařezané sochory putují do pece, kde probíhá přehřev hliníku. Přehřáté nařezané sochory pokračují přes linku do formovací

pece, kde je sochor ještě dohříván a přes speciální matrici, přesně podle potřebného výsledného profilu, je protlačován pomocí hydraulického lisu, který dosahuje několika tisíců tun newtonů [58]. Schéma protlačení hliníkového profilu je na Obr. 2.7.



Obr. 2.7 Sochor, matrice a výsledný profil [69].

Výsledný protažený profil se ochladí ve vodní lázni, aby nedošlo ke znehodnocení mechanických vlastností, a následně se natahuje na speciálních lisech, abych nedošlo k pokroucení profilů. V případě vytvrditelných slitin je následná cesta přes vytvrzovací pec. Při požadavku zákazníka na eloxovaný profil (speciální vrstva na povrchu hliníku, která zabraňuje oxidaci) jde hliník přes eloxovací lázeň [58]. Protlačovaný profil pro výrobu nájezdových ramp je na Obr. 2.8



Obr. 2.8 Profil používaný pro výrobu nájezdových ramp.

Profil nakonec projde přes několika-osový natahovací stroj, který zaručí precizní rozměry finálního profilu. Profily se následně nařezou na požadovanou dodávanou délku dle požadavku zákazníka [58].

2.5 Vlastnosti slitiny EN AW-6005A T6

Hliníková slitina EN AW-6005A je tvářecí a používá se k výrobě nájezdových ramp z důvodu adekvátních vlastností a cenových požadavků. Slitina 6005A souvisí se slitinou EN AW-6005, ale jejich rozdíl spočívá v procentech přísad (6005A je silněji legovaná), jejich mechanické vlastnosti se tolik neliší. Slitina může být zpracována vytlačováním, kováním nebo válcováním, ale nepoužívá se pro odlévání [8,36].

Značení EN AW-6005A je dle normy ČSN EN 573-3, která udává chemické složení hliníkových slitin a chemicky se označuje AlSiMg(A). Dle normy DIN 1725-1 se slitina chemicky označuje AlMgSi0.7 a číselně 3.3210.

Chemické složení slitiny dle ČSN EN 573-3 [28]:

- hliník (Al): 96,5–99 %,
- křemík (Si): 0,5–0,9 %,
- hořčík (Mg): 0,4–0,7 %,
- chrom (Cr): max. 0,3 %,
- měď (Cu): max. 0,3 %,
- mangan (Mn): max. 0,5 %,
- železo (Fe): max. 0,35 %,
- titan (Ti): max. 0,1 %,
- zinek (Zn): max. 0,15 %,
- zbylé přísady: jeden max. 0,05 % a celkově max. 0,15 %.

Fyzické a mechanické vlastnosti slitiny při 20 °C dle ČSN EN 755-2 [8,33]:

- hustota: 2700 kg · m⁻³,
- teplota tání: 585–650 °C,
- elektrická vodivost: 26–32 MS · m⁻¹,
- teplotní vodivost: 180–220 W · (m · K)⁻¹,
- modul pružnosti v tahu (Youngův modul): 70 GPa,
- mez kluzu: 225 MPa,
- mez pevnosti: 270 MPa,
- tvrdost: 90 HB,
- tažnost: 8 %.

Přesné složení slitiny EN AW-6005A T6, která se používá na výrobu nájezdových ramp, je možné vidět v příloze 3. Svařitelnost dané slitiny je výborná, což je dobrý předpoklad k výrobě ramp, jelikož se profily k sobě svařují.

3 SVAŘOVÁNÍ

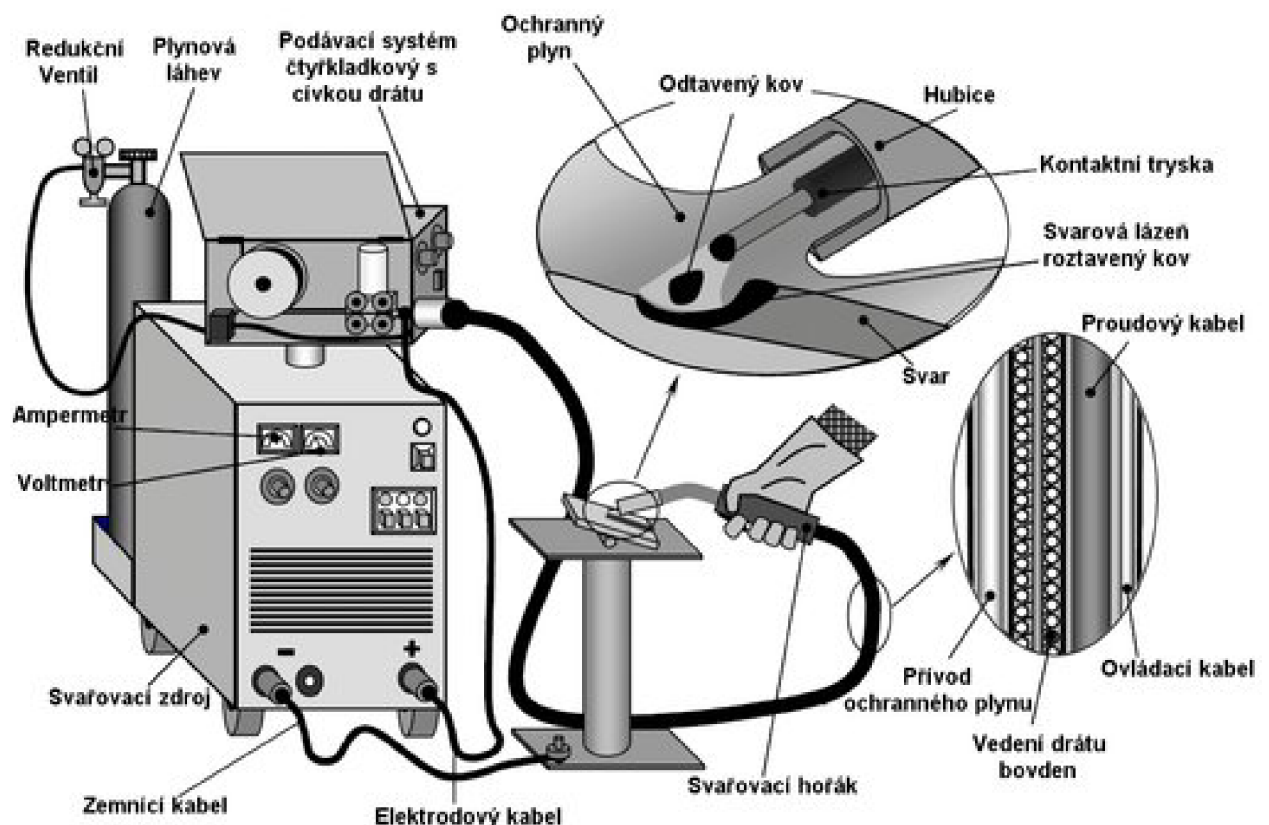
Téměř ve všech odvětvích průmyslu je využíváno svařování, což je nerozebíratelné spojení více dílů dohromady, za pomoci určitého množství energie, která je dodávána do místa styku [1]. Svařování existuje více druhů a více technologií a více možností přívodu energie do místa, které je potřeba spojit dohromady.

Při svařování obloukem v ochranné atmosféře (MIG, MAG, TIG (WIG)) oblouk hoří obklopený plynem, který chrání elektrodu a všechny části tavného procesu, jako je oblouk, tavná lázeň a odtavující se kapky přídavného materiálu. Tyhle metody svařování jsou nejrozšířenější a nejvíce používané z důvodu ceny, produktivity a velkého spektra uplatnění [1].

Dle možností firmy jsou nájezdové rampy svařovány technologií MIG a daná technologie je v diplomové práci popsána.

3.1 MIG – Metal inert gas

Svařování metodou MIG (Obr. 3.1) probíhá v ochranné atmosféře, kde přenos energie probíhá v elektrickém oblouku, který vzniká mezi tavicí se elektrodou v podobě svařovacího drátu a svařovanými díly. Inertní plyny s velkou hodnotou čistoty 99,995 % a více zaručují ochranu svařovaného místa. Mezi dva používané plyny u metody svařování MIG se řadí argon (Ar) a helium (He), potažmo jejich směsi. Přídavný materiál v hořáku zajišťuje přenos elektrického proudu tak, aby délka zatížené části drátu byla co nejmenší. Přídavný materiál je do hubice podáván za pomoci kladkového mechanismu při konstantní rychlosti [1,3].



Obr. 3.1 Svařovací metoda MIG [3].

Využití této metody svařování je především u svařování hliníkových slitin a legovaných ocelí. Proces MIG svařování se dá zautomatizovat a je využíván i pro velkosériové výroby. Hlavní výhody svařování metodou MIG jsou [3]:

- vysoká svařovací rychlost a tím docílená vyšší produktivita,
- zvýšená produktivita kvůli absenci výměny elektrod,
- absence zplodin oproti ručnímu svařování obalenou elektrodou (MMA),
- viditelnost oblouku i svarové lázně,
- menší tvorba strusky,
- nízké náklady na přídatný materiál,
- snadné zapálení oblouku,
- hodí se pro robotické druhy svařování,
- menší TOO (tepelně ovlivněná oblast).

Mezi nevýhody svařování metodou MIG patří [3]:

- vysoké vyzářené teplo do prostředí,
- vyšší nároky na údržbu,
- velká pořizovací cena,
- ve volném prostoru, potažmo kvůli průvanu může docházet k utržení ochranné atmosféry.

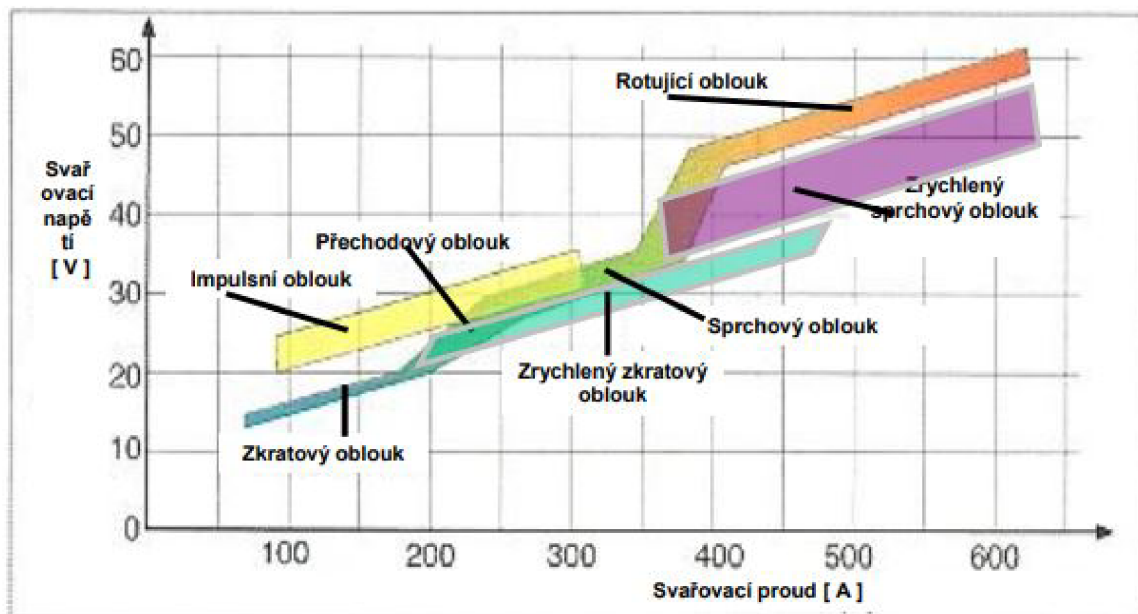
3.1.1 Druhy přenosu kovu v oblouku

Druh přenosu kovu v oblouku je řazen mezi primární charakteristiku svařování elektrickým obloukem tavicí se elektrodou. Druh přenosu je závislý na svařovacích parametrech, jako jsou svařovací proud a napětí, dále na způsobu svařování, materiálu přídatného drátu a druhu ochranného plynu [1].

Rozdělujeme je do šesti základních přenosů a to jsou [2]:

- krátký oblouk se zkratovým přenosem kovu,
- krátký oblouk se zrychleným zkratovým přenosem kovu,
- impulzní bezzkratový přenos kovu,
- přechodový dlouhý oblouk s nepravidelnými zkraty,
- dlouhý oblouk se sprchovým bezzkratovým přenosem,
- moderovaný bezzkratový přenos,
- dlouhý oblouk s rotujícím přenosem kovu.

Na Obr. 3.2 je vidět, že druh přenosu kovu v oblouku je závislý primárně na svařovacím napětí a proudu.

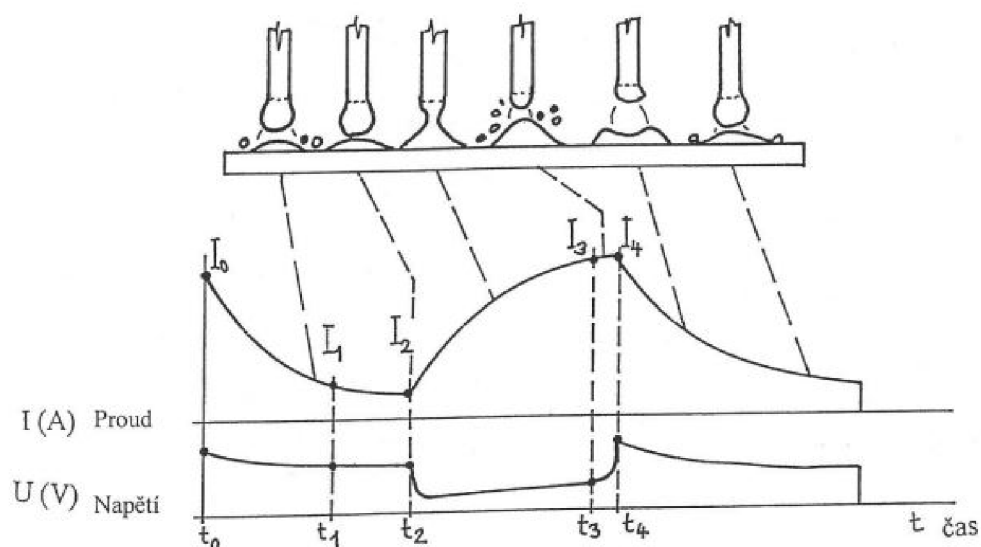


Obr. 3.2 Způsob přenosu kovu [2].

Krátký oblouk se zkratovým přenosem kovu

Tento druh se uplatňuje v rozsahu svařovacího proudu 60–120 A při napětí 14–22 V. Za daných svařovacích parametrů se hodinový výkon navaření pohybuje v rozsahu 1–3 kg·h⁻¹. Průběh napětí a proudu svařování při zkratovém přenosu je možné vidět na Obr. 3.3.

Hlavní ideou zkratového přenosu je přerušování oblouku zkratem, aby docházelo k přerušování části kovu elektrody, při kterém dochází k rozstříku kovu. Při tomto druhu svařování nevzniká velký přenos tepla a díky tomu nevznikají velké deformace svařovaných dílů. Krátký oblouk se zkratovým přenosem kovu lze identifikovat podle jemného praskání při svařování. Jeho využití se specifikuje na svařování tenkých plechů, překlenutí různých mezer, polohové svary a pro svařování vysokolegovaných ocelí [1,2].



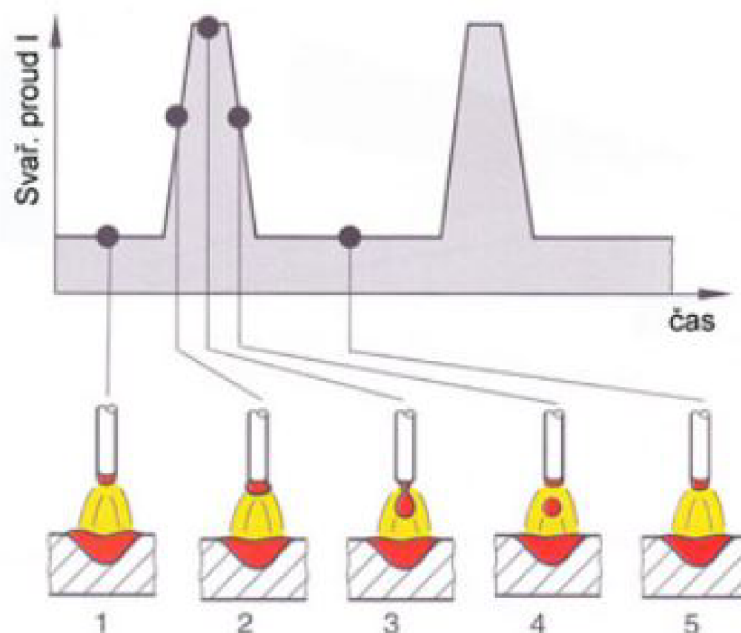
Obr. 3.3 Průběh parametrů svařování při zkratovém přenosu [2].

Krátký oblouk se zrychleným zkratovým přenosem kovu

V případě zrychleného zkratového přenosu se napětí pohybuje ve stejném rozmezí jako u zkratového přenosu, ale svařovací proud nabývá velikosti nad 200 A. Dochází tak k zrychlenému odtavování části drátu a menšího rozstříku svarové lázně, tudíž se dosahuje vyššího hodinového výkonu navaření v hodnotách 3–10 kg·h⁻¹. Důsledkem vyššího navařovacího výkonu je nutný vyšší přívod plynu, potažmo směsi na 20–30 l·min⁻¹ a podávání přídatného drátu. Používá se na svařování tenkých plechů od 1 mm, polohové svary a kořeny svarů [1,2].

Impulzní bezzkratový přenos kovu

Daný způsob přenosu se řadí jak do oblasti zkratového, tak i do oblasti sprchového přenosu kovu. Impulzní bezzkratový přenos má pravidelný cyklus, který je dán frekvencí amplitudy a je řízen elektronicky. Základní proud je nízký v hodnotách 20–50 A a jeho funkcí je udržet ionizaci sloupce oblouku a spolu s tím i vedení proudu. Odtavování kapky přídatného drátu je ve finální fázi amplitudy, k čemuž je impulzní proud nastaven. Amplituda může mít tvar různých podob například oblý, pravouhlý, nebo dle použitého přídatného drátu. V celém trvání amplitudy oblouk hoří a ohřívá přídatný drát spolu se svarovou lázní. Při daném způsobu svařování je výkon navaření v rozmezí 2–5 kg·h⁻¹ [1,2].



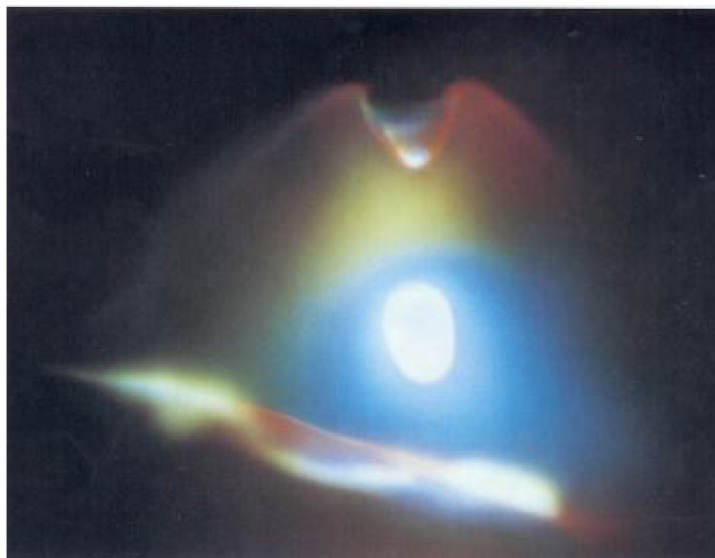
Obr. 3.4 Průběh parametrů svařování při impulzním přenosu [59].

Svařovací parametry ovlivňují velikost odtavované kapky, konkrétně hodnota svařovacího proudu a frekvence impulzů. Frekvence je přímo úměrná proudu, pro dosažení ideální kapky je za použití vysokého proudu i vysoká frekvence. Frekvence impulzů je popsána rovnicí $f = 1 / T_p$, kde f je frekvence a T_p je doba trvání jednoho impulzu. Hodnota T_p se pohybuje v rozmezí 0,2–5 ms a f je v rozmezí 25–500 Hz. Používá se při svařování hliníkových slitin, vysokolegovaných a uhlíkových ocelí [2].

Přechodový dlouhý oblouk s nepravidelnými zkraty

Někdy je označován jako kapkový a vzniká za průměrných hodnot. Svařovací proud se pohybuje v rozmezí 190–300 A a napětí 22–28 V. Při oblouku je konec

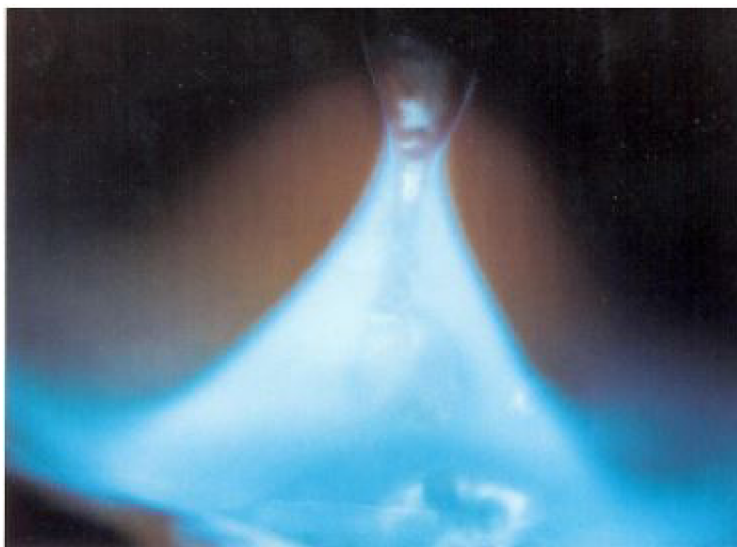
elektrody natavován do velké kapky z důvodu vyššího proudu. Reakčním tlakem par se kapka vydouvá od přídavného materiálu a oblouk putuje po konci elektrody, dokud není přerušen můstek důsledkem magnetických sil. Kapky letí do lázně vysokou rychlostí s nízkou frekvencí (5–40 kapek za sekundu) a tím je způsoben velký rozstřík svarové lázně, kvůli kterému vznikají hrubé svarové housenky. Daný způsob se nedoporučuje používat [1,2].



Obr. 3.5 Kapkový oblouk [2].

Dlouhý oblouk se sprchovým bezkratovým přenosem

Pro sprchový přenos se používají vyšší svařovací proudy, a to v hodnotách 200–500 A a napětí v hodnotách 28–40 V. Oblouk je po celou dobu procesu zapálený, a tudíž je velká tepelně ovlivněná oblast. V průběhu oddělování kapky je proud konstantní, jenom při přerušení můstku je vyšší proud. Hodnota výkonu navaření je vyšší a to 3–12 kg·h⁻¹. Zvukově se tato metoda dá poznat podle syčení s občasným prasknutím. Povrch housenky je hladký, čistý a bez rozstříku, ale housenka má velkou tloušťku [1,2].



Obr. 3.6 Sprchový přenos [2].

Moderovaný bezkratový přenos

Probíhá za vysokých hodnot proudu a to 450–750 A, při napětí 40–50 V. Při takových parametrech svařování je i vysoká hodnota výkonu navaření a to až $25 \text{ kg} \cdot \text{h}^{-1}$ s tím je souvislá i vysoká rychlost posuvu drátu, a to v rozmezí $20\text{--}45 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$. Přenos kovu je tvořen velkými kapkami, které odkapávají s vysokou frekvencí. Při vysokých parametrech svařování je tvořen hluboký a úzký svar. Danou metodou je možné svařovat při vysokých rychlostech i tlusté materiály [1,2].

Dlouhý oblouk s rotujícím přenosem kovu

Svařovací parametry jsou skoro identické jako u předchozí metody, ale liší se vyšším napětím až na 65 V a větší volné délce drátu nad 20 mm. Kvůli těmto změnám je drát při odtavování roztáčen působením silového pole a odtavující se kapky tvoří kuželovou plochu. Tímto procesem vzniká hluboký závar i do boků svaru, a tudíž jsou svary širší [2].



Obr. 3.7 Rotující oblouk [2].

3.1.2 Přídavné materiály

Za pomoci technologie válcování se vyrábí dráty o průměru 5–9 mm z ingotu. Poté se drát tažením za studena zmenšuje a následně vyžihá [4].

Přídavné dráty doplňují objem svarové housenky, a tudíž zajišťují požadovaný průřez. Mohou kompenzovat prvky, které se vlivem vysoké teploty při svařování dostanou mimo svarovou lázeň. V poslední řadě dodávají do svarové lázně legující prvky, dezoxidační přísady, které mají vlastnosti ke zlepšení kvality svarového spoje [4].

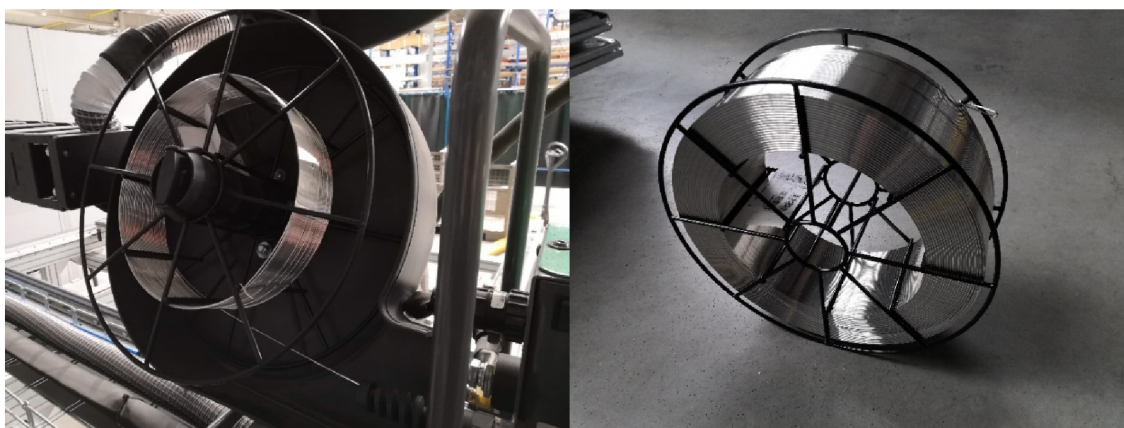
Materiál může být navinut na cívce nebo v lepenkové krabici. V lepenkové krabici bývá 200–400 kg přídavného drátu a používá se na robotických pracovištích. Na cívce bývá 5–30 kg drátu. Pro MIG svařování se používají plné nebo plněné dráty. Skladování drátů je dáno výrobcem, potažmo normou. Obecně platí, že teplota skladování by měla být nad $10 \text{ }^\circ\text{C}$ a relativní vlhkost do 50 %, aby nedocházelo k oxidaci [4].

Kvalita svarové housenky je charakterizována plněnými dráty, a náplněmi, které obsahují. Náplně na sobě nesou označení [4]:

- výrobce,

- označení drátu a materiálu,
- průměr drátu, cívka a hmotnost,
- klasifikace a certifikace,
- vhodnost svařování,
- použití a polohy svařování.

Pro svařování nájezdových ramp je používán přídatný drát OK Autrod 5356 dle EN ISO 18273 S Al 5356 o průměru 1,2 mm. Přídatný materiál je zobrazen na Obr. 3.8.

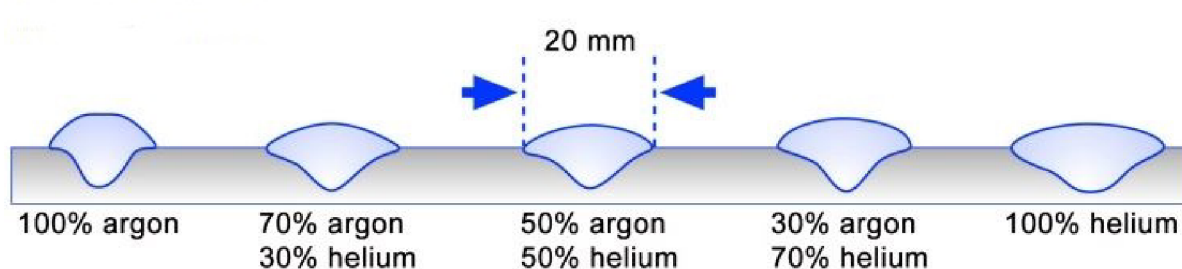


Obr. 3.8 Cívka s přídatným drátem OK Autrod 5356.

3.1.3 Ochranné plyny metody MIG

Nežádoucím jevem při svařování je přítomnost dusíku a kyslíku, kteří způsobují oxidaci a nitridaci svarové housenky a tím zhoršení vlastností svaru. Takovému nežádoucímu jevu se dá zabránit použitím ochranného plynu při svařování, který zamezí přístupu kyslíku a dusíku a zároveň stabilizuje hoření oblouku [1].

Mezi používané ochranné plyny u MIG svařování se řadí inertní plyny argon (Ar), helium (He) a jejich směsi, které mohou obsahovat nepatrné množství dusíku (N₂) [1,6].



Obr. 3.9 Ukázka průvaru svaru za použití plynu Ar, He a směsi Ar a He [6].

Argon (Ar)

Jedná se o inertní plyn, který s ostatními prvky nevytváří sloučeniny. Argon je bezbarvý jednoatomový plyn, který není cítit. Jeho hustota v porovnání se vzduchem je menší a má proti vzduchu nižší tepelnou vodivost. Jeho aplikace je při svařování tantalu, zirkonu a titanu. Jeho vytváření probíhá frakční destilací zkapalněného vzduchu [1].

Helium (He)

Obdobně jako argon je i helium jednoatomový inertní plyn, který nelze cítit. Jedná se o několikrát lehčí plyn než vzduch. Má větší tepelnou vodivost proti argonu. Helium se taktéž získává frakční destilací, ale ze zemního plynu – konkrétně z metanu. Využití čistého helia je při svařování tlustých materiálů z mědi, potažmo hliníku. Obecně se moc nevyužívá, protože hůře vzniká elektrický oblouk [1].

Argon + helium (Ar + He)

Nejčastěji využívané směsi na trhu jsou 30, 50 a 70 % helia v argonu z důvodu dosažitelných vyšších svařovacích rychlostí a hlubšího závaru housenky. Obecně argon a helium nabývají dohromady nejlepších vlastností obou plynů zvlášť. S rostoucím množstvím helia v argonu dochází k neklidu elektrického oblouku a většímu rozstříku svarové lázně. Stejně jako čistý argon je jejich použití v první řadě určeno na svařování hliníkových nebo měděných slitin [1,6].

Argon + helium + dusík (Ar + He + N₂)

Poměr dusíku v dané směsi je minimální, jedná se o 0,015 % koncentraci. Dusík v tak malém množství ve svaru nejdříve disociuje a následně na povrchu housenky opět rekombinuje. Díky této vlastnosti se do svarové lázně přivede více energie (tepla). Dusík přispívá ke stabilizaci oblouku a překonává tepelnou vodivost hliníkových slitin. Mezi nevýhody patří malý sklon k pórovitosti [6].

Cena směsi s dusíkem je výrazně větší, oproti běžné směsi argonu a helia. V Tab. 3.1 jsou uvedeny používané ochranné plyny při svařování hliníkových slitin.

Argon + vodík (Ar + H)

Podíl vodíku ve směsi je malý, a to v rozmezí 5–10 %, chování směsi je obdobné jako u směsi argon + helium. Vodík místo helia má funkci snižování oxidů, což ovlivňuje povrchovou strukturu housenky. Má specifické určení, a to je svařování austenitických ocelí a niklových slitin. Jelikož vzniká velké riziko praskání za studena, tak nevhodné použití je u martenzitických ocelí, které jsou pevné, ale křehké [1].

Tab. 3.1 Příklady používaných ochranných plynů při svařování hliníkových slitin [6].

Ochranný plyn	Zařazení dle ISO 14175	Objem Ar [%]	Objem He [%]	Objem N ₂ [%]
Argon 4.6	I1	100	-	-
Aluline He30	I3	70	30	-
Aluline He50	I3	50	50	-
Aluline He70	I3	30	70	-
Helium 4.6	I2	-	10	-
Aluline N	Z	99,985	-	0,015
Aluline He15N	Z	84,985	15	0,015
Aluline He30N	Z	69,985	30	0,015
Aluline He50N	Z	49,985	50	0,015

Ke svařování nájezdových ramp ve firmě se používá ochranný plyn Aluline He30 na doporučení dodavatele, jehož technický list je přiložen v příloze 2.

3.1.4 Parametry procesu svařování

Mezi parametry, které ovlivňují svarovou housenku a svařovací proces se řadí svařovací proud, napětí a proudová hustota.

Svařovací proud

Proud ovlivňuje jak přenos kovu v oblouku, tak i svar a jeho tvar. S rostoucím proudem roste proudová hustota a tím je dosažena větší tekutost svarové lázně. Čím je proud větší, tím je větší hloubka závaru. Šířka housenky je větší jen nepatrně [1].

Svařovací napětí

Napětí se dá popsat jako rozdíl mezi potenciálem mezi elektrodou a povrchem svarové lázně. Hodnota napětí ovlivňuje šířku housenky. S rostoucím napětím roste šířka svarové housenky, zároveň se nepatrně zmenšuje hloubka závaru. Velikost napětí se mění podle délky elektrického oblouku. Hodnota napětí určuje i typ přenosu kovu v oblouku (zkratový přenos 14–27 V, bezzkratový přenos 21–27 V a sprchový přenos 27 V a více) [1].

Při vysokém napětí se zvyšuje délka oblouku a propal. S vyšším napětím roste riziko vzniků pórů. Dochází k vyšší rychlosti svařování a svarová lázeň je rychlejší, jak samotný oblouk, což je nežádoucí jev. Při příliš nízkém napětí je proces nestabilní a hrozí riziko výskytu studených spojů [1,7].

Proudová hustota

Stejně jako napětí a proud, tak i proudová hustota ovlivňuje svarovou lázeň a celý proces svařování. Vyjadřuje zatížení přídavného materiálu proudem s ohledem na příčný průřez drátu [$A \cdot mm^{-2}$]. Se zvyšující se proudovou hustotou (za konstantního napětí) dochází k větší hloubce provaření a k zvyšujícímu se výkonu odtavení [1].

4 KONTROLA SVAROVÝCH SPOJŮ

Aplikace svaru udává jeho kvalitu, které v praxi má. Dané použití bývá popsáno v objednávce dané zakázky a k tomu příslušných technických norem a dané technické specifikace. Kontrola, která musí být provedena, je uváděna v těchto dokumentech. Vady mohou být oku viditelné nebo mohou být zjištěny různými zkouškami či přístroji na zkoušení svarů.

Zjištění kvality na povrchu, tak i vně svaru se provádí dvěma možnými kontrolami, a to destruktivními nebo nedestruktivními.

4.1 Vady svarových spojů

Vady ve svarech se generují kvůli špatné nebo nedostatečné technice svařování nezkušeného svářeče, potažmo kvůli jiným technickým problémům, které mohou při svařování vzniknout. Dají se považovat za koncentrátory napětí, které výrazně ovlivňují mez pevnosti a mez únavy. Vadou můžeme označit veškeré odlišnosti od vlastností, které popisují příslušné technické normy. Do provozu lze pustit vady pouze takové, které neohroží bezpečnost svařeného místa, potažmo jeho funkčnost [38].

Nežádoucím efektem, jako jsou vady, se dá předejít a tím uspořit čas i peníze. Svářeč by měl veškeré práce odvádět dle zkoušek postupu svařování (WPS – Welding procedure specification), které se provádí na základě požadavku výrobních norem, požadavků na jakost a nařízení vlády. Dané postupy se využívají pro pevnostní spoje, které jsou zatíženy staticky, dynamicky i termodynamicky v různých pracovních prostředích. Pracovník by měl dodržovat veškeré předepsané parametry ve WPS a mezi nejdůležitější patří [42]:

- předehřev,
- typ přídavného materiálu,
- hodnota proudu,
- hodnota napětí,
- rychlost svařování,
- dohřev.

4.1.1 Rozdělení vad

Defekty dělíme na [39]:

- vady povrchové,
- vady vnitřní.

4.1.2 Druhy vad

Druhy vad a jejich klasifikaci uvádí a popisuje norma ČSN EN ISO 6520-1. Každá vada má své označení dle ISO a mezi hlavní představitele šesti skupin se řadí:

Trhliny

Jedná se o vážnou vadu z důvodu jejího možného šíření. Svar, který má trhlinu, nelze pustit do provozu a je nutné jej opravit. Vznikají kvůli vnitřnímu pnutí, které způsobuje špatně vybraný přídavný drát, potažmo nedodržení podmínek svařování. Trhliny jsou například horké, které se objevují při teplotách okolo 850 °C a jejich příčina je složení základního materiálu – vyšší obsah uhlíku nebo manganu. Studené trhliny se objevují po zakončení svařování při teplotách, kdy svar tuhne a to 300 °C. Jejich příčina je vysoký obsah vodíku ve svaru, který tvoří křehké struktury při rozpadu

austenitu. Dále rozeznáváme žíhací trhliny, které vznikají kvůli tepelnému rozdílu mezi vnitřkem svaru a jeho povrchem. Interkrystalickou solidifikační trhlinu je možné vidět na Obr. 2.3 [38,40,41].

Dutiny

Vznikají především kvůli špatné ochraně, pokud chybí inertní plyn při svařování. Svarová lázeň brání plynům, aby se ze svaru dostaly pryč. Častým důvodem vzniku dutin je vlhkost. Jediná dutina může být připuštěna do praxe, pokud výrozkové normy neříkají jinak. Ovšem při shluku více dutin je taková vada nepřipustná, jelikož vytváří lomovou plochu. Obr. 2.4 zobrazuje dutiny [38,40,41].

Vměstky

Inkluze jsou rozdělovány jako struskové, oxidické a kovové. Struskové vměstky vznikají při neodstranění strusky, před další vrstvou housenky na daný svar a také, když svařovací oblouk je rychlejší než tavná lázeň. Oxidické inkluze se objevují, když jsou svařované plochy špatně očištěny. Kovové inkluze vznikají důsledkem vysokých svařovacích parametrů, konkrétně proudu nebo při styku elektrody s lázní. Vměstky zhoršují mechanické vlastnosti svaru, jelikož jejich konce jsou ostré a jsou to koncentrátoři napětí [38,40,41].

Vady odtavování a závaru

Do této kategorie se řadí studený spoj a neprovařený kořen. První zmíněná vada vzniká nedostatečným natavením na základní materiál, tudíž nedochází k metalurgickému propojení. Příčinou může být pokles svařovacích parametrů, špatná dráha hoření oblouku nebo vysoká rychlost svařování. Neprůvar vzniká při špatném provaření kořene svaru v důsledku špatného natavení základního materiálu. Jejich příčiny jsou stejné jako u studeného spoje, který je možné vidět na Obr. 4.1 [38,39,41].



Obr. 4.1 Studený spoj [43].

Vady tvaru

Špatný tvar může mít negativní účinek na mechanické vlastnosti svarového spoje. Mezi vady tvaru se řadí vruby, krápníky, zápal nebo propadlý kořen. Vruby jako takové koncentrují napětí a může dojít ke vzniku trhlin. Jejich výskyt se připisuje nesprávné dráze hoření oblouku a příliš vysokému svařovacímu proudu. Krápníkem je myšleno přetečení kořene svaru, které dochází především při pomalé svařovací rychlosti. Zápal se označuje místo, kde důsledkem vysokého svařovacího proudu nebo příliš vzdáleného oblouku dochází k ostrému prohloubení na pomezí základního materiálu a housenky [38,39,41].

Různé vady

Všechny vady, které nespádají do předchozích rozdělení, se řadí jako různé. Jedná se například o dotek elektrodou nebo rozstřík svarového kovu, který je vidět na Obr. 4.2 a vzniká za použití nesprávných svařovacích parametrů [38,41].



Obr. 4.2 Rozstřík svarového kovu [44].

4.1.3 Posuzování vad

Vady ve svarech se hodnotí podle druhu, velikosti a počtu výskytu vzhledem k typu svařence, konstrukci a dané funkce. Kvalifikaci vad, které se objevují ve svarech při tavném svařování, udává norma ČSN EN ISO 6520-1 a jejich posuzování je popsáno normou ČSN EN ISO 5817. O přípustnosti rozhodují techničtí pracovníci, jako jsou konstruktéři, technologové a pracovníci defektoskopie. Svarový spoj se kontroluje buď destruktivními, nebo častěji nedestruktivními zkouškami [41,45].

4.2 Destruktivní zkoušky

Při destruktivních zkouškách dochází ke zničení vzorku, který je testován, tudíž jej nelze dále použít v praxi. Danými zkouškami se kontrolují mechanické vlastnosti zkušební vzorku, jako jsou pevnost, plasticita, tvrdost, houževnatost, potažmo metalografické charakteristiky. Vychází se z predikce, že pokud testovaný vzorek

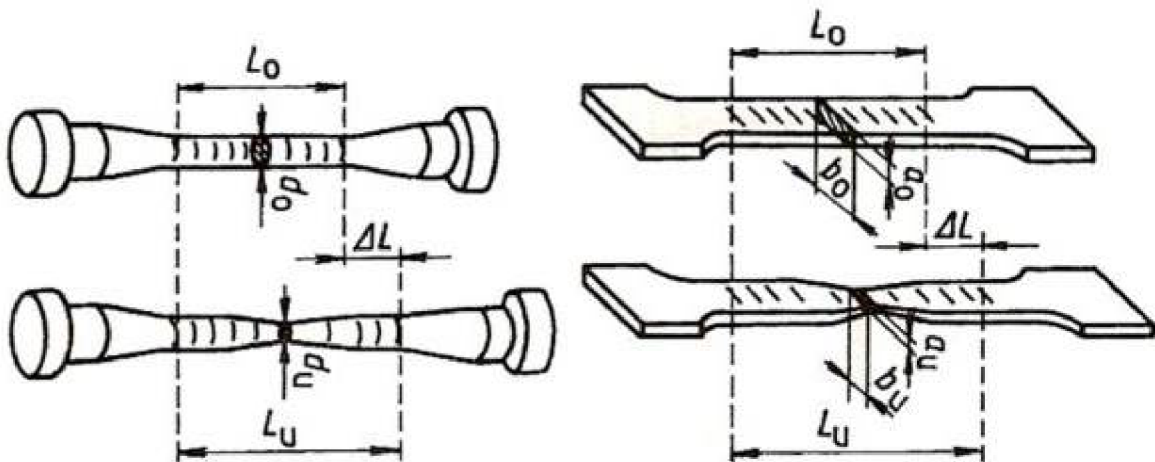
splňuje dané charakteristiky a vlastnosti, tak při použití stejné svařovací technologie a postupu budou vyhovovat další svařené kusy. Mezi destruktivní zkoušky se řadí [49,50]:

- tahová zkouška,
- zkoušky tvrdosti,
- zkouška rázem v ohybu metodou Charpy,
- zkouška ohybem,
- zkouška rozlomením.

4.2.1 Tahová zkouška

Mechanické vlastnosti se testují zkouškou tahem dle ČSN EN 6892-1 (420310), jedná se o statickou zkoušku, která se v praxi velice často používá. Testovaný vzorek se na trhacím stroji roztahuje a následně se zjišťuje prodloužení s ohledem k použité síle. Z daných měřených hodnot se dá vypočítat mez kluzu, pevnosti, smluvní mez kluzu, kontrakce a tažnost [32,46].

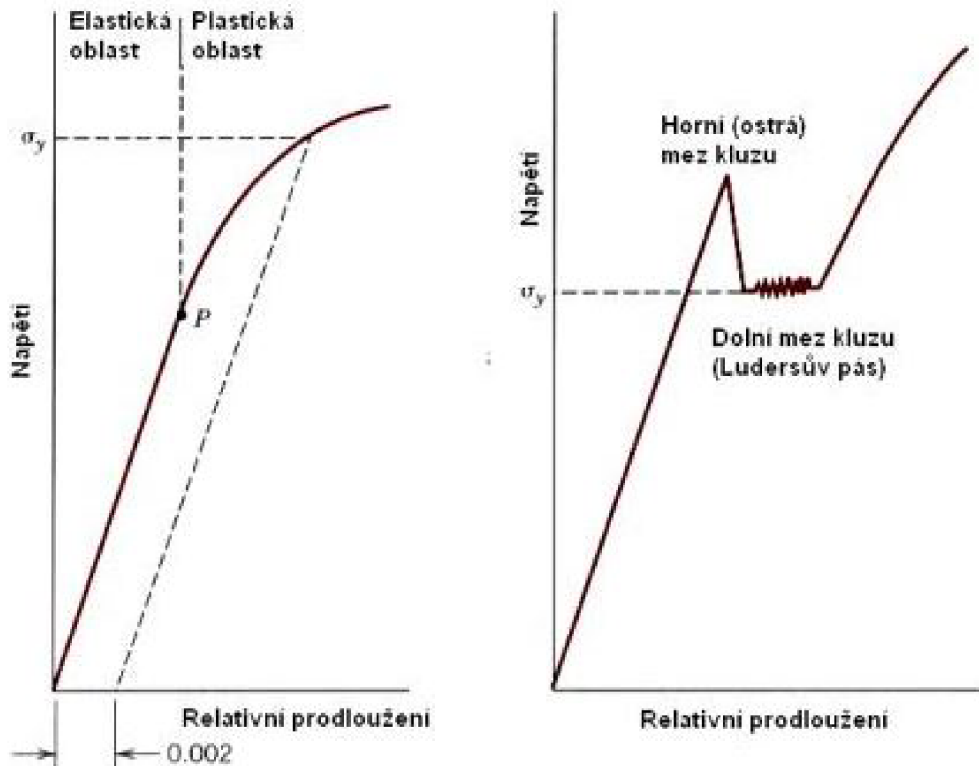
Zkouška se provádí průběžným zatěžováním zkušební ploché nebo kulaté tyče, která má příčně svarový spoj (zkušební vzorek může mít svar i podélně), až do přetržení na trhacím stroji. Tvar a rozměr zkušební vzorku jsou normalizovány a jsou uvedeny na Obr. 4.3, kde L_0 je počáteční délka a ta se u dlouhé tyče počítá z průměru zkušební tyče (d_0) a to $10 \cdot d_0$ a u krátké tyče $5 \cdot d_0$. Testovací tyče mají na svých koncích hlavy, díky kterým se dají upnout do trhacího stroje tak, aby osa vzorku byla souběžná s osou čelistí stroje. Vzorek by měl být odebrán mechanickým způsob, aby nedošlo k ovlivnění svarového spoje. Tahová zkouška se dělí na dva typy, respektive svar, který je příčně přes vzorek nebo druhý typ, kdy je svar podélně přes testovací vzorek [47].



(L_0 – počáteční délka, L_U – konečná délka, ΔL – rozdíl délek, d_0 – počáteční průměr zkušební tyče, d_U – konečný průměr, a_0 – tloušťka zkušební plochého vzorku, b_0 – šířka zkušební plochého vzorku, a_U – konečná tloušťka, b_U – konečná šířka)

Obr. 4.3 Zkušební tyč kruhová a plochá [47].

Výsledkem tahové zkoušky je smluvní diagram, který ukazuje závislost prodloužení a síly. Daný diagram může mít výraznou či smluvní mez kluzu. Mez kluzu je zobrazena na Obr. 4.4.



Obr. 4.4 Vlevo smluvní mez kluzu a vpravo výrazná mez kluzu [51].

Ze smluvního diagramu je možné vypočítat následující [46,48,50]:

- **tažnost A**, která je uvedena vztahem (4.1). Tažnost je nevratná deformace délky, která se vyjadřuje v procentech. Je určena v bodě přetržení zkušebního vzorku.

$$A = \frac{L_U \cdot L_0}{L_0} \cdot 100 [\%] \quad (4.1)$$

kde:

L_U [mm] - konečná délka po dokončení tahové zkoušky.

L_0 [mm] - počáteční délka.

- **kontrakce Z**. Vyjadřuje změnu příčného průřezu těsně po přetržení tyče a je uvedena vztahem (4.2).

$$Z = \frac{S_0 \cdot S_U}{S_0} \cdot 100 [\%] \quad (4.2)$$

kde:

S_U [mm²] - konečný průřez po dokončení tahové zkoušky.

S_0 [mm²] - počáteční průřez.

- **mez úměrnosti**. Je napětí, při kterém po uvolnění zkušebního vzorku dojde k navrácení do původního tvaru. Nedochozí k trvalé deformaci. Díky lineární závislosti průběhu grafu je možné použít Hookův zákon, který je uveden vztahem (4.3).

$$\sigma = \varepsilon \cdot E \text{ [MPa]} \quad (4.3)$$

kde:

E [MPa] - modul pružnosti v tahu.

ε [%] - deformace.

- **mez kluzu R_e .** Jedná se o místo v grafu, kde dochází k velkému nárůstu deformace, aniž by se zvyšovala síla na zkušební vzorek. Rozeznáváme horní mez kluzu R_{eH} a dolní mez kluzu R_{eL} . Mez kluzu se počítá vztahem (4.4).

$$R_e = \frac{F_e}{S_0} \text{ [MPa]} \quad (4.4)$$

kde:

F_e [N] - síla při napětí na mezi kluzu.

- **smluvní mez kluzu $R_{p0,2}$.** V některých případech není mez kluzu rozeznatelná, což je dáno materiálem vzorku a v takových případech se používá smluvní mez kluzu, která odpovídá napětí, které způsobí 0,2 % prodloužení. Při výpočtu se postupuje téměř stejně jako při výpočtu meze kluzu, jen místo zatížení na mezi kluzu F_e se vezme zatížení při 0,2 % prodloužení vzorku.
- **mez pevnosti R_m .** Při dosažení daného bodu v diagramu dochází k poklesu napětí až do destrukce vzorku. Jedná se o napětí, které je při největším zatížení. Je popsáno vztahem (4.5).

$$R_m = \frac{F_{max}}{S_0} \text{ [MPa]} \quad (4.5)$$

kde:

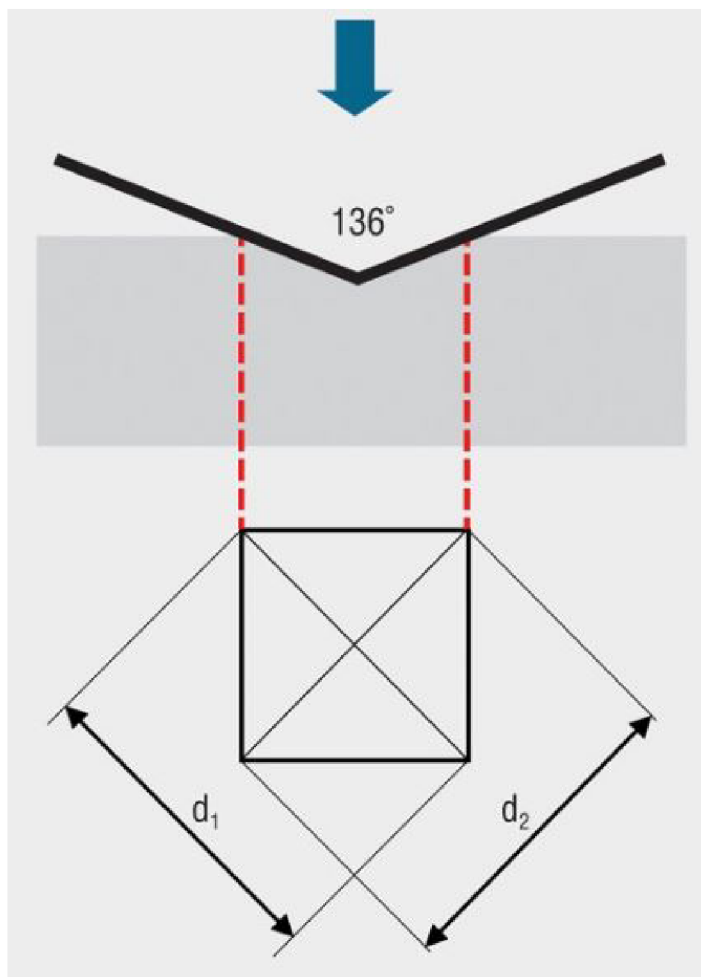
F_{max} [N] - síla při napětí na mezi pevnosti.

Při zkoušení zkušební vzorku, který má příčný svar, se primárně určuje jen mez pevnosti, protože ostatní hodnoty mohou být ovlivněny základním materiálem nebo tepelně ovlivněnou oblastí [46].

4.2.2 Zkoušky tvrdosti

Zkouška tvrdosti patří společně se zkouškou tahem k nejrozšířenějším. Jedná se o rychlou a relativně nízkonákladovou zkoušku, při které se zjišťuje tvrdost ve svaru, tepelně ovlivněné oblasti a základním materiálu. Tvrdost je odolnost zkoušeného materiálu proti vníkaní cizího tělesa. Zkoušky se rozdělují na statické (Zkouška dle Brinella, Vickerse, Rockwella, Martensona a metoda Knoop) a dynamické (Poldi kladívko, Baumannovo kladívko, Shoreho skleroskop a duroskop). Dále se dělí na vnikací, vrypové, nárazové nebo odrazové dle dané zkoušky. Při měření tvrdosti se nejvíce používá metoda dle Vickerse nebo dle Brinella. Zkouška dle Brinella je popsána v podkapitole 2.1.1 [47,50].

Podstata zkoušky dle Vickerse (udávaná normou ČSN EN ISO 6507-1) je ve vtlačování indentoru se známou tvrdostí (jehlan z diamantu s úhlem 136° mezi protilehlými plochami), do testovaného povrchu a následného vyhodnocení vtisku. Zatížení probíhá pod určitou silou za daného času. Schéma zkoušky je vidět na Obr. 4.5. Zkušební materiál bývá zatěžován 10–15 s [47,52].



Obr. 4.5 Schéma zkoušky tvrdosti dle Vickerse [53].

Ze zjištěných úhlopříček (d_1 a d_2) se dále dopočítá tvrdost dle Vickerse a je určena vztahem (4.6) [46,50].

$$HV = 0,102 \cdot \frac{2 \cdot F \cdot \sin \frac{136^\circ}{2}}{d^2} = 0,1891 \cdot \frac{F}{d^2} [-] \quad (4.6)$$

$$d = \frac{d_1 + d_2}{2} [mm] \quad (4.7)$$

kde:

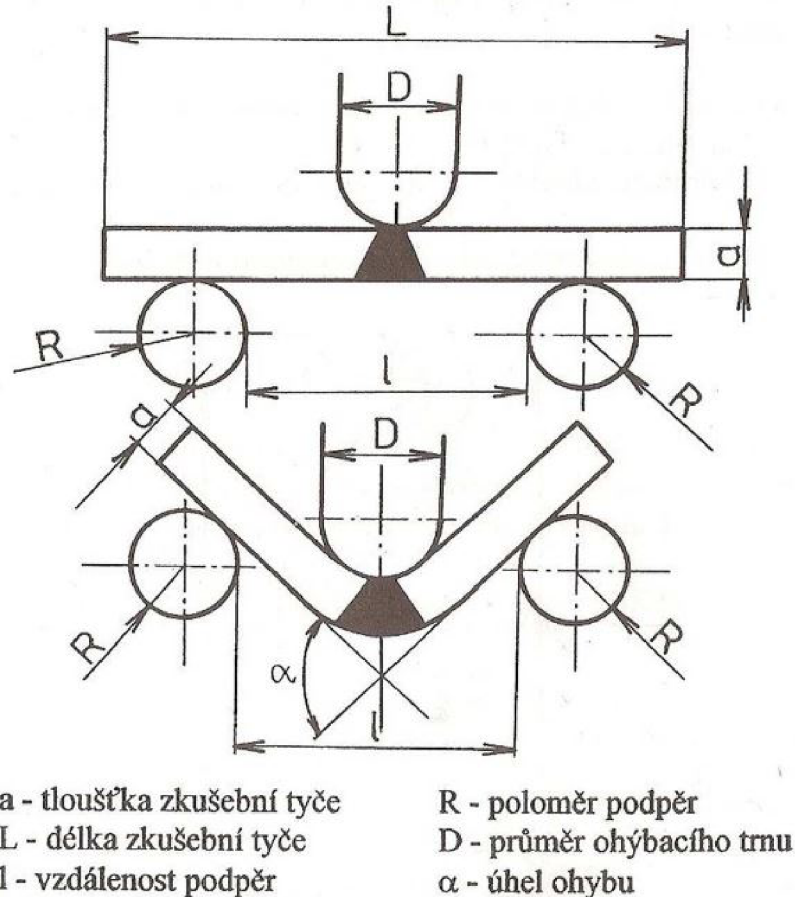
F [N] - síla při zatěžování.

d [mm] - aritmetický průměr vypočítaný z odměřených úhlopříček d_1 a d_2

4.2.3 Zkouška ohybem

Základem zkoušky ohybem je ohybová deformace. Pomocí ní se určují plastické vlastnosti testovaného vzorku a při aplikaci na posouzení svaru se posuzují deformační vlastnosti spoje za studena. Zkouška se provádí podle normy ČSN EN ISO 5173, která rozlišuje zkoušku přes ohýbací trn a přes ohýbací kladku [50,60].

Testovací vzorek tloušťky maximálně 30 mm se ohne kolem trnu do úhlu, který popisuje norma. Rozměry trnu stanoví ohýbaný materiál. Při zkoušce ohybem je jedna část namáhána tahem a druhá tlakem dle Obr. 4.6. Ohybová zkouška se provádí s vzorky, které mají svar příčně nebo podélně. Pro lepší zvýraznění makrostruktury je možné před provedení zkoušky ohybem naleptat povrch svaru [50,60].



Obr. 4.6 Schéma zkoušky ohybem [49].

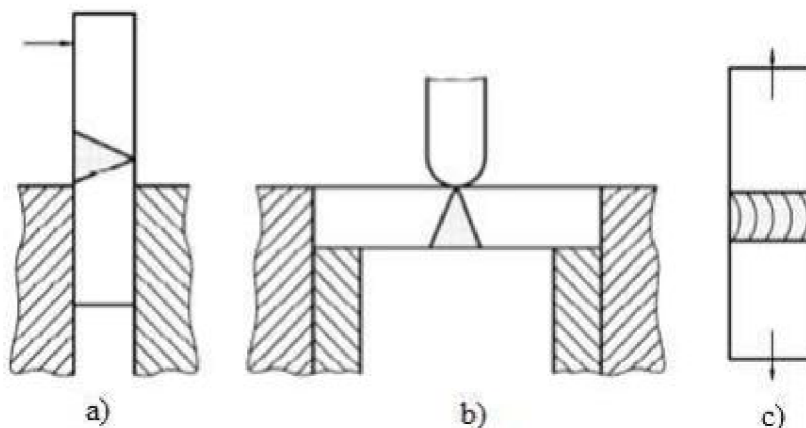
Zkouška se provádí položením testovacího vzorku na podpěrné válečky s těžištěm vzorku přesně pod ohýbacím trnem. Ohýbací trn zatíží vzorek postupně a plynule kolmo na svar. Příprava zkušebních vzorků je stejná jako při tahové zkoušce. Výsledný vzorek by měl mít požadovaný úhel bez větších vad než 3 mm ve všech osách a ideálně bez vad [50,60].

4.2.5 Zkouška rozlomením

Daná zkouška se používá pro zjišťování vnitřních vad ve svaru potažmo v jeho okolí. Zkouška je popsána normou ČSN EN ISO 9017. Zkouška spočívá v rozlomení testovacího vzorku buď tahem, nebo ohybem a následného zjištění kvality svarového spoje. Místo vzniku lomu určuje vrub nebo teplota, při které je zkouška prováděna [50,61].

Zkouška se provádí buď dynamicky za použití například kladiva, staticky působením lisu nebo trnu. Na Obr. 4.7 je znázorněna [61]:

- zkouška dynamickým rázem,
- zkouška statickým ohybem,
- zkouška tahovým zatížením.



Obr. 4.7 Schéma zkoušky rozlomením [61].

4.3 Nedestruktivní zkoušky

V praxi se při zjišťování kvality svaru nejčastěji používají nedestruktivní metody z důvodu, že nedojde k poškození testovaného vzorku. Zkoušky defektoskopie není možné provádět na dílech s povrchovou úpravou. NDT (non-destructive testing) zkoušky se rozdělují na dva typy – zjišťování povrchových a vnitřních vad.

Zkoušky pro povrchové vady [55]:

- vizuální metoda (VT),
- kapilární metoda (PT),
- magnetická metoda prášková (MT).

Zkoušky pro vnitřní vady [55]:

- metoda ultrazvuková (UT),
- metoda prozářením (RT).

4.3.1 Vizuální metoda

Jedná se o nejrozšířenější metodu nedestruktivní kontroly kvůli své jednoduchosti a nízkým nákladům. Metoda se zaměřuje na zjišťování a hodnocení povrchu svaru a jeho okolí pomocí oka nebo speciálních přístrojů. Danou metodou se zjišťuje přítomnost trhlin, zápalů, pórů a také tvarové vady jako jsou přesazení svaru, převýšení kořene a neprovařenost kořene. Vizuální metoda by měla předcházet každé další NDT metodě [55].

Metoda je popsána normou ČSN EN ISO 17637. Je rozdělena na metodu přímou, která se provádí zrakem nebo lupou a na metodu nepřímou, která se provádí za pomoci fotoaparátů, videoskopů nebo přístroji s optickými vlákny. Pracovník, který provádí vizuální kontroly, musí mít jednou ročně zkontrolovaný zrak a důkladnou znalost kontrolované problematiky [55,62].

Při provádění vizuální kontroly musí být vzdálenost oka od pozorovaného místa menší jak 600 mm, musí být zaručeno osvětlení v rozsahu 350–500 luxů a úhel pozorování větší jak 30°. Vyhodnocení kvality svaru u hliníkových slitin je popsáno normou ČSN EN ISO 10042 [62,63].

4.3.2 Kapilární metoda

Stejně jako předchozí metoda je i kapilární metoda jednoduchá a nízkonákladová a jediná podmínka její provedení je nepórovitost testovaného materiálu. Kapilární metoda je popsána normou ČSN EN ISO 3452-1 a její vyhodnocení normou ČSN EN ISO 23277. Použití kapilární metody a její efektivnost je omezena na vady, které ústí na povrchu. Princip metody se zakládá na kapilární elevaci tzn. na povrchovém napětí kapaliny způsobeném kohezní silou u stěn [46,64,65].

Před samotným zkoušením je nutné povrch zbavit mastnot a nečistot. Zkoušený povrch je natřen penetrantem a ten vnikne do trhlin a dalších vad (penetrační čas je 5–60 min). Natřená indikační látka se setře a pomocí detekční kapaliny (vývojka) vzlíná penetrant na povrch (vyvíjecí čas je 10–30 min). Vyhodnocení probíhá za bílého světla a výsledná indikace vady bývá červené barvy. Dle druhu indikace se vyhodnotí vada (liniová indikace–většinou trhliny, přerušovaná liniová indikace–necelistvosti na povrchu, okrouhlá indikace–vměstky, tečkovitá indikace–porezita). Schéma je uvedeno na Obr. 4.8 [55].



Obr. 4.8 Schéma kapilární metody [66].

Kapilární metoda se rozděluje podle vzniklé indikace [55]:

- metoda barevné indikace,
- metoda fluorescenční,
- metoda dvouúčelová.

Rozdělení kapilárních prostředků [46,55]:

- penetranty – jsou to směsi organických rozpouštědel a ropných produktů s luminoforem. Nanáší se na povrch testovaného vzorku,
- vývojky – zviditelňují vady v povrchu, prakticky se dají popsat jako savé papíry. Nanáší se na povrch po odstranění penetrantu. Převážně se jedná o práškovité složky bílé barvy ve vzduchu nebo vodě,
- čističe – odmašťovače povrchů, které se používají před nanesením penetrantu,
- emulgátory – pomáhají odstraňovat zbytky penetrantu z testovaného vzorku.

4.3.5 Metoda prozářením

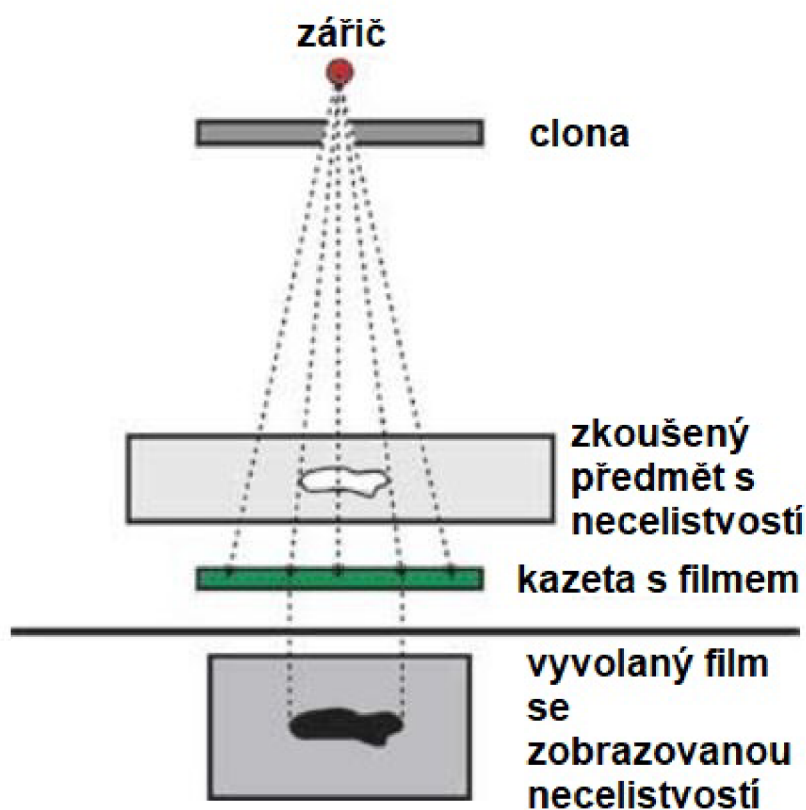
Metoda prozářením může využívat film nebo digitální detektor. V praxi se většinou využívá jako záznamový prostředek film. Norma ČSN EN ISO 17636-1 popisuje metodu prozářením s použitím filmu [46,67].

Zdroj produkuje ionizující záření, a to prochází testovaným materiálem. Ionizující záření přeneše informace o testovaném materiálu na záznamový prostředek, kterým

může být film. Svazek ionizujícího záření (rentgenového záření) se označuje jako X záření. Jde o krátkovlnné fotonové záření, které má původ v elektronovém obalu atomu. Fotonové záření vzniká v zařízení, které se jmenuje rentgenka, která se skládá z transformátoru, katody a anody. Žhavicí transformátor nahřeje wolframové jádro (katodu) vysokým napětím v řádech desítek kilovoltů. Volné a slaběji vázané elektrony začnou přecházet do prostoru. Potenciální spád mezi anodou a katodou zaručí urychlení elektronů směrem k anodě, kde dochází ke vzájemnému působení s anodou [46].

Rentgenové záření procházející testovaným materiálem ztrácí na své intenzitě. Rozdílné tloušťky a materiály a jejich protonová čísla ovlivňují záření a vytvářejí nehomogenní obraz tzv. reliéf intenzity. Při přítomnosti vady se mění intenzita záření, a to se projeví na radiografickém filmu [46,55].

Na radiografickém filmu se vytvoří neviditelný film, který je fotochemicky zpracován a to vyvoláním, ustálením, praním a sušením. Vzniklý obraz se nazývá radiogram, který se prohlíží prosvětlením na negatoskopu. Výsledný obraz se porovnává s etalonovými měrkami. Schéma metody prozáření je na Obr. 4.9 [46,55].



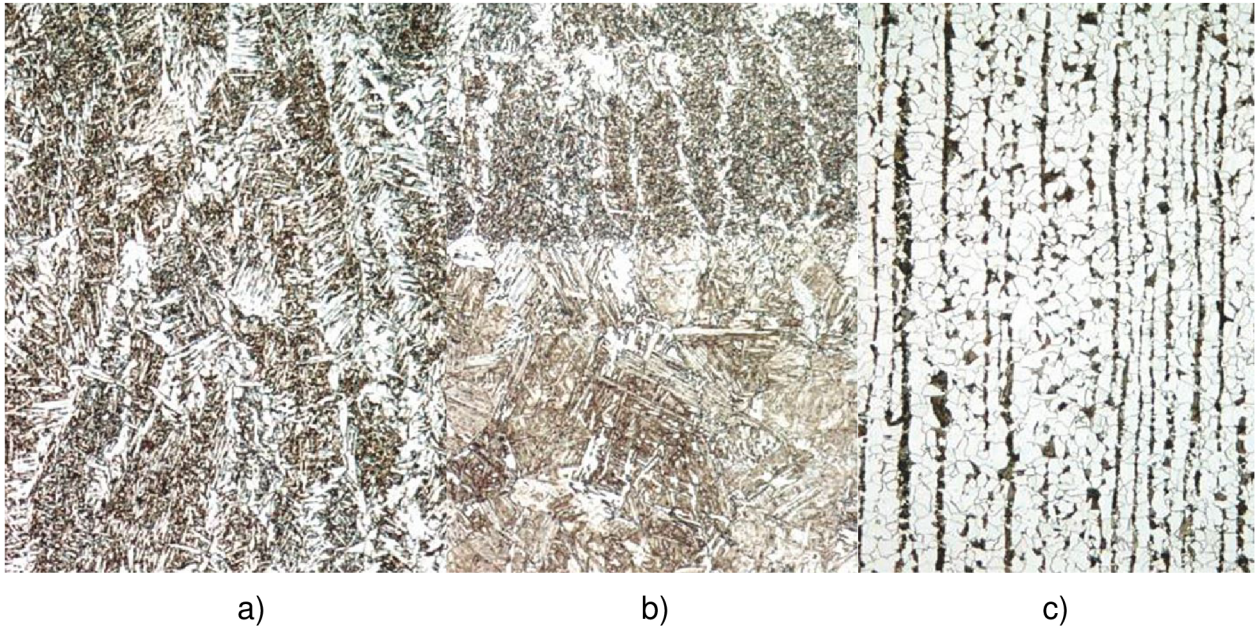
Obr. 4.9 Schéma metody prozáření [68].

4.4 Metalografické zkoušky

Řadí se mezi destruktivní zkoušky s odlišným charakterem. Zjišťují se mechanické vlastnosti, struktura svaru, potažmo tepelně ovlivněné oblasti a další makroskopické nebo mikroskopické vlastnosti. Metalografické zkoušky se provádí buď v neleptaném, nebo naleptaném stavu. Závěrem takových zkoušek bývá protokol, který obsahuje údaje, jako jsou velikost přiblížení, druh leptadla, metoda naleptání, typ kontroly, příslušná norma k dané kontrole, poloha vzorku atd. [46,50].

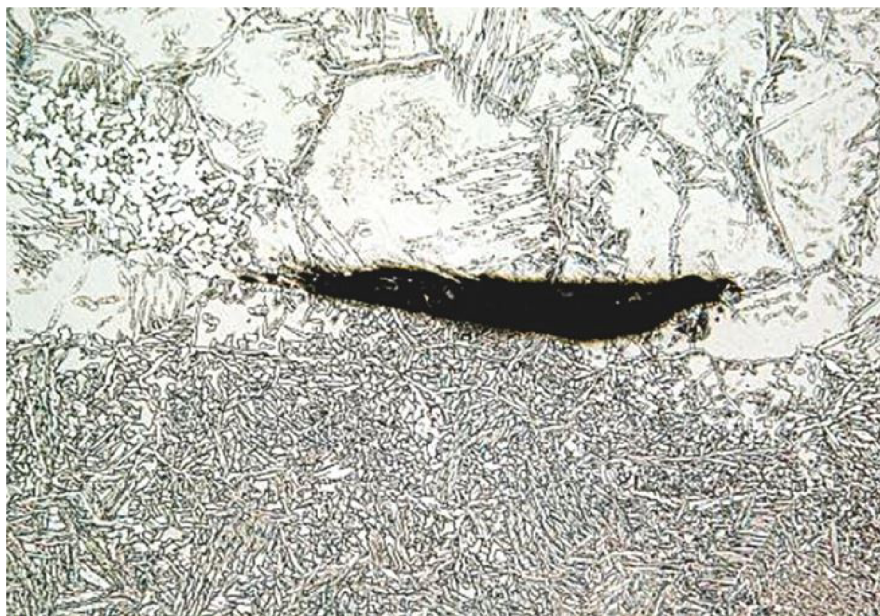
4.4.1 Mikroskopická zkouška

Zkouška se provádí pomocí stereomikroskopu, který má zvětšení až 2 000x. Potažmo pomocí laserového mikroskopu, který má zvětšení až 10 000x. Kontrolují se vzorky, které mají příčný svar. Mikroskopická kontrola vyžaduje přípravu před samotným hodnocením. Jedná se o broušení, leštění a eventuálně leptání vzorku. Příklad mikrostruktury oceli je zobrazen na Obr. 4.10 [46,50].



Obr. 4.10 Mikrostruktura a) svarového kovu, b) TOO, c) základního materiálu [54].

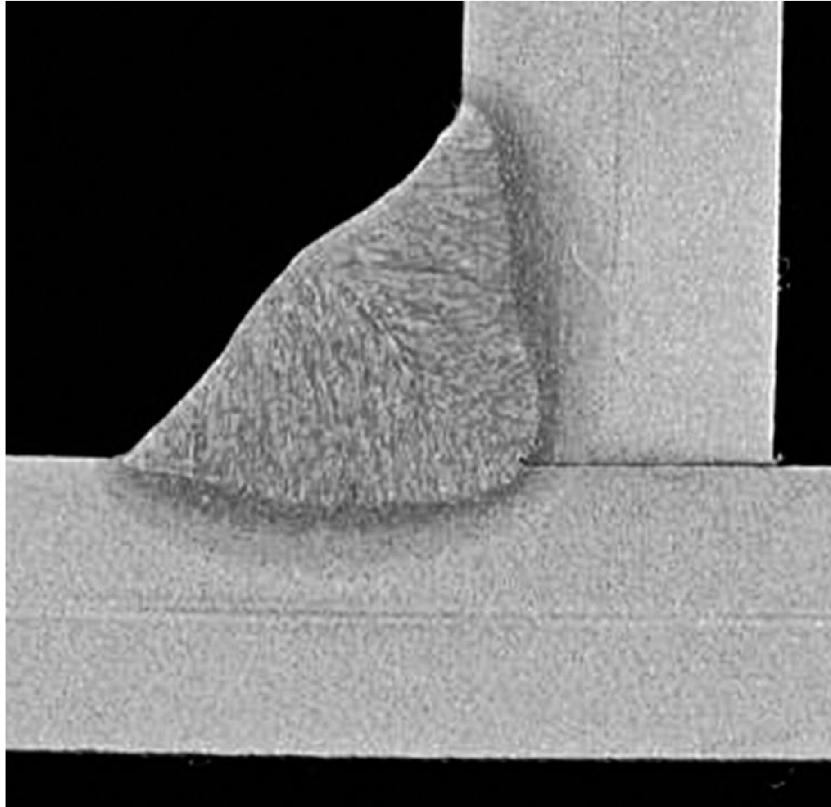
Mikroskopická zkouška je velice náročná a nákladná, tudíž se provádí pouze ve výjimečných případech. Kontrolují se pomocí ní zrna materiálu, hranice zrn, oblasti natavení atd. Na Obr. 4.11 je možné vidět studený spoj pod mikroskopem [54].



Obr. 4.11 Mikroskopické zobrazení studeného spoje [54].

4.4.2 Makroskopická zkouška

Na rozdíl od mikroskopické kontroly není potřeba používat speciální mikroskopy. Ke kontrole postačí pouhé oko, potažmo lupa nebo mikroskop se zvětšením 50x. Stejně jako u mikroskopické kontroly je důležité, aby svar byl na testovaném vzorku příčně k ose. Před samotným vyhodnocením je nutné svar vybrousit, vyleštit a potažmo naleptat [46,50]. Makrostruktura koutového svaru je vidět na Obr. 4.12.



Obr. 4.12 Makrostruktura koutového svaru [54].

Kontroluje se převážně způsob a kvalita nanesení svarových housenek, spojení tepelně ovlivněné oblasti se svarovým kovem a základním materiálem, tvar a velikost svarového kovu a zředění svarového kovu se základním materiálem, které se vypočítá dle vztahu (4.8) [50].

$$X = \frac{S_p}{S_p + S_z} \cdot 100 [\%] \quad (4.8)$$

kde:

- S_p [mm²] - plocha roztaveného kovu svarového spoje.
- S_z [mm²] - plocha roztaveného základního materiálu.

5 EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST

V experimentální části je diskutována kontrola vad svarových spojů nájezdových ramp. K experimentu byla vyrobena rampa dle výrobní dokumentace v příloze 4. Nájezdová rampa se skládá z několika profilů, které byly nařezány na požadované délky a následně svařeny kvalifikovaným pracovníkem pomocí metody MIG.

Profily, ze kterých se nájezdová rampa skládá, jsou vidět na Obr. 5.1 Prostřední profil je vysoký 250 mm, zároveň může být vysoký 375 mm a jejich kombinováním a skládáním se dosahuje výška rampy dle požadavku zákazníka.



Obr. 5.1 Profily používané na výrobu nájezdových ramp.

Na svařování nájezdových ramp ve firmě byla pořízena svářečka Migatronic–Sigma² 400, která je propojená se svařovacím automatem SA 724 od společnosti KSK, s.r.o., který je znázorněn na Obr. 5.2. Svářečka má proudový rozsah 15–400 A, rychlost podávání drátu 0,5–24 m/min, možný průměr drátu 0,6–2,4 mm a maximální možný průměr cívký 300 mm.



Obr. 5.2 Svařovací automat SA 724.

Pracovní stůl má na sobě měděné lišty, na které se složené profily pokládají. Upínání rampy se provádí přes speciálně vyrobené upínky k dané specifické aplikaci.

Na svařování nájezdových ramp ve firmě z materiálu EN AW-6005A T6 je používán přídatný drát OK Autrod 5356 dle EN ISO 18273 S Al 5356 o průměru 1,2 mm (specifikace je v příloze 1). Přídatný drát je zobrazen na Obr. 3.8 a jeho popis na Obr. 5.3.



Obr. 5.3 Popis přídatného drátu OK Autrod 5356.

Ochranný plyn, který se používá při svařování nájezdových ramp je Aluline He30 tzn., že plyn má 30 % helia a 70 % argonu. Technický list je přiložen v příloze 2.

Rampy jsou svařovány ze základního materiálu hliníkové slitiny EN AW-6005A T6. Mechanické hodnoty dané slitiny jsou uvedeny v Tab. 5.1.

Tab. 5.1 Mechanické vlastnosti hliníkové slitiny EN AW-6005A T6.

	$R_{p0,2}$	R_m
EN AW-6005A T6	253 [MPa]	273 [MPa]

Cílem experimentu je ověření mechanických vlastností svarů nájezdových ramp a kontrola s ohledem na výskyt vad. Prvotním krokem bylo svaření rampy a následná tvorba jednotlivých vzorků, které byly nařezány na pile.

K určení daných cílů byly vybrány zkoušky:

- tahová,
- makroskopická,
- vizuální,
- a zkouška mikrotvrdosti.

Průběh svařování vzorové rampy je možné vidět na Obr. 5.4. Počet svarových housenek je na každé straně 1. Typ přenosu kovu je impulzní.

Parametry, při kterých byla nájezdová rampa svařena, jsou uvedeny v Tab. 5.2.

Rampa byla složena dle výkresové dokumentace v příloze 5.

Tab. 5.2 Svařovací parametry pro svařování nájezdových ramp.

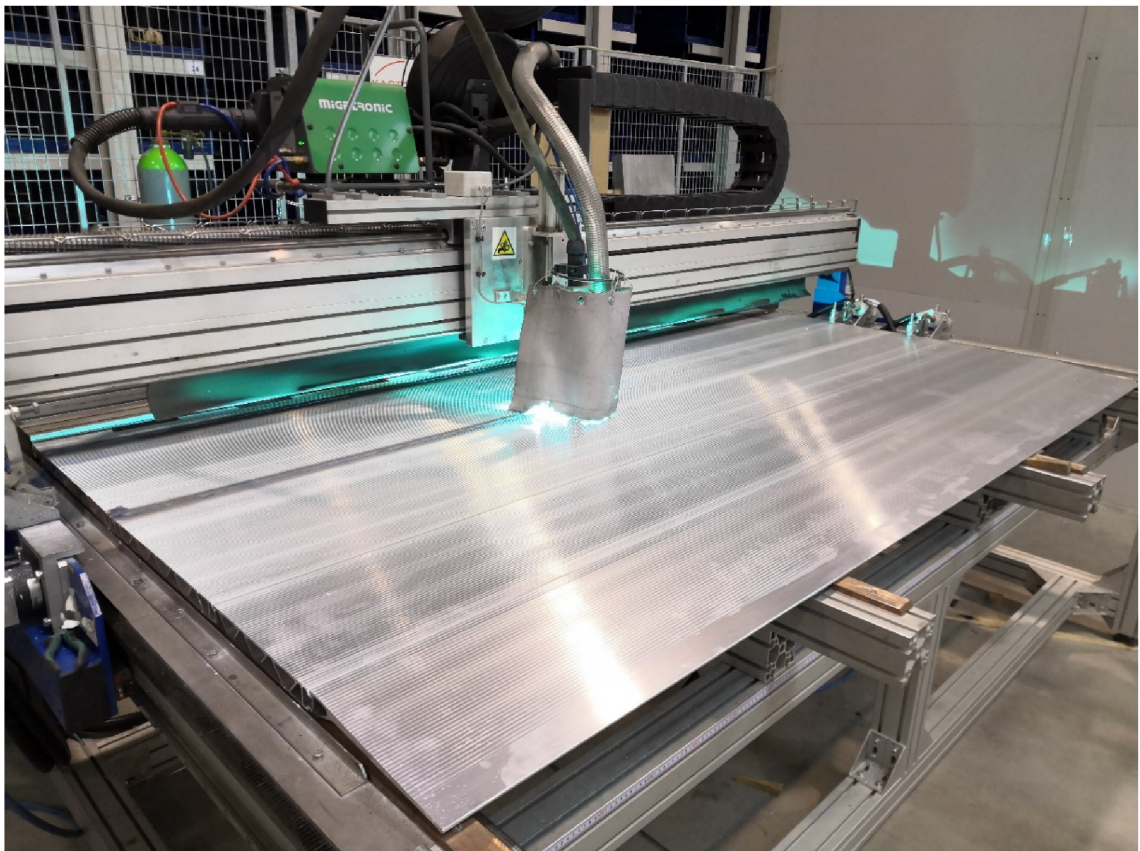
	I	U	v	Q
Rampa pro DP	140 [A]	24,3 [V]	60 [cm/min]	0,27216 [kJ/mm]

Tepelný příkon Q se spočítá z rovnice 5.1:

$$Q = \frac{\eta \cdot U \cdot I}{v \cdot 1000} = \frac{0,8 \cdot 24,3 \cdot 140}{10 \cdot 1000} = 0,27216 \text{ [kJ/mm]} \quad (5.1)$$

kde:

- η [-] - účinnost tepelného přenosu při svařování (u hliníku = 0,8).
- U [V] - svařovací napětí.
- I [A] - svařovací proud.
- v [cm/min] - rychlost svařování.



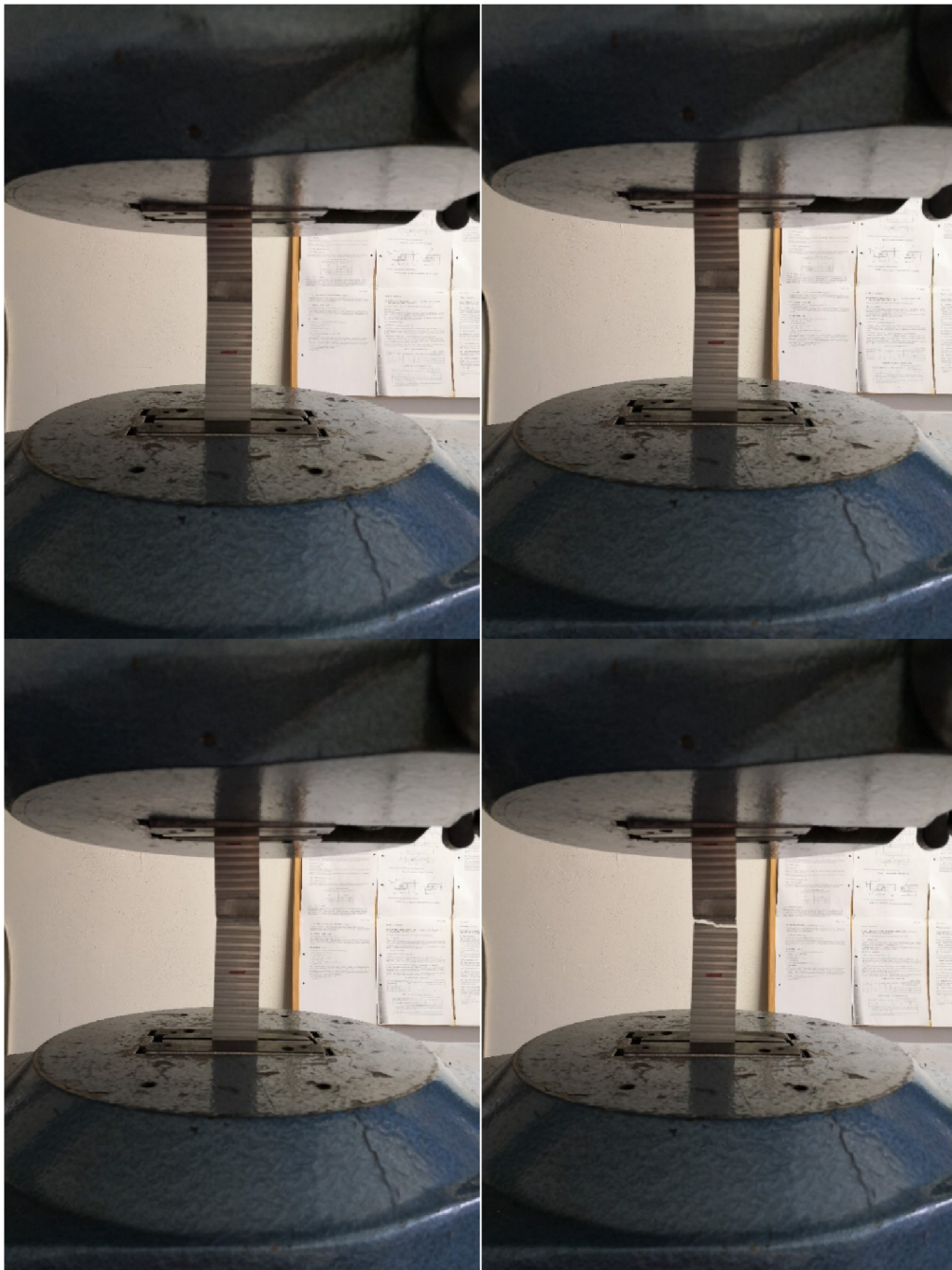
Obr. 5.4 Svařování nájezdové rampy.

5.1 Tahová zkouška

Připravené vzorky, které byly nařezány na rozměry 3 x 30 mm, byly testovány v laboratoři VUT na trhacím stroji ZD40, jehož parametry jsou v příloze 4. Jedná se o 8 vzorků, které byly zkoušeny na tah. Všechny vzorky byly před samotnou zkouškou označeny a následně byla zaznamenána stejná vzdálenost od středu svaru, kvůli změření následného prodloužení po vykonání tahové zkoušky.

U všech vzorků je možné pozorovat pomalý náběh do zatížení, které je způsobeno faktem, že chvíli trvá, než stroj vyvine sílu, která začne vzorek trhat.

Záznam průběhu zkoušky je možné vidět na Obr. 5.5.

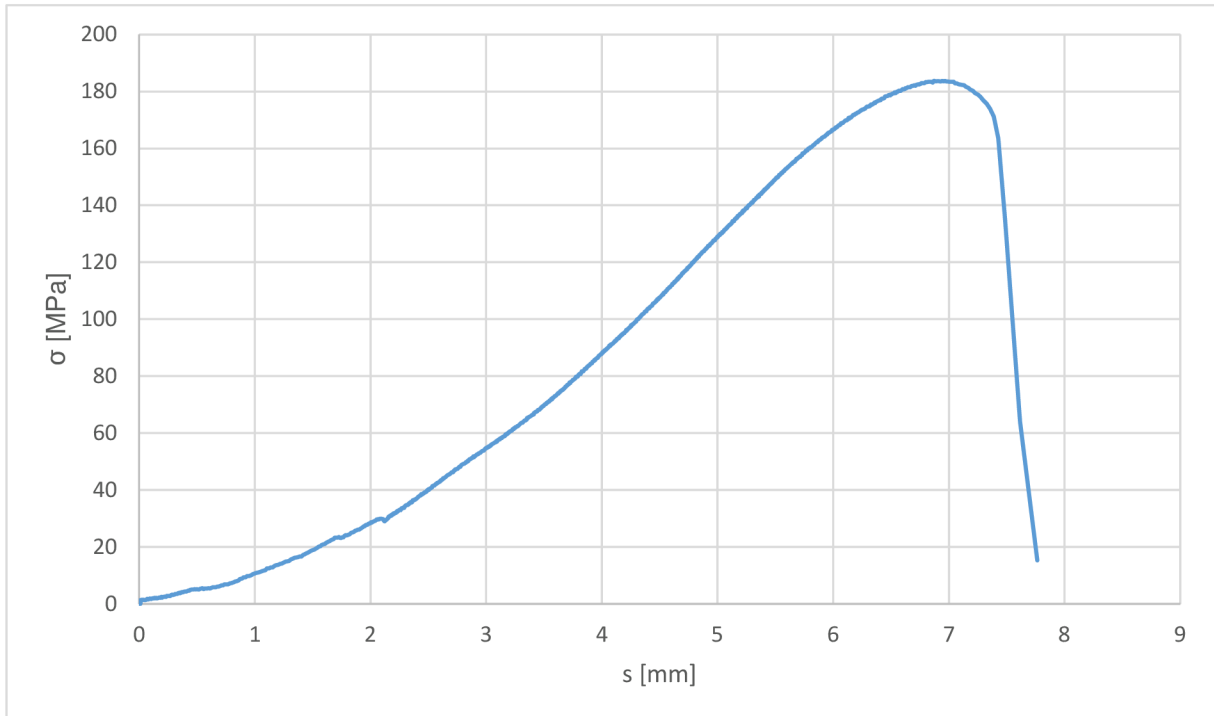


Obr. 5.5 Postupný záznam přetržení vzorku.

Výsledky tahové zkoušky:

Vzorek 1:

Tahová zkouška provedená na vzorku 1 je na Obr. 5.6 a její přesné hodnoty, které byly naměřeny, jsou uvedeny v Tab. 5.3.



Obr. 5.6 Graf tahové zkoušky vzorku 1.

Tab. 5.3 Výsledné hodnoty z tahové zkoušky vzorku 1.

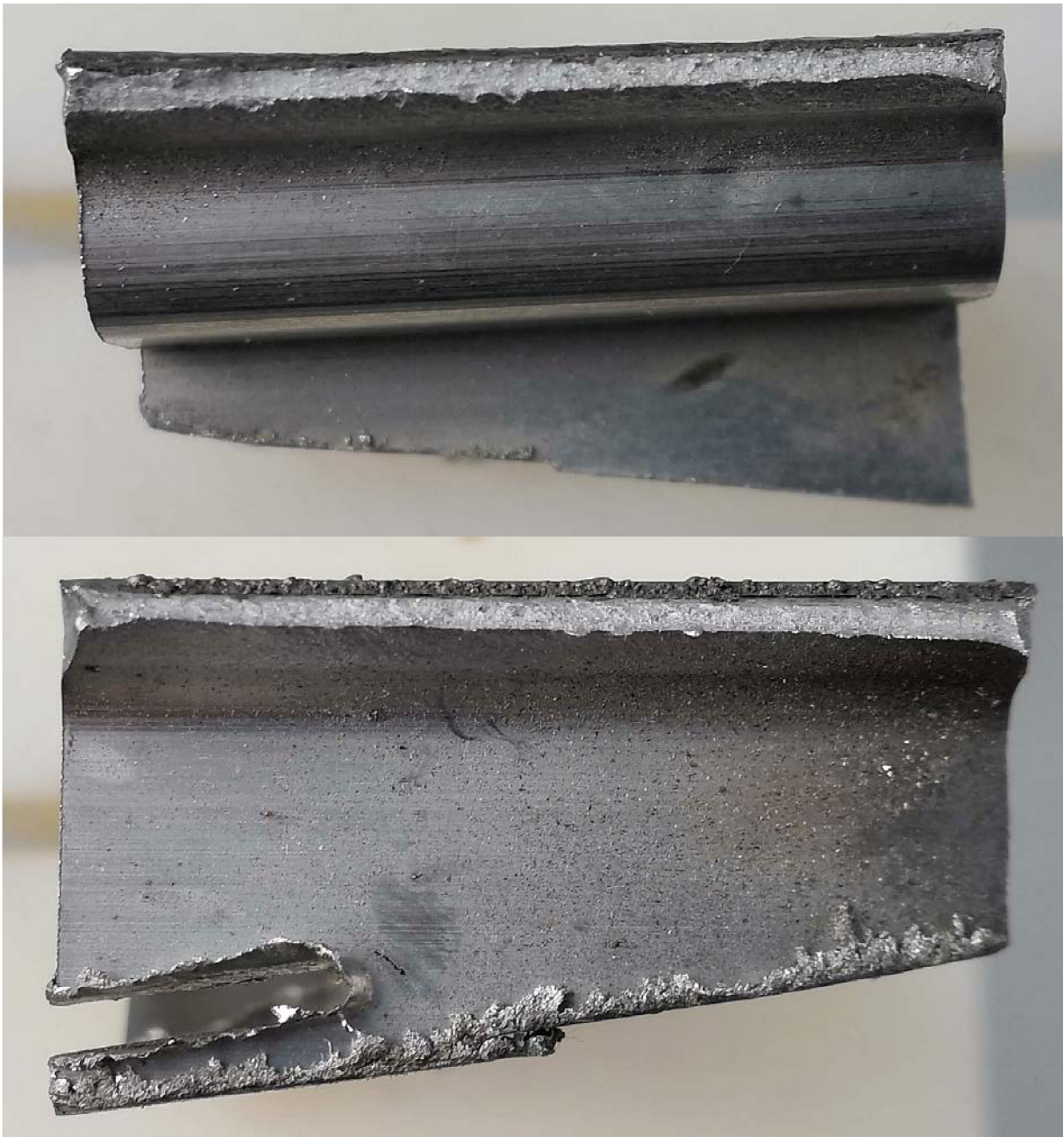
	$R_{p0,2}$	R_m	F_{max}
Vzorek č. 1	179,6 [MPa]	181,3 [MPa]	14 428 [N]

Na Obr. 5.7 je vidět místo přetržení zkušební vzorku, které se nachází v tepelně ovlivněné oblasti. V dané oblasti se vzorek přetrhl kvůli částečnému rozpuštění precipitátu v základním materiálu při svařování. V daném místě došlo k poklesu tvrdosti.



Obr. 5.7 Místo přetržení vzorku 1.

Lom, který vznikl v tepelně ovlivněné oblasti, je tvárný. Je zobrazen na Obr. 5.8.



Obr. 5.8 Lomové plochy vzorku 1.

Zbylé tahové zkoušky jsou v příloze 6, která je součástí diplomové práce. Konkrétní hodnoty pro všechny zkoušky jsou uvedeny v Tab. 5.4.

Tab. 5.4 Výsledné hodnoty z tahové zkoušky.

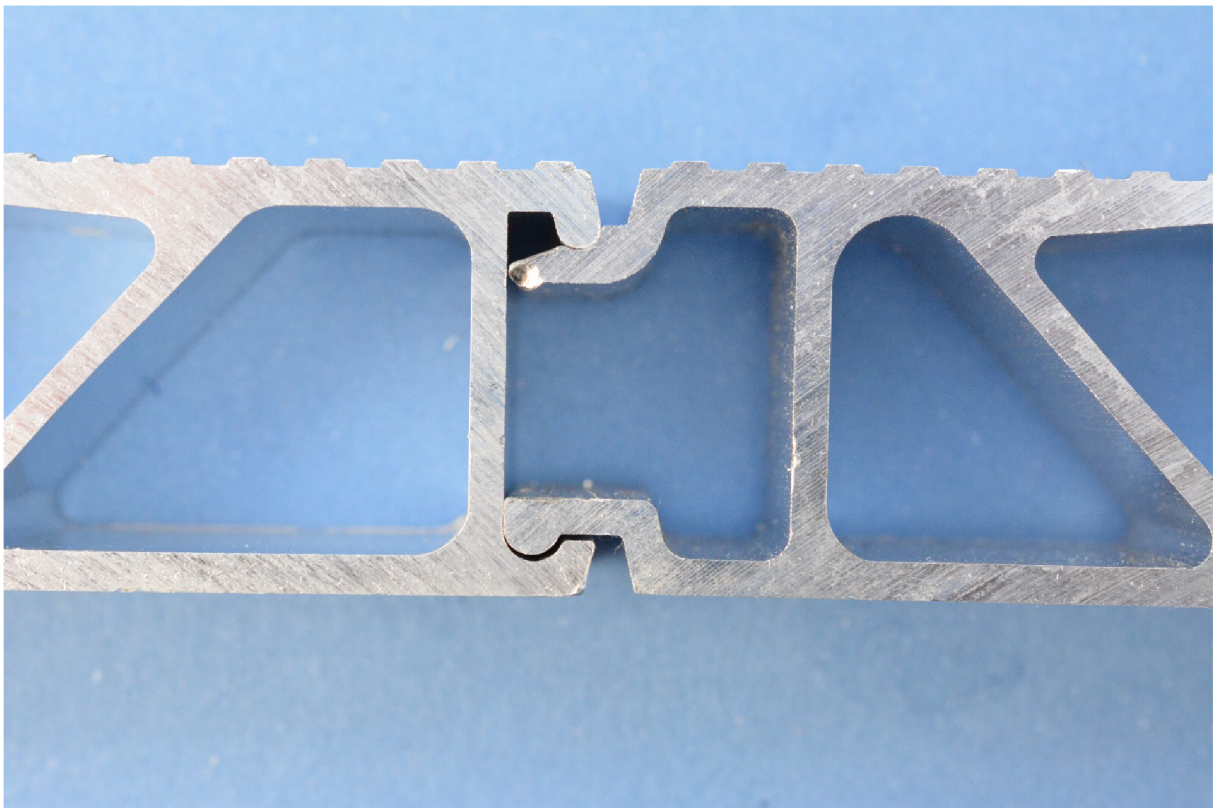
	$R_{p0,2}$	R_m	F_{max}
Vzorek 1	179,6 [MPa]	181,3 [MPa]	14 428 [N]
Vzorek 2	189,2 [MPa]	189,6 [MPa]	14 814 [N]
Vzorek 3	179,4 [MPa]	182,3 [MPa]	14 240 [N]

Vzorek 4	184,4 [MPa]	184,9 [MPa]	14 324 [N]
Vzorek 5	167,6 [MPa]	178,7 [MPa]	14 616 [N]
Vzorek 6	168,7 [MPa]	180,4 [MPa]	14 494 [N]
Vzorek 7	166,3 [MPa]	197,9 [MPa]	16 112 [N]
Vzorek 8	165 [MPa]	195,4 [MPa]	15 810 [N]
Průměrné výsledky	175 [MPa]	186,3 [MPa]	14 855 [N]

Testované vzorky byly všechny přetrženy v tepelně ovlivněné oblasti, a to z důvodu částečného rozpuštění precipitátů při svařování. Průměrné výsledky tahové zkoušky ukazují, že nájezdová rampa má po svaření nižší mechanické vlastnosti než základní materiál.

5.2 Makroskopická zkouška

Zkouška je popsána v podkapitole 4.4.2. Profily před svařením je možné vidět na Obr. 5.9. Před zkouškou bylo nutné nařezat vzorek rampy na pásové pile. Následně byl vzorek vybroušen na metalografické pile, která zaručí, že nedojde ke změně struktury a díky chlazení vzduchem nedochází k tepelnému ovlivnění vzorku.

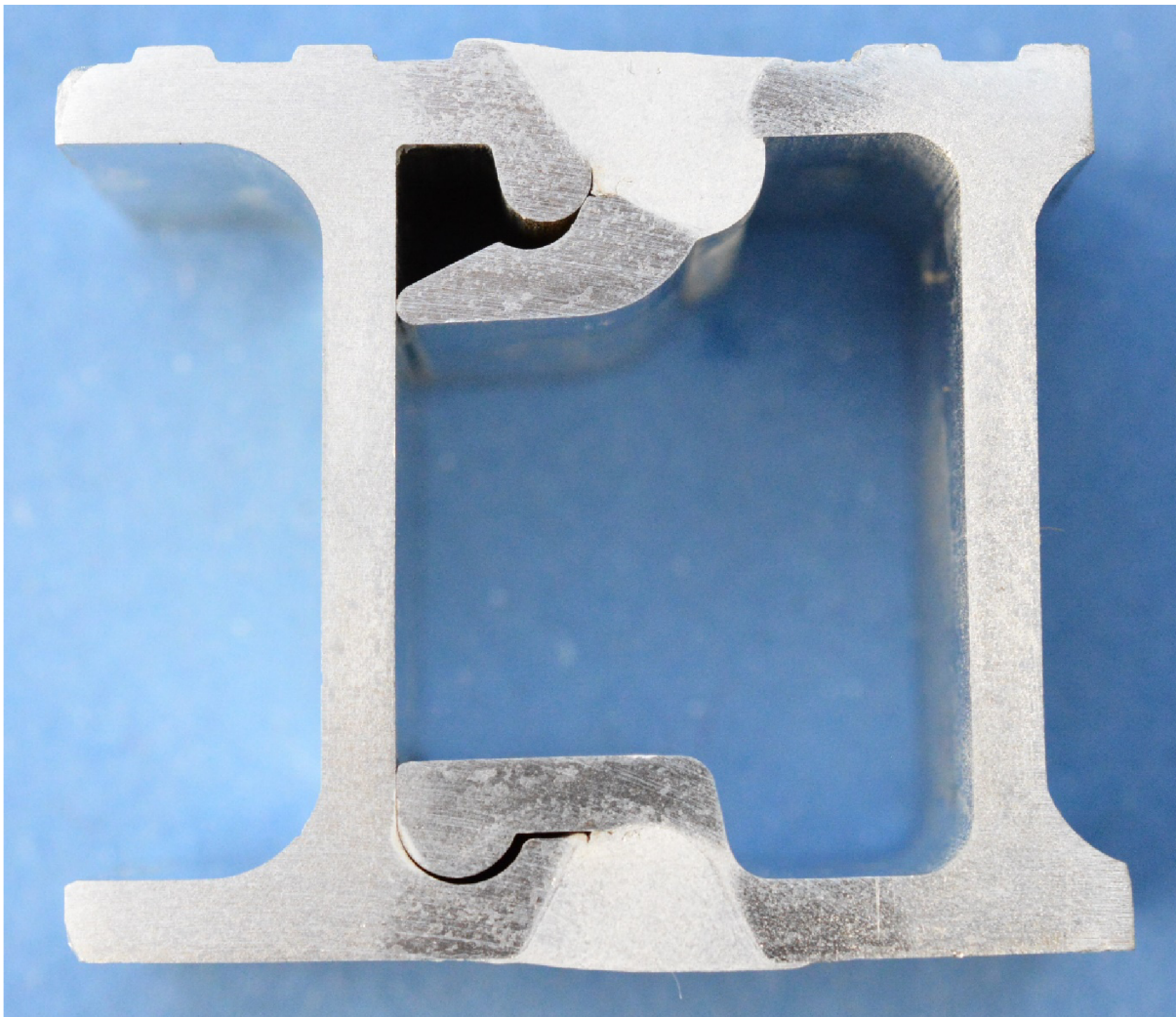


Obr. 5.9 Ukázka profilů před svařováním.

Následně byl vzorek vybroušen na brusce za pomoci disků s hrubší zrnitostí diamantových zrn až po extra jemný kotouč. Celý proces byl chlazen vodou, aby

nedošlo k tepelnému ovlivnění vzorku. K vyvolání struktury svaru bylo použito leptání, díky čemuž dochází ke zvýraznění struktury. Pro testovaný vzorek bylo použito leptadlo na hliník FUSS, který působil na danou strukturu po dobu 120 s. Po uplynulé době byl vzorek očištěn vodou a lihem a následně vysušen.

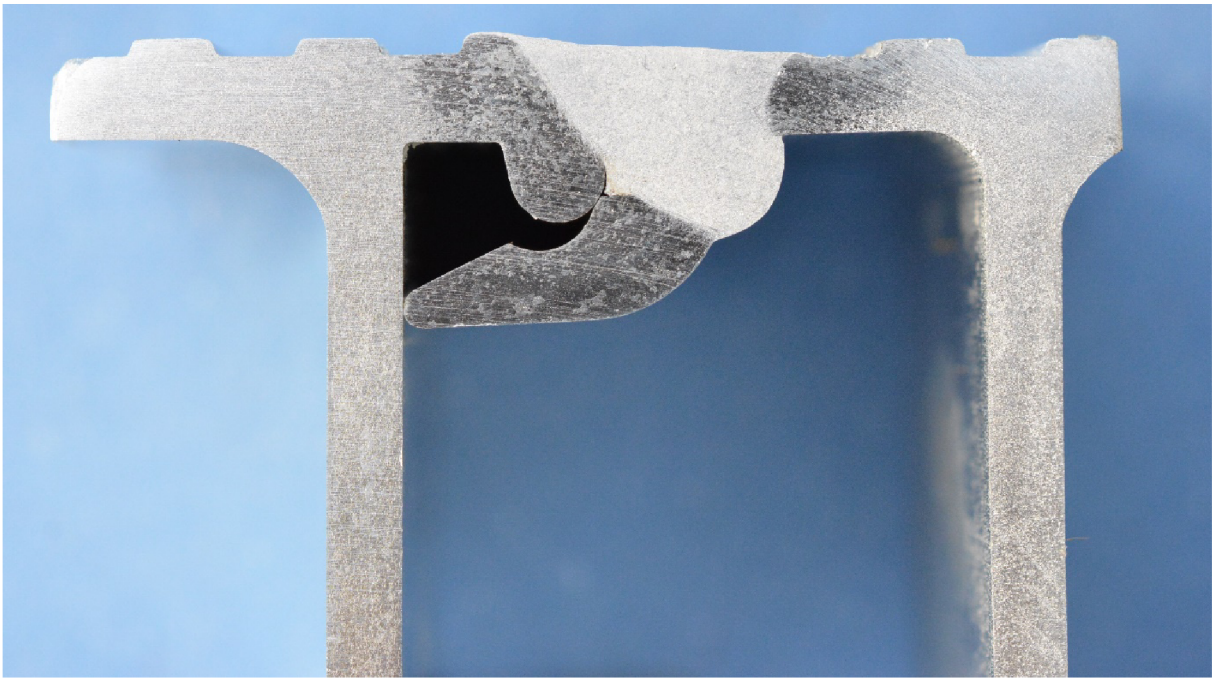
Vyleptaný vzorek byl nafocen a je vidět na Obr. 5.10.



Obr. 5.10 Naleptaný svařený vzorek.

Horní část nájezdové rampy je detailně zobrazena na Obr. 5.11.

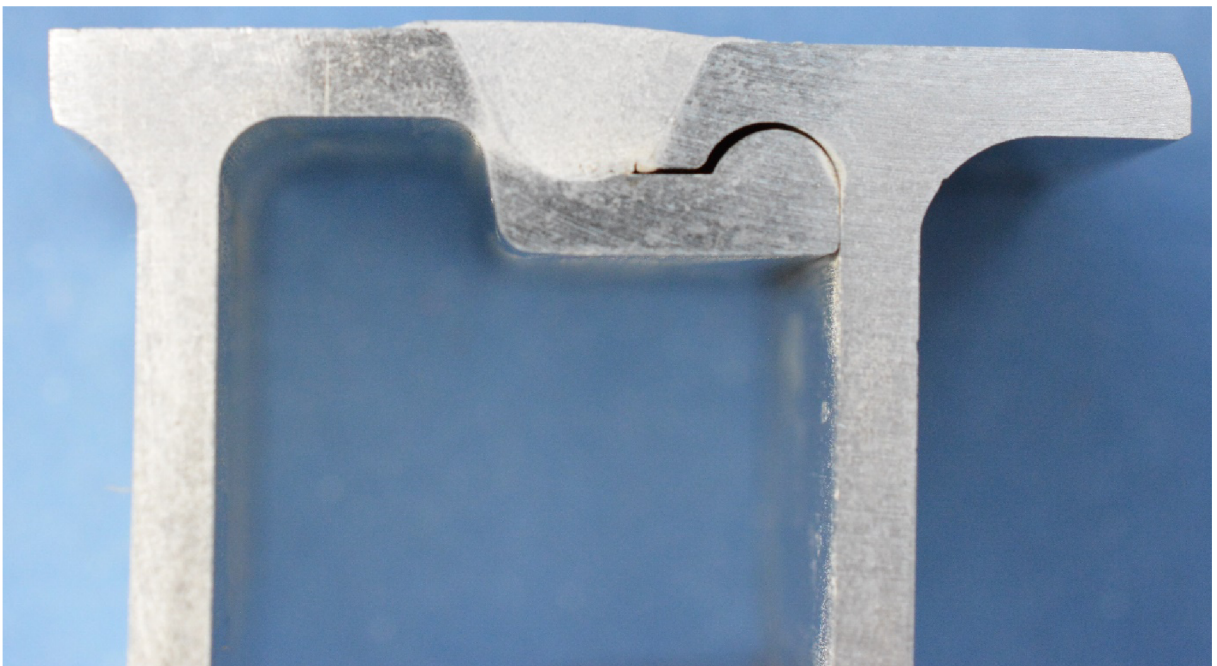
V levé spodní části svaru je vidět studený spoj, který je v kořeni (4013 označení vady dle ČSN EN ISO 6520-1). Studený spoj je iniciátor trhlin při cyklickém zatěžování a je to velice nepříznivá vada. Dále je možné pozorovat natavený kov více v pravém dílu základního materiálu, jak v levém. Nebyly zaznamenány žádné trhliny, póry, neprovařený kořen ani nadměrné převýšení.



Obr. 5.11 Detail horní části vzorku.

Spodní část nájezdové rampy je detailně zobrazena na Obr. 5.12.

V pravé spodní části svaru je opět vidět studený spoj, který je v kořeni (4013). Studený spoj je iniciátor trhlin při cyklickém zatěžování a je to velmi nepříznivá vada. Dále je možné pozorovat natavený kov více v levém dílu základního materiálu, jak v pravém, ačkoliv se nejedná o tak markantní rozdíl jako u horní části vzorku. Nebyly zaznamenány žádné trhliny, póry ani neprovařený kořen. Převýšení tupého svaru je v normě.



Obr. 5.12 Detail spodní části vzorku.

5.3 Vizuální kontrola

Při svařování a po dokončení nájezdové rampy byla provedena vizuální kontrola dle ČSN EN ISO 17637. Mezní hodnota vad, dle typu výrobku, byla stanovena dle stupně kvality C. Vady byly hodnoceny dle normy ČSN EN ISO 5817 a popsány normou ČSN EN ISO 6520-1.

Byl zpozorován mírný rozstřík svarového kovu (602), který je ovšem přípustný při dané aplikaci výrobku.

Na začátku svaru byl zpozorován studený spoj (401), který je vidět na Obr. 5.13, který je klasifikovaný jako nepřípustná vada.



Obr. 5.13 Studený spoj na začátku svaru.

Převýšení tupého svaru je v normě.

Na konci svaru byla zjištěna koncová kráterová staženina (2025), která je na Obr. 5.14. Hloubka staženiny je vyšší než 1 mm, a tudíž se jedná o nepřípustnou vadu. Dochází k ní kvůli smrštění hliníku při chladnutí.

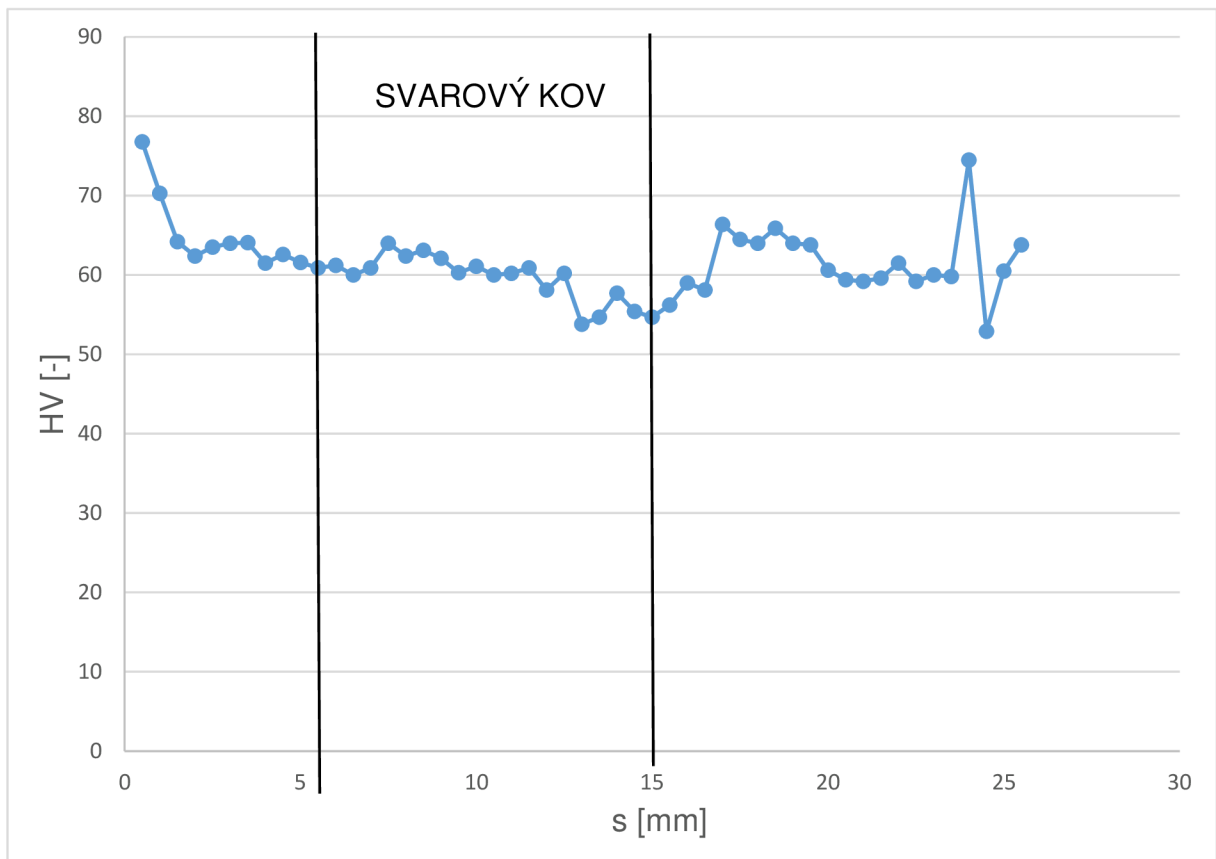


Obr. 5.14 Koncová kráterová staženina.

Nebyly zpozorovány žádné další vady.

5.4 Zkouška mikrotvrlosti

Zkoušení tvrdosti vzorku nájezdové rampy bylo provedeno dle metody Vickerse, která je popsána v podkapitole 4.2.2. a byla provedena dle normy ČSN EN ISO 9015-2 [70]. Zatížení bylo HV 0,1, což je 0,1 kg (9,81 N). Doba zatížení byla 10 s. Vtisknuté uhlopříčky změřil mikroskop a zároveň je sám vyhodnotil. Metoda proběhla měřením jedné podélné linie vtisků do zkušebního vzorku s roztečí 0,5 mm. Byla změřena tvrdost základního materiálu, tepelně ovlivněné oblasti a svarového kovu. Celkem bylo provedeno 51 vtisků kvůli eliminaci chyb, které mohou vzniknout při vpichu na hranici zrn či bublin, které mohou vykázat menší naměřené hodnoty. Graf z měření je na Obr. 5.15.



Obr. 5.15 Graf měření mikrotvrdosti.

V grafu je vidět tvrdost dle Vickerse svarového kovu (v grafu 6–15 mm) a jeho okolí. Průměrná tvrdost vyšla 61,5 HV. Minimální naměřená hodnota byla 52,9 HV a maximální 76,8 HV. Tepelně ovlivněná oblast nevykazuje nižší hodnoty tvrdosti, než svarový kov.

6 TECHNICKO-EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ

V následujících bodech je popsáno zhodnocení stávající situace, výsledky experimentů a další doporučení. Zhodnocení je provedeno z technické i ekonomické stránky.

6.1 Technické zhodnocení

V rámci technického zhodnocení je důležité zdůraznit, že v rámci možností firmy jsou nájezdové rampy svařovány technologií MIG a po vyrobení rampy je provedena pouze vizuální kontrola svářečem bez příslušné certifikace.

Vizuální kontrola

V rámci vizuální kontroly byly zjištěny vady typu – rozstřík svarového kovu (602), studený spoj (401) a koncová kráterová staženina (2025).

Rozstřík svarového kovu je v normě, kvůli aplikaci, kterou nájezdová rampa má.

Studený spoj, který je možné pozorovat na začátku svaru, je možné odstranit čtyřmi způsoby a to:

- použitím nájezdových destiček,
- volbou delších polotovarů a následného oříznutí,
- předehřevem,
- použitím funkce horký start (daná metoda je doporučena s ohledem na možnosti firmy).

Koncovou kráterovou staženinu, která se objevuje na konci svarové housenky, je možné odstranit a to:

- použitím dojezdových destiček,
- volbou delších polotovarů a následného oříznutí,
- použitím funkce vyplnění kráteru (daná metoda je doporučena s ohledem na možnosti firmy).

Tahová zkouška

V rámci tahové zkoušky bylo zkoušeno 8 vzorků a všechny se přetrhly v tepelně ovlivněné oblasti, což značí částečné rozpuštění precipitátů při svaření.

Bylo zjištěno, že svařený vzorek má menší pevnost než základní materiál viz. Tab. 6.1, kde je uvedena průměrná pevnost svařeného vzorku.

Tab. 6.1 Mez pevnosti před a po svaření profilů nájezdových ramp.

R_m základního materiálu	R_m testovaných vzorků
273 [MPa]	186,3 [MPa]

Makroskopická zkouška

Při makroskopické zkoušce byl zjištěn v horní části nájezdové rampy (Obr. 5.11) studený spoj a také větší provaření v pravém dílu základního materiálu, jak v levém.

Doporučené řešení studeného spoje je:

- zvýšení svařovacího proudu, aby se i daný spoj natavil (cca o 10–20 % stávající hodnoty),
- přemístěním dráhy hoření oblouku (cca o 5 mm vlevo).

Pro spodní část nájezdové rampy platí stejná doporučení jako u horní části, ale přemístění hoření oblouku pouze o cca 2 mm vpravo.

Zkouška mikrotvrdosti

Z dané zkoušky je možné pozorovat průměrnou tvrdost 61,5 HV. V tepelně ovlivněné oblasti nedošlo k výraznému poklesu tvrdosti.

6.2 Ekonomické zhodnocení

V rámci ekonomického zhodnocení je probrána možná úspora svařovacích nákladů při upravení svařovacích parametrů.

6.2.1 Stávající situace

Tab. 6.2 Svařovací parametry pro svařování nájezdových ramp.

I – proud	U – napětí	v – rychlost svařování	Q	v_m – rychlost podávání příd. materiálu
140 [A]	24,3 [V]	60 [cm/min]	0,27216 [kJ/mm]	4,5 [m/min]

kde Q je tepelný příkon a je vyjádřen rovnicí (6.1).

$$v = 60 \text{ cm/min} = 10 \text{ mm/s}$$

$$Q = \frac{\eta \cdot U \cdot I}{v \cdot 1000} = \frac{0,8 \cdot 24,3 \cdot 140}{10 \cdot 1000} = 0,27216 \text{ [kJ/mm]} \quad (6.1)$$

Je nutné vypočítat cenu za 1 kg odtaveného kovu za minutu. Výpočet se skládá ze tří částí a to:

- náklady na operátora,
- náklady na přídatný materiál,
- náklady na ochranný plyn.

Náklady na operátora

$$N_1 = \frac{H}{g \cdot k_m} = \frac{500}{3 \cdot 0,75} = 222,2 \text{ [Kč/kg]} \quad (6.2)$$

kde:

- H [Kč] - hodinová sazba operátora (mzda, odvody a režie).
- g [kg/h] - výkon odtavení (dle tabulky 3 kg/h).
- k_m [-] - koeficient využití hoření oblouku (pro automat 0,7 - 0,8 – volím 0,75).

Náklady na přídatný materiál

$$N_2 = \frac{C_m}{k_v} = \frac{82,86}{0,95} = 87,2 \text{ [Kč/kg]} \quad (6.3)$$

kde:

- C_m [Kč/kg] - cena přídatného materiálu (7 kg... 580 Kč = 1 kg... 82,86 Kč).
 k_v [-] - koeficient využití přídatného drátu (hodnota je 0,8 - 0,95 – volím 0,95 s ohledem na charakteristiku přídatného drátu).

Náklady na ochranný plyn

$$N_3 = \frac{Q_p \cdot C_p}{g} = \frac{1440 \cdot 0,1296}{3} = 62,2 \text{ [Kč/kg]} \quad (6.4)$$

kde:

- Q_p [l/h] - průtok ochranného plynu (24 l/min ... 1 440 l/h)
 C_p [Kč/l] - cena ochranného plynu (50 l láhev ... 1 520 Kč. Objem plynu v láhvi je 11 730 l. Z toho plyne, že 1 l ... 0,1296 Kč)
 g [kg/h] - výkon odtavení (dle tabulky 3 kg/h).

Celkové náklady na 1 kg odtaveného kovu

$$N = N_1 + N_2 + N_3 = 222,2 + 87,2 + 62,2 = 371,6 \text{ [Kč/kg]} \quad (6.5)$$

Celková cena na 1 kg odtaveného kovu, při aktuálních svařovacích parametrech, je 371,6 Kč/kg při tepelném příkonu 0,27216 kJ/mm.

6.2.1 Zvýšení vstupních parametrů o 20 %

Jelikož kvalita svaru je vyhovující a v případě volby posunutí dráhy hořáku by se dalo pojednat o úspoře nákladů při zvýšení proudové rychlosti a rychlosti svařování. S tím souvisí i explicitní zvýšení rychlosti podávání přídatného drátu.

V případě zvýšení svařovacího proudu a rychlosti svařování o 20 % by byly vstupní parametry následující:

Tab. 6.3 Teoretické zvýšené parametry o 20 % pro svařování nájezdových ramp.

I – proud	U – napětí	v – rychlost svařování	Q_{T20}	v_m – rychlost podávání příd. materiálu
168 [A]	24,3 [V]	72 [cm/min]	0,27216 [kJ/mm]	5,4 [m/min]

kde Q_{T20} (tepelný příkon) a je vyjádřen rovnicí (6.6) a při zadaných parametrech by zůstal nezměněn. To znamená, že do svaru by bylo vnesené stejné množství tepla.

$$v = 72 \text{ cm/min} = 12 \text{ mm/s}$$

$$Q_{T20} = \frac{\eta \cdot U \cdot I}{v \cdot 1000} = \frac{0,8 \cdot 24,3 \cdot 168}{12 \cdot 1000} = 0,27216 \text{ [kJ/mm]} \quad (6.6)$$

Náklady na operátora

$$N_{1T20} = \frac{H}{g \cdot k_m} = \frac{500}{3,6 \cdot 0,75} = 185,2 \text{ [Kč/kg]} \quad (6.7)$$

kde:

- H [Kč] - hodinová sazba operátora (mzda, odvody a režie).
 g [kg/h] - výkon odtavení (dle tabulky 3,6 kg/h).
 k_m [-] - koeficient využití hoření oblouku (pro automat 0,7 - 0,8 – volím 0,75).

Náklady na přídatný materiál

$$N_{2T20} = \frac{C_m}{k_v} = \frac{82,86}{0,95} = 87,2 \text{ [Kč/kg]} \quad (6.8)$$

kde:

- C_m [Kč/kg] - cena přídatného materiálu (7 kg... 580 Kč = 1 kg... 82,86 Kč).
 k_v [-] - koeficient využití přídatného drátu (hodnota je 0,8 - 0,95 – volím 0,95 s ohledem na charakteristiku přídatného drátu).

Náklady na ochranný plyn

$$N_{3T20} = \frac{Q_p \cdot C_p}{g} = \frac{1440 \cdot 0,1296}{3,6} = 51,8 \text{ [Kč/kg]} \quad (6.9)$$

kde:

- Q_p [l/h] - průtok ochranného plynu (24 l/min ... 1 440 l/h)
 C_p [Kč/l] - cena ochranného plynu (50 l láhev ... 1 520 Kč. Objem plynu v láhvi je 11 730 l. Z toho plyne, že 1 l ... 0,1296 Kč)
 g [kg/h] - výkon odtavení (dle tabulky 3,6 kg/h).

Celkové náklady na 1 kg odtaveného kovu

$$N_{T20} = N_{1T20} + N_{2T20} + N_{3T20} = 185,2 + 87,2 + 51,8 = 324,2 \text{ [Kč/kg]} \quad (6.10)$$

Náklady na přídatný materiál zůstanou neměnné. Ovšem další dvě položky nákladů se změní a dojde ke zlevnění výroby nájezdové rampy.

Při zvýšení svařovacího proudu, svařovací rychlosti a podávání přídatného drátu o 20 % dojde k úspoře na 1 kg odtaveného kovu o 47,4 Kč.

6.2.1 Zvýšení vstupních parametrů o 40 %

Jelikož svařovací proud pro svařování hliníkových slitin se běžně užívá kolem 200 A, tak bude brána v potaz i varianta zvýšení svařovacího proudu a rychlosti svařování o 40 %. V tom případě by byly vstupní parametry následující:

Tab. 6.4 Teoretické zvýšené parametry o 40 % pro svařování nájezdových ramp.

I – proud	U – napětí	v – rychlost svařování	Q_{T40}	v_m – rychlost podávání příd. materiálu
196 [A]	24,3 [V]	84 [cm/min]	0,27216 [kJ/mm]	6,3 [m/min]

kde Q_{T40} (tepelný příkon) a je vyjádřen rovnicí (6.11) a při zadaných parametrech by zůstal nezměněn. To znamená, že do svaru by bylo vnesené stejné množství tepla.

$$v = 84 \text{ cm/min} = 14 \text{ mm/s}$$

$$Q_{T40} = \frac{\eta \cdot U \cdot I}{v \cdot 1000} = \frac{0,8 \cdot 24,3 \cdot 196}{14 \cdot 1000} = 0,27216 \text{ [kJ/mm]} \quad (6.11)$$

Náklady na operátora

$$N_{1T40} = \frac{H}{g \cdot k_m} = \frac{500}{4,2 \cdot 0,75} = 158,7 \text{ [Kč/kg]} \quad (6.12)$$

kde:

- H [Kč] - hodinová sazba operátora (mzda, odvody a režie).
- g [kg/h] - výkon odtavení (dle tabulky 4,2 kg/h).
- k_m [-] - koeficient využití hoření oblouku (pro automat 0,7 - 0,8 – volím 0,75).

Náklady na přídavný materiál

$$N_{2T40} = \frac{C_m}{k_v} = \frac{82,86}{0,95} = 87,2 \text{ [Kč/kg]} \quad (6.13)$$

kde:

- C_m [Kč/kg] - cena přídavného materiálu (7 kg... 580 Kč = 1 kg... 82,86 Kč).
- k_v [-] - koeficient využití přídavného drátu (hodnota je 0,8 - 0,95 – volím 0,95 s ohledem na charakteristiku přídavného drátu).

Náklady na ochranný plyn

$$N_{3T40} = \frac{Q_p \cdot C_p}{g} = \frac{1440 \cdot 0,1296}{4,2} = 44,4 \text{ [Kč/kg]} \quad (6.14)$$

kde:

- Q_p [l/h] - průtok ochranného plynu (24 l/min ... 1 440 l/h)
- C_p [Kč/l] - cena ochranného plynu (50 l láhev ... 1 520 Kč. Objem plynu v láhvi je 11 730 l. Z toho plyne, že 1 l ... 0,1296 Kč)
- g [kg/h] - výkon odtavení (dle tabulky 4,2 kg/h).

Celkové náklady na 1 kg odtaveného kovu

$$N_{T40} = N_{1T40} + N_{2T40} + N_{3T40} = 158,7 + 87,2 + 44,4 = 290,3 \text{ [Kč/kg]} \quad (6.15)$$

Náklady na přídatný materiál opět zůstanou neměnné.

Při zvýšení svařovacího proudu, svařovací rychlosti a podávání přídatného drátu o 40 % dojde k úspoře na 1 kg odtaveného kovu o 81,3 Kč oproti původnímu stavu.

Tab. 6.5 Zhodnocení nákladů s ohledem na svařovací parametry.

	Cena na 1 kg odtaveného kovu	Úspora na 1 kg odtaveného kovu
Původní stav	371,6 [Kč/kg]	- [Kč/kg]
Zvýšení parametrů o 20 %	324,2 [Kč/kg]	47,4 [Kč/kg]
Zvýšení parametrů o 40 %	290,3 [Kč/kg]	81,3 [Kč/kg]

Doporučení je zvýšit svařovací parametry o 40 % a tím docílit úsporu o 81,3 Kč na 1 kg odtaveného kovu. Což je 21,8 % úspora nákladů při svařování.

7 DISKUZE

V rámci diskuze bude rozebráno pár důležitých bodů. Jedná se o otázku směru vývoje ve svařování. Dále bude popsán vliv hliníku na zdraví člověka, napětové stavy při svařování a jako poslední bod bude diskutována aplikace jiného, pevnějšího materiálu na výrobu nájezdových ramp.

7.1 Směr vývoje ve spojování dílů

V rámci vývoje se dají předpokládat další kroky v rámci automatizace a digitalizace výroby, a to samé platí i v rámci svařování. Daný trend se bude rozrůstat, kvůli neustálému tlaku na snižování nákladů a tím i cen.

V automobilovém průmyslu v posledních letech začíná prorůstat svařování laserem a technologie lepení. Při výrobě automobilu se stále více používá konstrukční lepení [71]. Velký rozvoj zažívá také metoda 3D tisku kovových dílů a to WAAM (Wire and Arc Additive Manufacture), která spočívá v navařování kovových housenek na sebe po trajektorii budoucího výrobku, dokud nevznikne výsledný produkt [72].

Dá se předpokládat, že technologie MIG/MAG svařování si udrží své místo nejpoužívanější technologie svařování i dále do budoucna, které si drží již od 90. let minulého století. Za tu dobu se zkvalitnila automatizace a digitalizace dané technologie a dá se předpokládat její další vývoj. V rámci robotizovaných pracovišť svařování vznikly metody, jako jsou rapid arc a rapid melt při kterých se svařuje s vysokým svařovacím proudem a vysokým výkonem navaření (až 25 kg/h).

Z jedné strany mince je tlačén vývoj směrem vysokých výkonů natavení, vysoké produktivity a svařování velkých tloušťek materiálů (force arc, power arc metody) a z druhé strany mince je velký důraz na co nejmenší vnesené teplo do svaru a jeho okolí a tím svařovat co nejmenší tloušťky materiálů (cold metal transfer metoda).

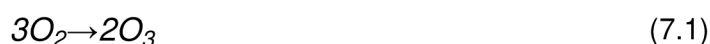
7.2 Zdravotní rizika při svařování nájezdových ramp

Svařování se řadí mezi rizikovější práci, jelikož existuje riziko vzniku popálenin, ultrafialového a infračerveného záření, které poškozují oči, nebo zplodiny, které poškozují dýchací ústrojí a v neposlední řadě hluchost, která může poškodit sluch.

Rozstříkem kovu z tavné lázně je riziko vzniku popálenin, a proto je nutné při svařování nosit ochranné pomůcky, jako je nehořlavý oblek a svářečské rukavice.

Světlo, které vzniká při obloukovém svařování, může poškodit sítnici, způsobit úžeh a poškodit rohovku. Z dlouhodobého hlediska může dojít ke vzniku šedého zákalu. Je důležité dodržovat zásady ochrany zdraví, a to nošení svařovací kukly, která chrání zrak před poškozením.

Vysoké teploty, které vznikají při svařování, způsobují odpařování materiálu. Při svařování hliníkových slitin je velké riziko vzniku ozónu O_3 :



Ozón vzniká při reakci intenzivního oblouku s okolní atmosférou (kyslíkem). Jeho vůni lze rozpoznat a může podráždřit sliznici a oči. Je tedy důležité zabezpečit z místa

svařování bezpečný odvod zplodin pryč a nejlépe odsátý vzduch nechat projít přes chemickou filtraci.

Při svařování technologií MIG může hluk dosahovat až 90 dB a běžné doporučení, aby nedošlo k poškození sluchu, je nošení protihlukových tlumičů nebo sluchátek [73].

7.3 Napět'ové stavy při svařování

Při svařování může dojít k ovlivnění základního materiálu vznikem deformací nebo zbytkového napětí. Vznikají při každém svařování, jelikož jsou způsobeny teplotními gradienty v materiálu. Nelze je zcela eliminovat, ale jde jim předcházet správně zvolenou technologií svařování, potažmo správně zvolenou konstrukcí.

Zbytková napětí vznikají ve svaru a jeho okolí a ovlivňují chování svarů, převážně negativně. Jejich vznik a charakter ovlivňuje spousta faktorů (svařovací parametry, metoda svařování, druh základního materiálu, tloušťka materiálu a konstrukční řešení). Dá se jím předejít svařováním neupnutých dílů, předehřevem a správným kladením housenek. Zbytková napětí se dají rozdělit do tří skupin dle jejich příčiny a to:

- změnou objemu,
- rozdílnou tepelnou roztažností,
- teplotním gradientem.

Zbytkové napětí způsobené změnou objemu vzniká, když ve svarové lázni tuhne svarový kov a dochází ke zmenšení jeho objemu, který se smršťuje společně s tuhoucím materiálem. Když je deformace nedostačující, tak dochází ke vzniku napětí a může dojít ke vzniku trhlin.

Napětí způsobené rozdílnou tepelnou roztažností se objevuje, pokud se svařují dva materiály, které mají diferenciální teplotu roztažnosti. V případě, že je znemožněno materiálu se zdeformovat vznikne zbytkové napětí.

Zbytková napětí způsobené tepelným gradientem vznikají, když v lokálním místě je daný svařenec ohřátý nebo ochlazený a dochází k různé rychlosti rozpínání nebo smršťování. Za dané situace vznikají napětí, která mohou vést k iniciaci trhlin.

Dle ČSN EN ISO 5817 je rozdělení do jakostních skupin (D – mírná, C – střední, B – nejpřísnější) a na Obr. 7.1 je možné vidět procentuální napětí, které svařené díly zvládnou v porovnání ke svaru pod jakostní skupinou B. Výpočet je proveden pod statickým napětím, a v horní části obrázku je možné vidět svar s chybou 402–neprůvar a v dolní části obrázku je vidět svar s chybou 5011–souvislý zápal. Kvalita svaru a jeho napětí, které vydrží, se snížením povolené vady výrazně snižuje.

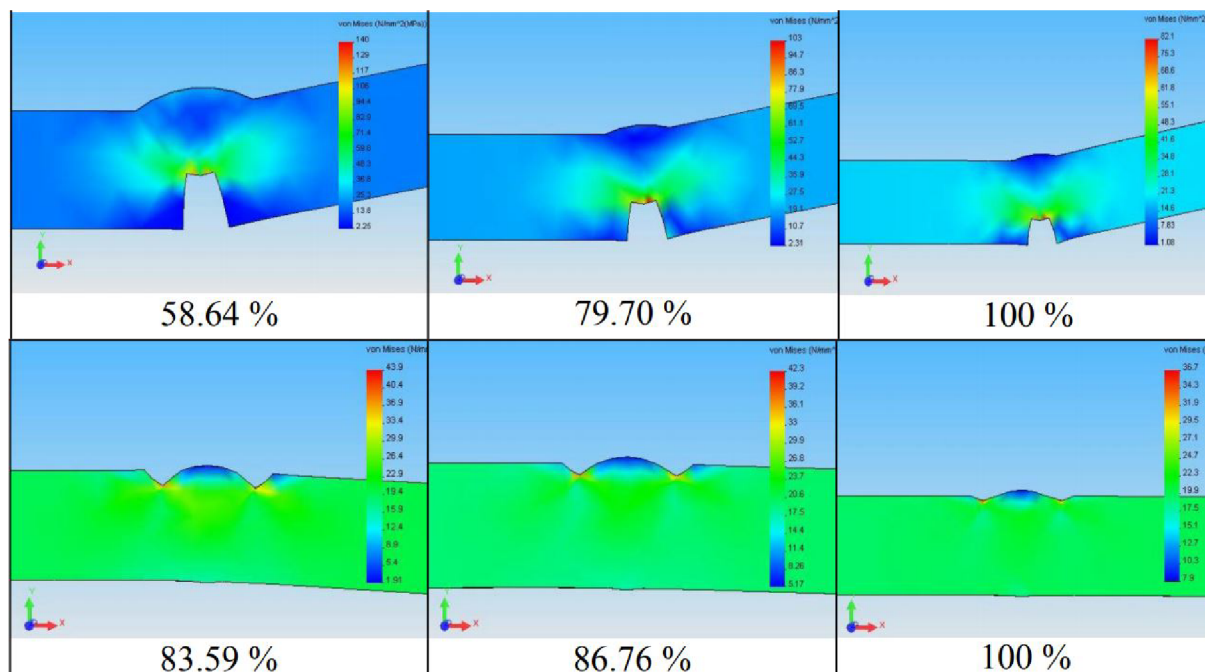
Deformace vznikají při svařování a mohou být elastické nebo plastické. Většinou vznikají při smrštění materiálu ve všech směrech a to příčně, podélně a úhlově.

Příčné deformace vznikají ve směru kolmém na podélnou osu svaru v rovině základního materiálu. Její velikost se odvíjí od způsobu svařování, tvaru a délce svaru, tloušťce materiálu a způsobu upnutí. Převážně se smršťuje základní materiál v důsledku teplotních gradientů při svařování. Lze jim předejít zmenšením průřezu svaru, snížením množství vneseného tepla nebo vhodným stehováním.

Podélné deformace vznikají ve směru podélné osy svaru. Vznikají stejně jako příčné deformace, jen v jiném směru a dá se jim předejít též stejným způsobem.

Úhlové deformace vznikají v rovině základního materiálu a projevují se odchýlením jednoho základního materiálu od základní roviny. Jejich vznik se projevuje převážně

u tupých a koutových svarů, kde je použito více vrstev svarových housenek. Lze jim předcházet jinou možností kladení housenek, vhodným nastavením základních materiálů před svařováním, vhodnou úpravou svarových ploch a snížením počtu svarových housenek.



Obr. 7.1 Vady ve svarech a zobrazení napětí, které procentuálně vydrží k jakosti svaru B [74].

7.3.1 Odstraňování deformací nájezdových ramp

V případě vzniku deformace na nájezdové rampě je nutné jejich odstranění. Vzniklé deformace lze odstraňovat mechanicky nebo tepelně. Mechanicky za použití kladiva nebo lisu a tepelně pomocí opětovného rovnání.

Většinou se využívá opětovné tepelné rovnání při využití bodového ohřevu v různých místech svarové housenky. Za daných okolností se do svaru vnáší další napětí, které rovná nájezdovou rampu.

Takové napětí lze snížit následným žíháním ke snížení vnitřního pnutí buď pro celou rampu, nebo jen lokálně. Dále je možné snížit napětí mechanicky, a to vibracemi nebo prokováním, potažmo zatěžováním rampy.

7.4 Použití pevnější hliníkové slitiny

V rámci zvýšení pevnosti nájezdové rampy je možné se zamyslet nad otázkou použití pevnějšího základního materiálu, a to slitiny řady 7 000, která díky přísadě zinku má vyšší pevnost a tvrdost. Dosahující pevnost dané řady se pohybuje okolo 500 MPa, některé slitiny s použitím zinku a mědi i 780 MPa.

Slitina EN AW-7075 má pevnost v tahu 520 MPa, což je značný rozdíl v porovnání se slitinou EN AW-6005A, ale má horší svařitelnost a špatně se elokuje.

Nejdůležitější aspekt je cena a ta je v případě slitin hliníků řady 7000 vyšší, než je cena slitiny EN AW-6005A a tím pádem by se nájezdová rampa stala neprodejná, protože pro zákazníka je dosažená pevnost vyhovující za stávající cenu.

ZÁVĚR

Diplomová práce byla zaměřena na kontrolu svarových spojů nájezdových ramp a literární rešerši problematiky hliníku, svařování technologií MIG, destruktivního a nedestruktivního zkoušení svarových spojů. V experimentální části byla popsána kontrola vad nájezdových ramp. Z kontroly svarů byly vyvozeny následující závěry:

- byl zjištěn rozstřík kovu při vizuální kontrole, který je v rámci normy,
- dále byl zjištěn studený spoj na začátku svaru, pro který je doporučeno využít funkci horský start na svařovacím automatu,
- následně byla zjištěna vada koncová kráterová staženina, pro kterou je doporučeno použít funkci vyplnění kráteru na svařovacím automatu,
- při zkoušení tahovou zkouškou došlo k přetržení vzorku v tepelně ovlivněné oblasti kvůli částečnému rozpuštění precipitátů v základním materiálu v průběhu svařování (v místě přetržení došlo k poklesu tvrdosti),
- po přetržení vzorku vznikl tvárný lom,
- průměrná síla pro přetržení jednoho vzorku byla 14 855 N a průměrná mez pevnosti byla 186,3 MPa,
- při makroskopické kontrole byly zjištěné studené spoje, pro které je doporučeno přemístění dráhy hoření oblouku,
- zkoušky mikrotvrdosti vykázaly průměrnou tvrdost 61,5 HV a nedošlo k výraznému poklesu tvrdosti v tepelně ovlivněné oblasti.

Technicko-ekonomické zhodnocení rozebírá výrobu rampy s ohledem na její svařovací parametry a náklady na svařování. V diplomové práci byly spočítány náklady na odtavení 1 kg svarového kovu při stávajících svařovacích parametrech a to 371,6 Kč/kg.

Při zvýšení vstupních svařovacích parametrů (svařovací proud, rychlost svařování a rychlost podávání přídatného drátu) o 20 % dojde ke snížení nákladů na 1 kg odtaveného kovu na 324,2 Kč/kg a tím k úspoře 47,4 Kč/kg.

Pokud se vstupní parametry zvýší o 40 %, tak bylo vypočteno, že dojde ke snížení nákladů na 1 kg odtaveného kovu na 290,3 Kč/kg a tím se uspoří při svařování nájezdových ramp 81,3 Kč/kg. Což je 21,8 % úspora nákladů.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

1. AMBROŽ, Oldřich, Bohumil KANDUS a Jaroslav KUBÍČEK. *Technologie svařování a zařízení*. Vyd. 2. Ostrava: Zeross, 2001. Svařování. ISBN 80-85771-81-0.
2. KUBÍČEK, Jaroslav. *Technologie 2: část svařování: Studijní opory*. [online]. 2006 [cit. 20. 2. 2020]. Dostupné z: [http://ust.fme.vutbr.cz/svarovani/img/opory/5te technologie 2 svarovani tavne kubicek.pdf](http://ust.fme.vutbr.cz/svarovani/img/opory/5te%20technologie%20svarovani%20tavne%20kubicek.pdf)
3. Automig – internetový magazín. *MIG/MAG (CO2)* [online]. 2010 [cit. 20. 2. 2020]. Dostupné z: <http://automig.cz/o-svarovani/metody/migmag-co2/>
4. JEFFUS, Larry F. *Welding: principles and applications*. Eighth edition. Boston, MA: Cengage Learning, 2017. ISBN 1-305-49469-5.
5. VN machinery. *Svařování* [online]. 2015 [cit. 20. 2. 2020]. Dostupné z: <http://www.vn-stroje.cz/svarovani>
6. KAŠPAR, Jan. Ochranné plyny s obsahem dusíku pro svařování hliníku metodou TIG a MIG. *Časopis KONSTRUKCE* [online]. 2013 [cit. 1. 3. 2020]. Dostupné z: <http://old.konstrukce.cz/clanek/ochranneplyny-s-obsahem-dusiku-pro-svarovani-hliniku-metodou-tig-a-mig/>
7. DWIVEDI, K. Dheerendra. Arc Welding Processes. *Welding Engineering* [online]. 2015 [cit. 1. 3. 2020]. Dostupné z: <http://docplayer.net/42007912-Welding-engineering-prof-dr-d-k-dwivedi-department-of-mechanical-and-industrial-engineering-indian-institute-of-technology-roorkee.html>
8. HIRSCH, Jürgen, Birgit SKROTZKI and Günter GOTTSTEIN. *Aluminium Alloys: Their Physical and Mechanical Properties*. Wiley-CVH, Weinheim, 2008. ISBN 978-3-527-32367-8
9. MANDAL, N. R. *Aluminium Welding*. Woodhead Publishing, 2001. ISBN 9781855735972
10. ROUČKA, Jaromír. *Metalurgie neželezných slitin*. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2004. ISBN 80-214-2790-6.
11. ČSN EN 573-1 (421401). *Hliník a slitiny hliníku – Chemické složení a druhy tvářených výrobků – Část 1: Číselné označování*. Aktuální vydání. Praha: Český normalizační institut, 2005.
12. ČSN EN 573-2 (421401). *Hliník a slitiny hliníku. Chemické složení a druhy tvářených výrobků. Část 2: Označování chemickými značkami*. Aktuální vydání. Praha: Český normalizační institut, 1996.
13. ČSN EN 515 (420053). *Hliník a slitiny hliníku – Výrobky tvářené – Označování stavů*. Aktuální vydání. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2017.
14. MICHNA, Štefan a Lenka MICHNOVÁ. *Neželezné kovy*. Děčín: Štefan Michna, Lenka Michnová, 2014. ISBN 978-80-260-7132-7.
15. SCHWEITZER, Phillip. *Metallic Materials: Physical, Mechanical, and Corrosion Properties*. Marcel Dekker, Inc., 2003. ISBN 0-8247-0878-4.

16. PTÁČEK, Luděk. *Nauka o materiálu II*. 2. opr. a rozš. vyd. Brno: CERM, 2002. ISBN 80-7204-248-3.
17. KOLÁŘ, Vladislav. Svařitelnost hliníkových slitin. *Česká svářečská společnost ANB* [online]. Praha: Česká svářečská společnost ANB, 23. 10. 2015 [cit. 1. 3. 2020]. Dostupné z: <http://www.cws-anb.cz/t.py?t=2&i=502>
18. KRÍŽ, Rudolf. *Tabulky materiálů a předvýrobků pro strojírenství*. Ostrava: Montanex, 2000. Technické příručky. ISBN 80-7225-017-5.
19. VOJTĚCH, Dalibor. *Kovové materiály*. Praha: Vydavatelství VŠCHT, 2006. ISBN 80-7080-600-1.
20. Manufacturing Guide. *Brinell testing | Find suppliers, processes & material*. [online]. 2018 [cit. 2. 3. 2020]. Dostupné z: <https://www.manufacturingguide.com/en/brinell-testing>
21. VĚCHET, Stanislav. *Mechanické vlastnosti a charakteristiky materiálů I*. [online]. 2019 [cit. 2. 3. 2020]. Dostupné z: <https://docplayer.cz/113525464-Mechanicke-vlastnosti-a-charakteristiky-materialu-i.html>
22. Stahlben [online]. 2015 [cit. 29. 2. 2020]. Dostupné z: http://www.stahlben.cz/products/pdf/OK_AUTROD_5356.pdf
23. Messer [online]. 2014 [cit. 29. 2. 2020]. Dostupné z: http://old.messergroup.com/de/Produkte_und_Loesungen/gase/datenblaetter/data_lang1_oben/Aluline_He_30_en_2014.pdf
24. Megalux logismarket [online]. 2000 [cit. 12. 3. 2020]. Dostupné z: <https://www.logismarket.co.uk/tm-pedane/hydraulic-powered-rear-loading-ramps-for-trucks/1883474877-p.html>
25. AHMAD, Zaki. *Aluminium Alloys – New Trends in Fabrication and Applications*. Rijeka, Croatia: InTech, 2012. ISBN 978-953-307-244-9
26. Alunet [online]. 2020 [cit. 12. 3. 2020]. Dostupné z: <http://www.alunet.cz/normovani-a-popis-hliniku-a-jeho-slitin>
27. SCHULZ, Peter, Josef BERNEDER, Dirk UFFELMANN, Carsten MELZER and Christian ZELGER. *Advanced 5xxx-, 6xxx- and 7xxx- aluminium alloys for applications in automotive and consumer electronics*. [online]. 2015 [cit. 12. 3. 2020]. Dostupné z: https://www.researchgate.net/publication/272046307_Advanced_5xxx_6xxx_and_7xxx_Aluminium_Alloys_for_Applications_in_Automotive_and_Consumer_Electronics
28. ČSN EN 573-3 (421401). *Hliník a slitiny hliníku – Chemické složení a druhy tvářených výrobků – Část 1: Chemické složení a druhy výrobků*. Aktuální vydání. Praha: Český normalizační institut, 2008.
29. KOLAŘÍK, Ladislav, Karel KOVANDA. Svařitelnost hliníkových slitin. *MM Průmyslové spektrum* [online]. 2011 (4) [cit. 14. 3. 2020]. Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/clanek/svaritelnost-hlinikovych-slitin.html>
30. ČSN EN 1011-4 (052210) Svařování – Doporučení pro svařování kovových materiálů – Část 4: Obloukové svařování hliníku a slitin hliníku. Praha: Český normalizační institut, 2002.
31. ČSN EN 6506-1 (420359) Kovové materiály – Zkoušky tvrdosti podle Brinella – Část 1: Zkušební metoda. Praha: Český normalizační institut, 2015.

32. ČSN EN 6892-1 (420310) Kovové materiály – Zkoušení tahem – Část 1: Zkušební metoda za pokojové teploty. Praha: Český normalizační institut, 2010.
33. ČSN EN 755-2 (424086) Hliník a slitiny hliníku – Lisované tyče, trubky a profily – Část 2: Mechanické vlastnosti. Praha: Český normalizační institut, 1999.
34. HETO, Jan. Pórovitost svarů oceli svařovaných metodou MIG/MAG. *MM Průmyslové spektrum* [online]. 2016 (1) [cit. 14. 3. 2020]. Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/clanek/porovitost-svaru-oceli-svarovanych-metodou-mig-mag.html>
35. HÍREŠ, Ondrej, Michal HATALA. Vliv čistoty ochranného plynu na jakost svarových spojů. *Strojárstvo/Strojirenství* [online]. 2016 [cit. 15. 3. 2020]. Dostupné z: <https://www.engineering.sk/clanky2/zvaranie/7986-vliv-cistoty-ochranneho-plynu-na-jakost-svarovych-spoju>
36. AZO materials. *Aluminium – Specifications, Properties, Classifications and Classes* [online]. 2005 [cit. 16. 3. 2020]. Dostupné z: <https://www.azom.com/article.aspx?ArticleID=2863>
37. KHAIRA, H. K. *Precipitation Hardening* [online]. MANIT, Bhopal [cit. 16. 3. 2020]. Dostupné z: <https://www.slideshare.net/RakeshSingh125/f-precipitation-hardening>
38. BARTÁK, Jiří. Typy vad, příčiny jejich vzniku a hodnocení. *Česká svářečská společnost ANB* [online]. Praha: Česká svářečská společnost ANB, 1. 3. 2012 [cit. 20. 3. 2020]. Dostupné z: <http://www.cws-anb.cz/t.py?t=2&i=384>
39. PRETO, Moreno. *Welding defects*. Aracne, 2013. ISBN 978-8854858541.
40. KUMAR, Amrit. Welding Defects: Types, Causes, And Remedies. *Learn Mechanical* [online]. 2019 [cit. 20. 3. 2020]. Dostupné z: <https://learnmechanical.com/welding-defects/>
41. ČSN EN ISO 6520-1 (050005) Svařování a příbuzné procesy – Klasifikace geometrických vad kovových materiálů – Část 1: Tavné svařování. Praha: Český normalizační institut, 2008.
42. ČSN EN ISO 15607 (050311) Stanovení a kvalifikace postupů svařování kovových materiálů – Všeobecná pravidla. Praha: Český normalizační institut, 2004.
43. Part2b. *Welding defects* [online]. 2018 [cit. 1. 4. 2020]. Dostupné z: <https://part2b.com/welding-defects/>
44. KUBÍK, Martin. SVAŘOVÁNÍ V PRAXI – HRUBÉ materiály. *Management of inquiry* [online]. 2020 [cit. 1. 4. 2020]. Dostupné z: <http://www.management.wbs.cz/SVAROVANI-V-PRAXI---HRUBE-materialy-.html>
45. ČSN EN ISO 5817 (050110) Svařování – Svarové spoje oceli, niklu, titanu a jejich slitin zhotovené tavným svařováním (mimo elektronového a laserového svařování) – Určování stupňů jakosti. Praha: Český normalizační institut, 2008.
46. HUGHES, Steven. *A Quick Guide to Welding and Weld Inspection*. Woodhead Publishing, 2009. ISBN 978-1845696412.
47. GRILL, Jeff. Guide to Physical Weld Testing. *Weld Guru* [online]. 2019 [cit. 3. 4. 2020]. Dostupné z: <https://weldguru.com/physical-weld-testing/>

-
48. RATNER, L. W. *Non-Linear Theory of Elasticity and Optimal Design*. Elsevier Science, 2003. ISBN 978-0444514271.
49. BLAHUTA, Ladislav. DESTRUKTIVNÍ ZKOUŠKY SVARŮ I. [online]. 2008 [cit. 3. 4. 2020]. Dostupné z: <https://docplayer.cz/45932072-Destruktivni-zkousky-svaru-i.html>
50. PODHORA, Jiří. *Destruktivní zkoušení základních materiálů a svarových spojů*. Brno: TDS Brno – SMS, 2005. ISBN 80-903386-4-X.
51. Masarykova univerzita – Pedagogická fakulta. *Fyzikální základy vědy a materiálu* [online]. 2018 [cit. 5. 4. 2020]. Dostupné z: <http://www.ped.muni.cz/wphy/fyzvla/>
52. ČSN EN ISO 6507-1 (420374) Kovové materiály – Zkoušky tvrdosti podle Vickerse – Část 1: Zkušební metoda. Praha: Český normalizační institut, 2006.
53. Struers. *HARDNESS TESTING* [online]. 2020 [cit. 6. 4. 2020]. Dostupné z: <https://www.struers.com/en/Knowledge/Hardness-testing#>
54. ŠTORKÁN, Zdeněk. Problematika hodnocení svarových spojů. *Časopis KONSTRUKCE* [online]. 2014 [cit. 6. 4. 2020]. Dostupné z: <http://old.konstrukce.cz/clanek/problematika-hodnoceni-svarovych-spoju/>
55. MÍŠEK, Bohumil. *Nedestruktivní metody zkoušení svarových spojů*. Brno: TDS Brno – SMS, 2005. Dostupné z: <http://www.digitalniknihovna.cz/mzk/view/uuid:54e6a3f0-0a46-11e8-a0cf-005056827e52?page=uuid:88dca290-39a8-11e8-b52f-5ef3fc9ae867>
56. RAJ, Baldev, SUBRAMANIAN, C. V., JAYAKUMAR, T. *Non-destructive testing of welds*. New Delhi: Narosa Publishing House, 2000. ISBN 978-8173193323
57. Clubhouse Trailers Company. *Poteet High School* [online]. 2016 [cit. 15. 4. 2020]. Dostupné z: <https://clubhousetrailers.com/gallery/mesquite-isd/poteet-high-school>
58. SAHA, K. Pradip. *Aluminium Extrusion Technology*. ASM International, 2000. ISBN 978-1615032457.
59. KOLÁŘ, Vladislav. *Svařování Al slitin v praxi* [prezentace]. 2020 [cit. 15. 4. 2020].
60. ČSN EN ISO 5173 (051124) Destruktivní zkoušky svarů kovových materiálů – Zkoušky ohybem. Praha: Český normalizační institut, 2010.
61. ČSN EN ISO 9017 (051127) Destruktivní zkoušky svarů kovových materiálů – Zkoušky rozlomením. Praha: Český normalizační institut, 2018.
62. ČSN EN ISO 17637 (051180) Nedestruktivní zkoušení svarů – Vizuální kontrola tavných svarů. Praha: Český normalizační institut, 2018.
63. ČSN EN ISO 10042 (051111) Svařování – Svarové spoje hliníku a jeho slitin zhotovené obloukovým svařováním – Určování stupňů kvality. Praha: Český normalizační institut, 2019.
64. ČSN EN ISO 3452-1 (015018) Nedestruktivní zkoušení – Kapilární zkouška – Část 1: Obecné zásady. Praha: Český normalizační institut, 2015.
-

-
65. ČSN EN ISO 23277 (051176) Nedestruktivní zkoušení svarů – Zkoušení kapilární metodou – Stupně přístupnosti. Praha: Český normalizační institut, 2016.
66. JANÍČKOVÁ, Petra. NEDESTRUKTIVNÍ ZKOUŠKY MATERIÁLŮ. [prezentace online]. 2018 [cit. 16. 4. 2020]. Dostupné z: <https://slideplayer.cz/slide/2985027/>
67. ČSN EN ISO 17636-1 (051150) Nedestruktivní zkoušení svarů – Radiografické zkoušení – Část 1: Metody rentgenového a gama záření využívající film. Praha: Český normalizační institut, 2013.
68. KRAUS, Ján. Zkoušky bez porušení materiálů. [online]. 2012 [cit. 17. 4. 2020]. Dostupné z: <https://adoc.tips/ovmt-zkouky-bez-porueni-materialu.html>
69. Aluminum Extrusion Canada. *The Process of ALuminum Extrusion* [online]. 2016 [cit. 25. 4. 2020]. Dostupné z: <https://aluminumextrusioncanada.weebly.com/extruding-process.html#>
70. ČSN EN ISO 9015-2 (051134) Destruktivní zkoušky svarů kovových materiálů – Zkoušení tvrdosti – Část 2: Zkoušení mikrotvrdosti svarových spojů. Praha: Český normalizační institut, 2018.
71. KOLAŘÍK, Ladislav. Současný vývoj v oblasti svařování. *MM Průmyslové spektrum* [online]. 2018 (1) [cit. 20. 4. 2020]. Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/clanek/soucasny-vyvoj-v-oblasti-svarovani.html>
72. KOLAŘÍK, Ladislav. Navařování metodou WAAM. *MM Průmyslové spektrum* [online]. 2018 (1) [cit. 20. 4. 2020]. Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/clanek/navarovani-metodou-waam.html>
73. GUZUIR, Pavel. Zdravotní rizika při svařování a řezání. *MM Průmyslové spektrum* [online]. 2005 (10) [cit. 20. 4. 2020]. Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/clanek/zdravotni-rizika-pri-svarovani-a-rezani.html>
74. VURAL, M. The differences between the strengths of quality levels of weld imperfections given in ISO 5817. *Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering* [online]. 2006 (15) [cit. 21. 4. 2020]. Dostupné z: http://jamme.acmsse.h2.pl/papers_cams05/118.pdf

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

Symbol	Popis
Al	Hliník
Al ₂ O ₃	Oxid hlinitý
Al ₂ O ₃ ·2H ₂ O	Bauxit
Ar	Argon
Cr	Chrom
Cu	Měď
CuAl ₂	Chatyrkit
Fe	Železo
H	Vodík
HB	Brinell hardness – Zkouška tvrdosti dle Brinella
He	Helium
HV	Vickers hardness – Zkouška tvrdosti dle Vickerse
Mg	Hořčík
Mg ₂ Si	Silicid hořečnatý
MIG	Metal inert gas
MMA	Manual metal arc welding
Mn	Mangan
MT	Magnetic particle testing – Magnetická metoda prášková
N ₂	Dusík
NDT	Non-destructive testing – Nedestruktivní zkoušení
O	Kyslík
O ₃	Ozón
PT	Penetrant testing – Kapilární zkouška
RT	Radiographic testing – Metoda prozářením
Si	Křemík
Ti	Titan
TOO	Tepelně ovlivněná oblast
UT	Ultrasonic testing – Metoda ultrazvuková
VT	Visual testing – Vizuální zkouška
WAAM	Wire and arc additive manufacture
WPS	Welding procedure specification
Zn	Zinek

Zkratka	Jednotka	Popis
A	%	Tažnost
C _m	Kč/kg	Cena přídatného materiálu
C _p	Kč/l	Cena ochranného plynu
E	MPa	Modul pružnosti v tahu
f	Hz	Frekvence
F _e	N	Síla napětí na mezi kluzu
F _{max}	N	Síla při napětí na mezi pevnosti
g	kg/h	Výkon odtavení
H	Kč	Hodinová sazba operátora
I	A	Proud
k _m	-	Koeficient využití hořené oblouku

k_v	-	Koeficient využití přídavného drátu
L_0	mm	Počáteční délka
L_U	mm	Konečná délka po dokončení tahové zkoušky
N	Kč/kg	Náklady na 1 kg odtaveného kovu
Q	kJ/mm	Tepelný příkon
Q_p	l/h	Průtok ochranného plynu
R_e	MPa	Mez kluzu
R_m	MPa	Mez pevnosti
$R_{P0,2}$	MPa	Smluvní mez kluzu
S_0	mm ²	Počáteční průřez
S_p	mm ²	Plocha roztaveného kovu svarového spoje
S_U	mm ²	Konečný průřez po dokončení tahové zkoušky
S_Z	mm ²	Plocha roztaveného základního materiálu
T_p	s	Doba trvání impulzu
U	V	Napětí
v	cm/min	Rychlost svařování
v_m	m/min	Rychlost podávání přídavného materiálu
Z	%	Kontrakce
ε	%	Deformace
η	-	Účinnost tepelného přenosu
σ	MPa	Hookův zákon

SEZNAM PŘÍLOH

- Příloha 1 Technický list přídavného drátu OK Autrod 5356
- Příloha 2 Technický list ochranného plynu Aluline He30
- Příloha 3 Chemické a mechanické vlastnosti slitiny EN AW-6005A T6
- Příloha 4 Hydraulický zkušební stroj ZD40
- Příloha 5 Výkresová dokumentace nájezdové rampy
- Příloha 6 Výsledky tahové zkoušky pro vzorky 2–8

Technický list přídatného drátu OK Autrod 5356 [22]



OK AUTROD 5356

(OK AUTROD 18.15)

SFA/AWS A 5.10:ER 5356
EN ISO 18273 S Al 5356
(AlMg5Cr(A))

Použití:

Drát typu AlMg5 je nejpoužívanější drát pro svařování hliníkových slitin a je oceňována vysoká pevnost ve smyku získaného svarového kovu. Základní materiály typu 5xxx s obsahem Mg nad 3% mohou být při teplotách vyšších než 65°C náchylné ke korozivnímu praskání.

Interpass teplota 150°C

Předehřev 150 - 200°C.

Vhodnost pro svařování, např.:

AlMg1 až AlMg5, AlMg4Mn, AlMgSi1, AlZn4,5Mg1 a jiné

Klasifikace, certifikace:

CE EN 13479
ABS ER 5356 pro dia 1,2mm
BV WB
DB 61.039.01
GL S-AlMg5
LR WB/I-1
DNV 5356 (WB)
TÜV 04664
další: CWB

Ochranný plyn (EN439):

I1, I3

Svařovací proud: (-) (+)

Typické chemické složení drátu (%):

Si	Mn	Al	Fe	Mg
<0,25	<0,20	95,0	<0,40	5,00

Polohy svařování:



Jiné údaje:

W.Nr. 3.3556

C

Typické mechanické hodnoty čistého svarového kovu:

Podmínky	Plyn	R _m MPa	R _{p0,2} MPa	A ₅ %
EN	I1	265	120	26

Svařovací parametry a orientační výkonové hodnoty:

Ø d (mm)	Proud (A)	Napětí (V)	Spotřeba plynu (l/min)	Rychlost podávání (m/min)	Výkon svařování (kg/h)
0,8	60 - 170	13 - 24	15	11,0 - 14,0	0,9 - 1,1
1,0	90 - 210	15 - 26	16	7,0 - 14,0	0,9 - 1,8
1,2	140 - 260	20 - 29	19	7,0 - 13,0	1,2 - 2,3
1,6	190 - 350	25 - 30	25	5,0 - 8,0	1,6 - 2,6

Balení:

Ø (mm)	cívka	hmotnost (kg)
0,8	98-6	6
1,0	98-7	7
1,2	98-7	7
1,6	98-7	7

Technický list ochranného plynu Aluline He30 [23]

Aluline He30

Ar/He

also: EN ISO 14175: I3-ArHe-30

SHIELDING GASES

Marking

Characterization acc. ADR UN 1956, gas mixture, compressed,
n.o.s., 2.2
Class 2, 1A

Cylinder Marking



shoulder:
light green

Essential properties

Colourless, odorless, asphyxiant gas mixture, compressed, heavier than air

Symbols of Risks



gas, compressed

Physical Properties

gas density at 0°C and 1,013 bar: 1,30 kg/m³
density ratio to air: 1,007

For additional safety information see Material-/safety data sheet No. *-HE-AR-01

Valves / Manifolds

Valve connection 200 bar: acc. to national regulations
300 bar: ISO 5145 No. 1: W 30 x 2

Recommended Manifolds Spectrotec Constant 2000



Specifications / Forms of delivery			
		Aluline He30	
Composition			
Ar	=	70	Vol.-%
He	=	30	Vol.-%
Cylinders / Contents			
F 10 200 bar		2,0	m ³
F 20 200 bar		3,9	m ³
F 20 300 bar		5,7	m ³
F 50 200 bar		9,8	m ³
F 50 300 bar		13,9	m ³
B 12 * F 50 200 bar		117,3	m ³
B 12 * F 50 300 bar		167,3	m ³

Tolerance +/- 10% rel.

Chemické a mechanické vlastnosti slitiny EN AW-6005A T6

Acceptance certificate 3.1 PN-EN 10204										
Ordering party										
Shipping address										
Customer order no.	Sales order	Production order						Dispatch note no.		
Product no. description length	Alloy grade	Heat	Mass [kg]	Pcs	Delivery condition					
P.01863 Alu. profile Modul 25/ Modul 250 L: 5000 mm L: 3800 mm	6005A	234578		80,000 (LM) 121,600 (LM)	T6					
1. CHEMICAL COMPOSITION (%)		EN 573-3	Chemical composition – Supplier's Certificate				The product is free of radioactive substances and cadmium.			
Alloy grade	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	Ti	Al	
EN AW-6005A	0,5 – 0,9	Max 0,35	Max 0,30	Max 0,50	0,4 – 0,7	Max0,30	Max 0,20	Max 0,10	rest	
Heat										
234578	0,60	0,19	0,13	0,16	0,55	0,01	0,01	0,010	rest	
2. MECHANICAL PROPERTIES		EN 755-2			Tensile test EN 6892-1		Machine: LabTest 6.100SP1			
	Test no.	Delivery condition	R _{p 0.2} [MPa] min.	R _m [MPa] min.	A (%) min.	A _{50 mm} (%) min.	Hardness WB			
		T6	215	255	8	6	N/A			
	1	T6	253	273	10,7	N/A	N/A			
3. DIMENSIONAL TOLERANCE		EN 755-9								
The material was released on the basis of the above information.										

Hydraulický zkušební stroj ZD40

Stroj umožňuje provádět tahové, tlakové a ohybové zkoušky materiálů do 400 kN s řízením rychlosti zatěžování a programovým zpracováním zkoušek. Je vybaven vestavěným inkrementálním délkovým snímačem polohy příčnicku s rozlišením 0,01 mm a snímačem síly s řídicí jednotkou EDC 60.

Řídicí jednotka EDC 60 je vysoce precizní elektronické zařízení speciálně konstruované pro řízení servo-hydraulických zkušebních strojů. Je vyráběna speciálně pro aplikace řízení zkušebních strojů a využívají ji přední evropští výrobci universálních zkušebních strojů. Jednotka je opatřena programem pro zkoušky kovů s možností provádět zkoušky bez PC u jednoduchých aplikací bez použití průtahoměru.

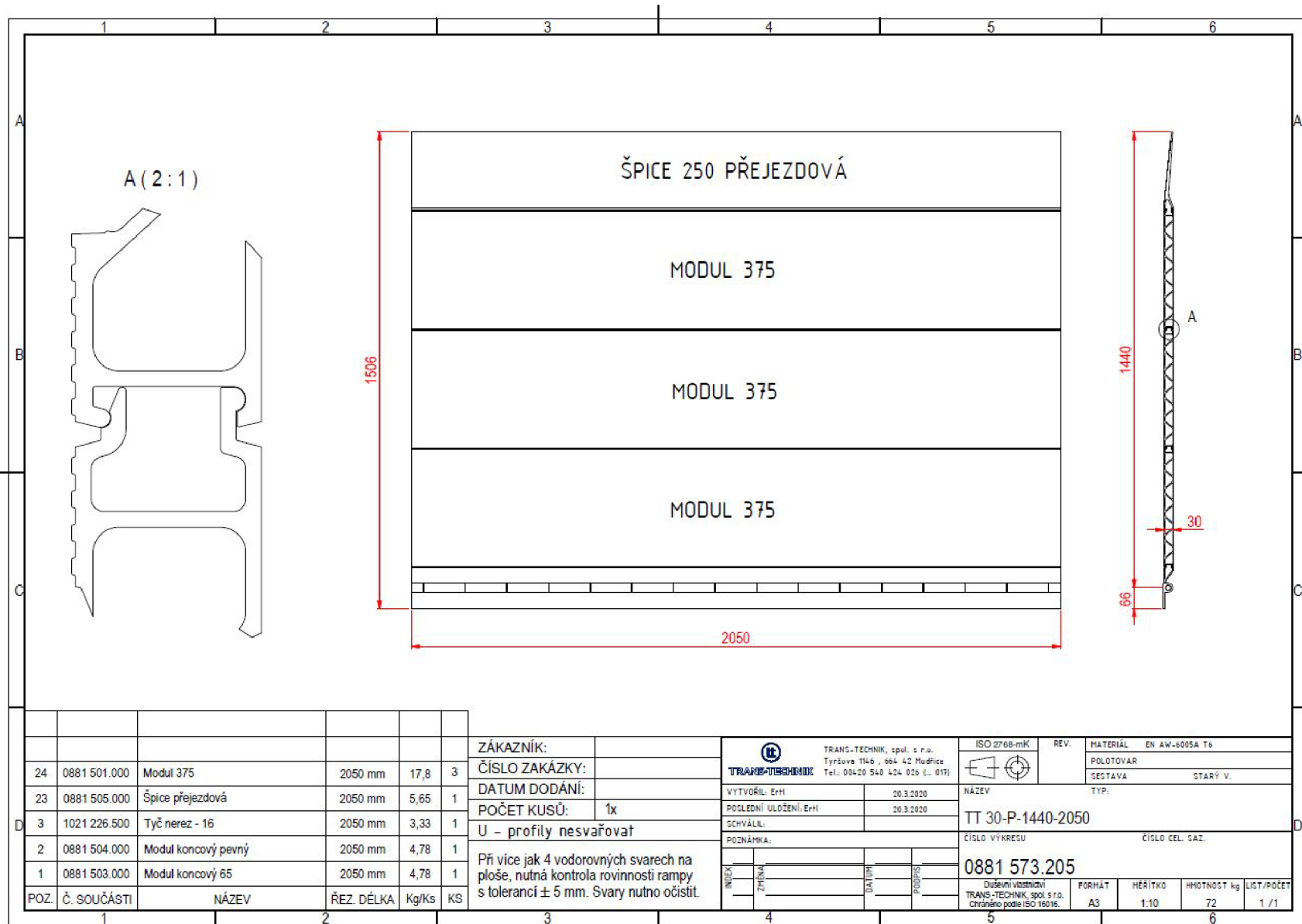
Technické parametry:

- Výrobce: HBM /SRN/
- Měřicí rozsah: 8 ÷ 400 kN
- Chyba měření síly: 1/100 jmenovitého rozsahu síly, tj. $\pm 1 \%$ odpovídá třídě přesnosti 1
- Měřicí rozsah měření dráhy: 0 ÷ 280 mm
- Chyba měření dráhy: $\pm 0,01$ mm
- sériové rozhraní RS 232 pro komunikaci s nadřazeným PC
- COM1 pro PC s FIFO s maximální rychlostí 115 KB
- inkrementální vstup pro napojení snímače dráhy

Počítač je vybaven programem M-TEST v.1.7 pro tahovou, tlakovou a ohybovou zkoušku kovových materiálů dle EN 10001-2 s vyhodnocením výsledků, grafickým zpracováním.



Řídicí jednotka EDC 60

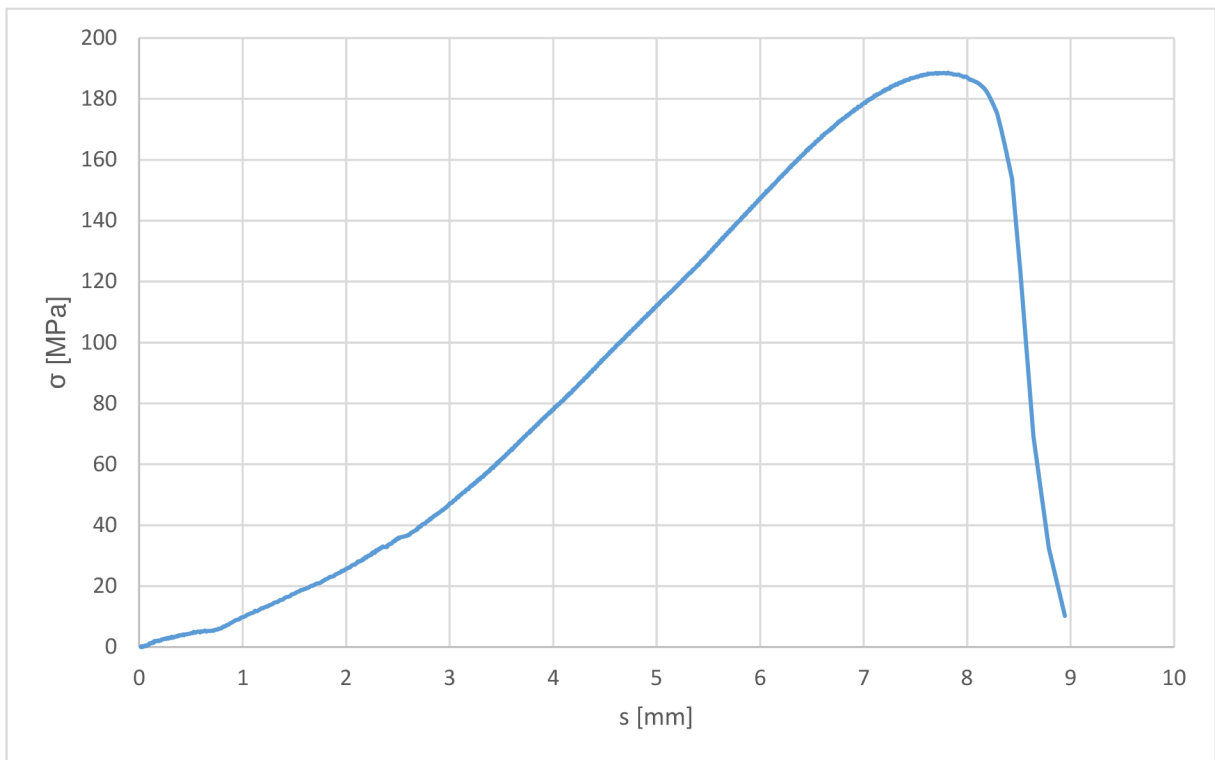


Výkresová dokumentace nájezdové rampy

Příloha 5

ZÁKAZNÍK:	TRANS-TECHNIK, spol. s r.o. Tyršova 1145, 604 42 Hladčice Tel.: 00420 540 424 026 (r. 017)	ISO 2768-mK	REV.	MATERIÁL EN AW-6005A T6
ČÍSLO ZAKÁZKY:				POLOTOVAR
DATUM DODÁNÍ:				SESTAVA STARÝ V.
POČET KUSŮ:	1x	VYTVORIL: ErH 20.3.2020	NÁZEV	TYP:
U - profily nesvařovat		POSLEDNÍ ULOŽENÍ: ErH 20.3.2020	TT 30-P-1440-2050	
Při více jak 4 vodorovných svarech na ploše, nutná kontrola rovinnosti rampy s tolerancí ± 5 mm. Svary nutno očistit.		SCHVÁLIL:	ČÍSLO VÝKRESU	ČÍSLO CEL. SAZ.
		POZNÁMKA:	0881 573.205	
		INDEX	Důležitá upozornění	FORMÁT A3
		ZMĚNA	TRANS-TECHNIK, spol. s r.o. Chráněno podle ISO 16016.	MĚŘÍTKO 1:10
		UPOZORNĚNÍ		HMŮTNOST kg 72
		PODPIS		LIST/POČET 1 / 1

Výsledky tahové zkoušky pro vzorky 2–8



Obr. Graf tahové zkoušky vzorku 2.

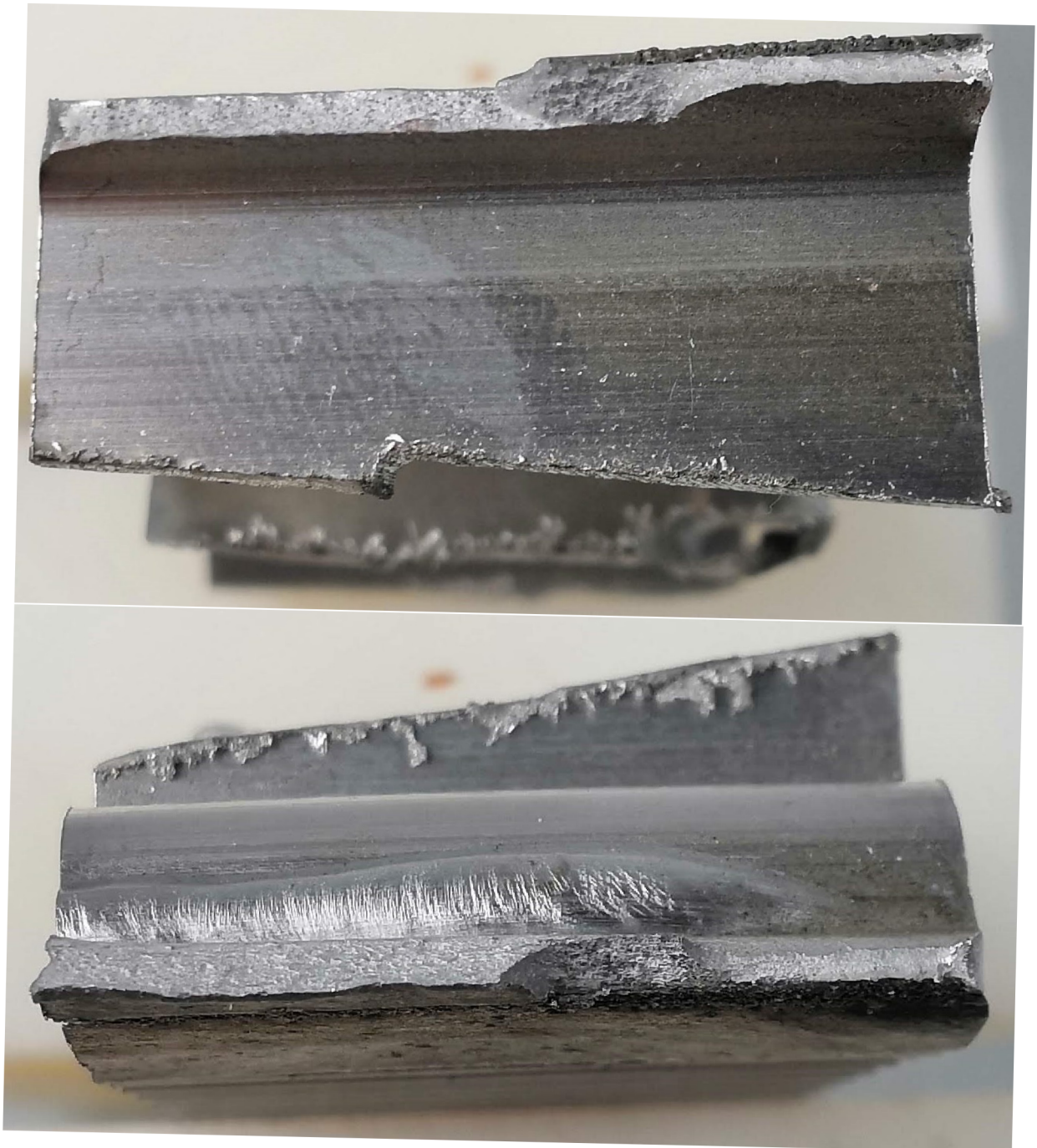
Tab. Výsledné hodnoty z tahové zkoušky vzorku 2.

	$R_{p0,2}$	R_m	F_{max}
Vzorek č. 2	189,2 [MPa]	189,6 [MPa]	14 814 [N]



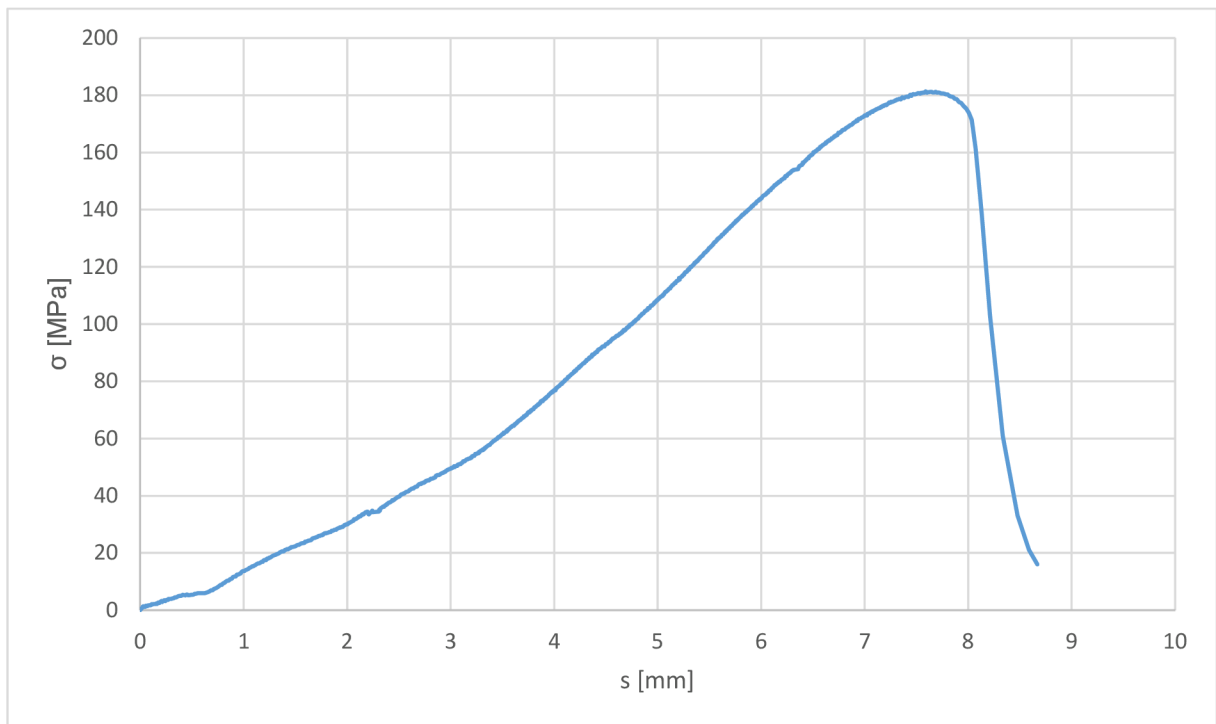
Obr. Místo přetržení vzorku 2.

Příloha 6 (2/14)
Výsledky tahové zkoušky pro vzorky 2–8



Obr. Lomové plochy vzorku 2.

Výsledky tahové zkoušky pro vzorky 2–8



Obr. Graf tahové zkoušky vzorku 3.

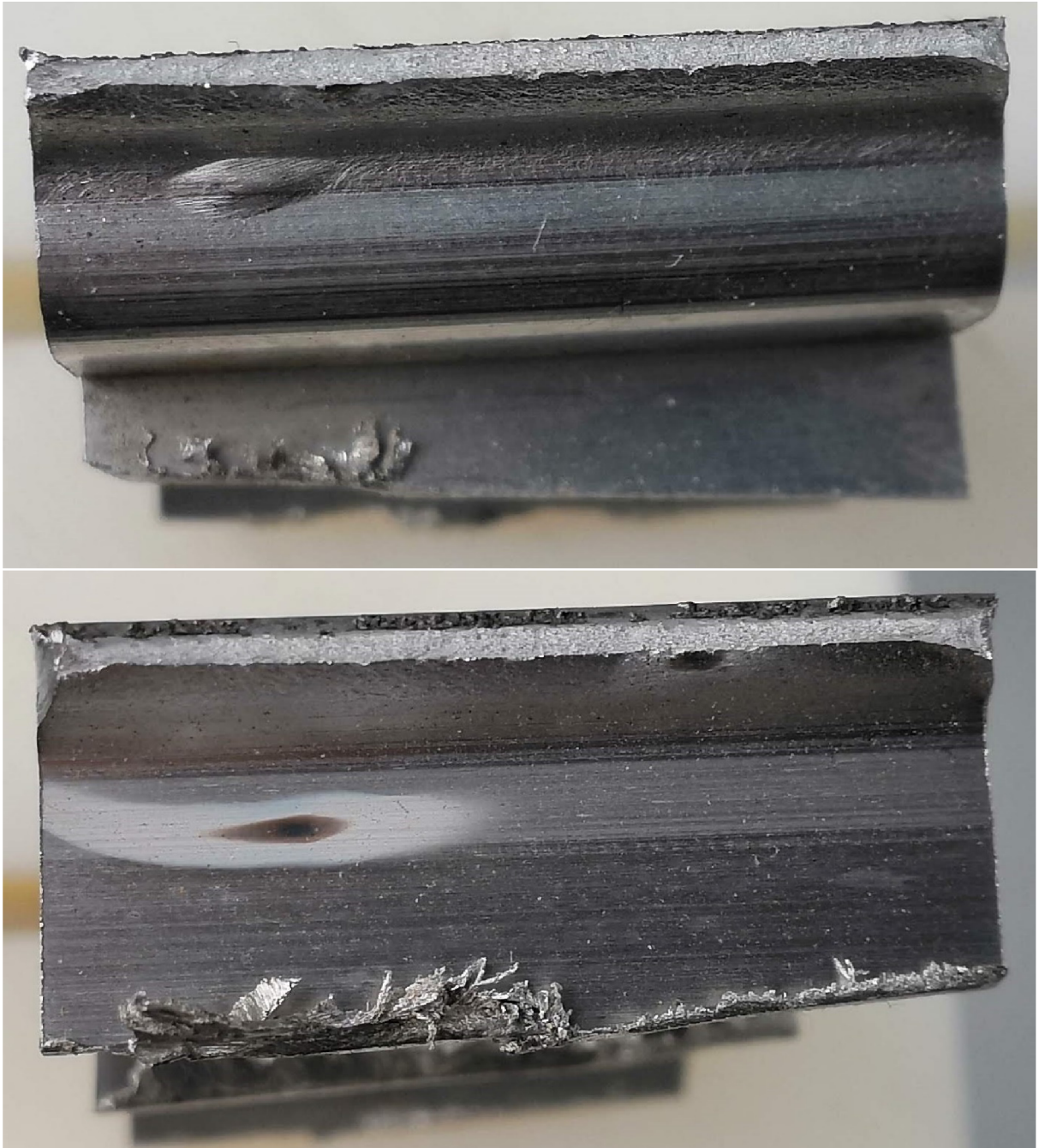
Tab. Výsledné hodnoty z tahové zkoušky vzorku 3.

	$R_{p0,2}$	R_m	F_{max}
Vzorek č. 3	179,4 [MPa]	182,3 [MPa]	14 240 [N]



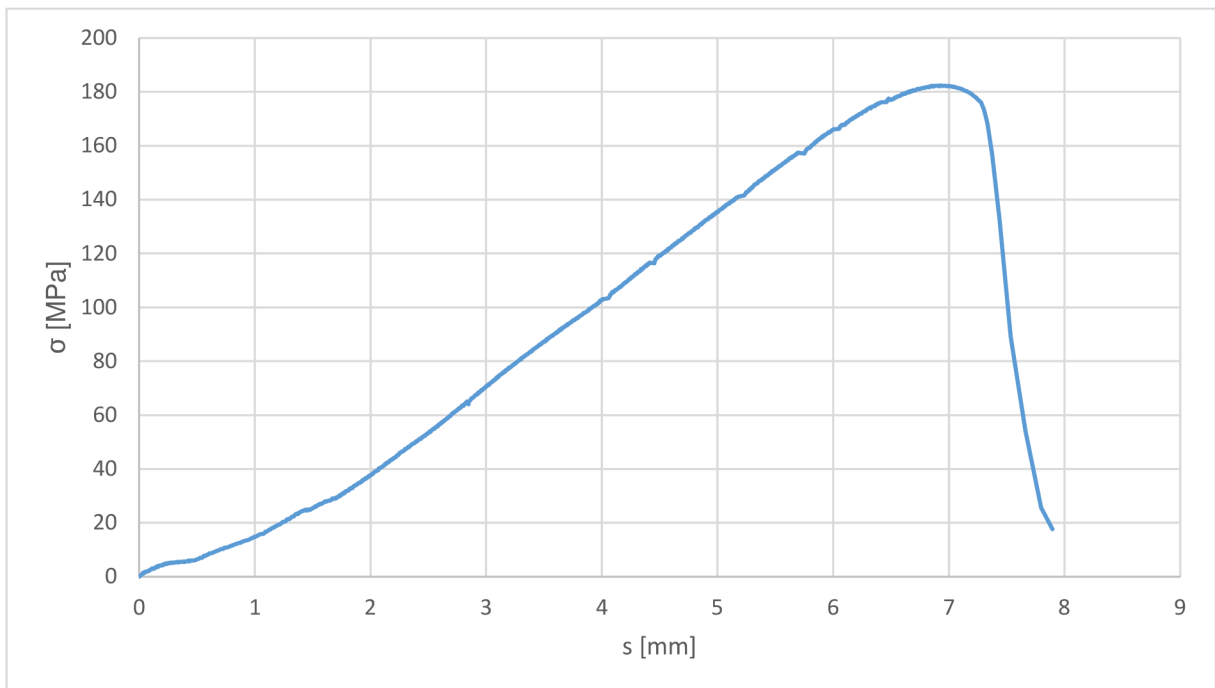
Obr. Místo přetržení vzorku 3.

Výsledky tahové zkoušky pro vzorky 2–8



Obr. Lomové plochy vzorku 3.

Výsledky tahové zkoušky pro vzorky 2–8



Obr. Graf tahové zkoušky vzorku 4.

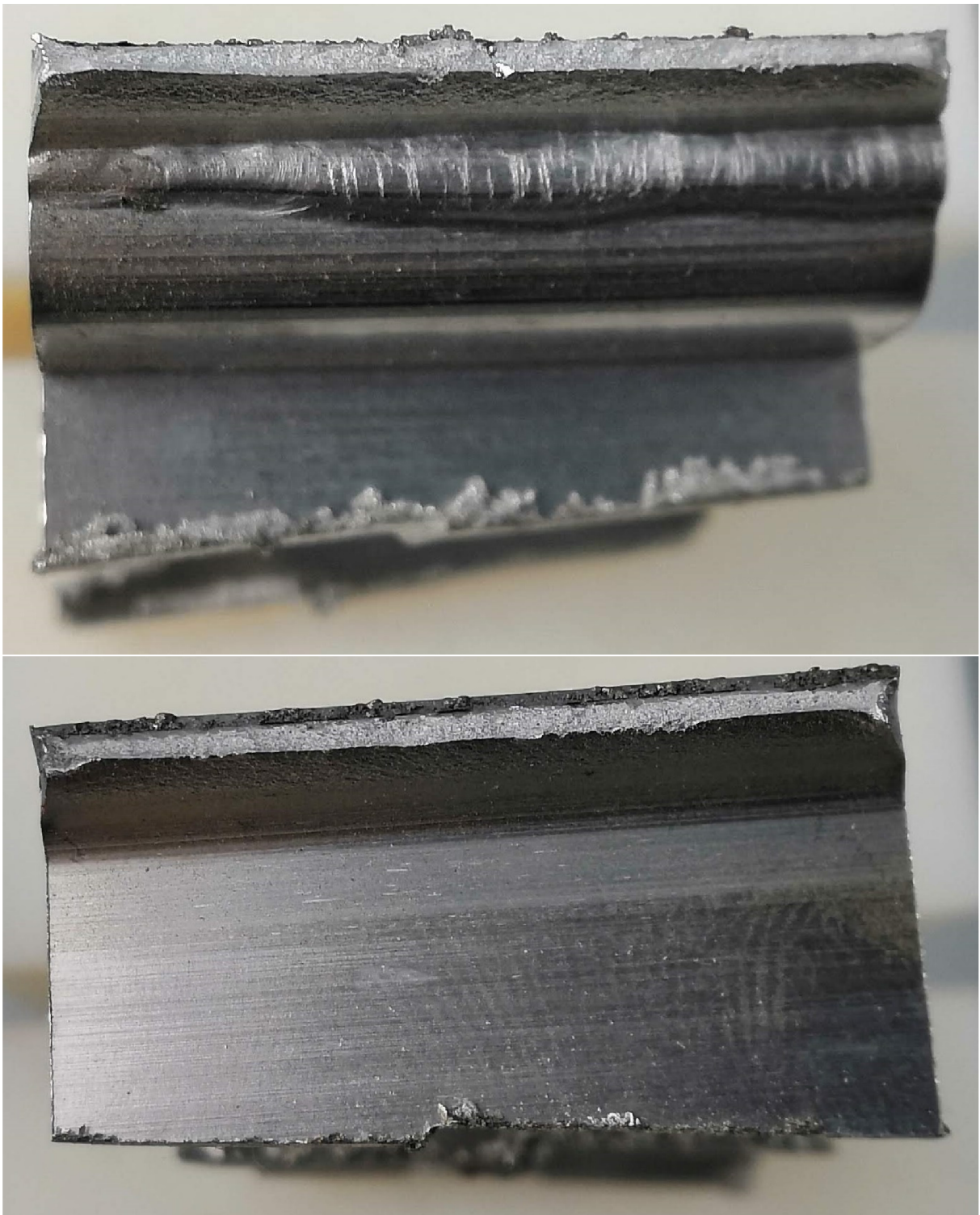
Tab. Výsledné hodnoty z tahové zkoušky vzorku 4.

	$R_{p0,2}$	R_m	F_{max}
Vzorek č. 4	184,4 [MPa]	184,9 [MPa]	14 324 [N]



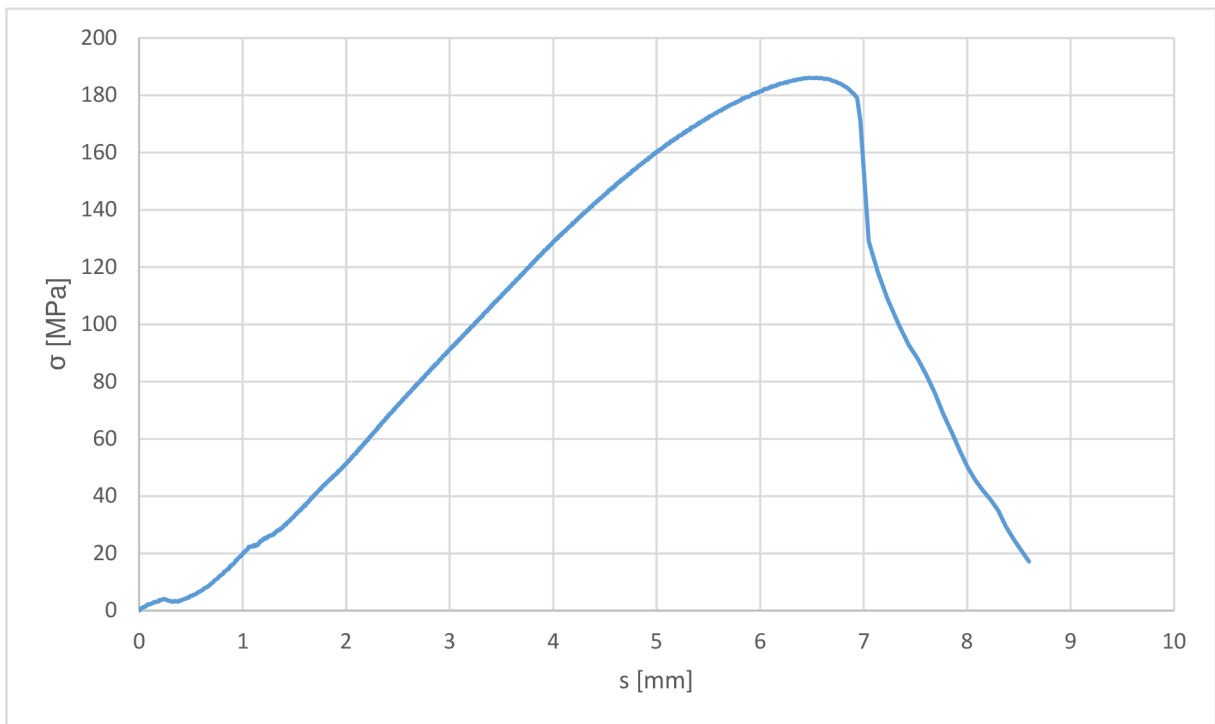
Obr. Místo přetržení vzorku 4.

Výsledky tahové zkoušky pro vzorky 2–8



Obr. Lomové plochy vzorku 4.

Výsledky tahové zkoušky pro vzorky 2–8



Obr. Graf tahové zkoušky vzorku 5.

Tab. Výsledné hodnoty z tahové zkoušky vzorku 5.

	$R_{p0,2}$	R_m	F_{max}
Vzorek č. 5	167,6 [MPa]	178,7 [MPa]	14 616 [N]



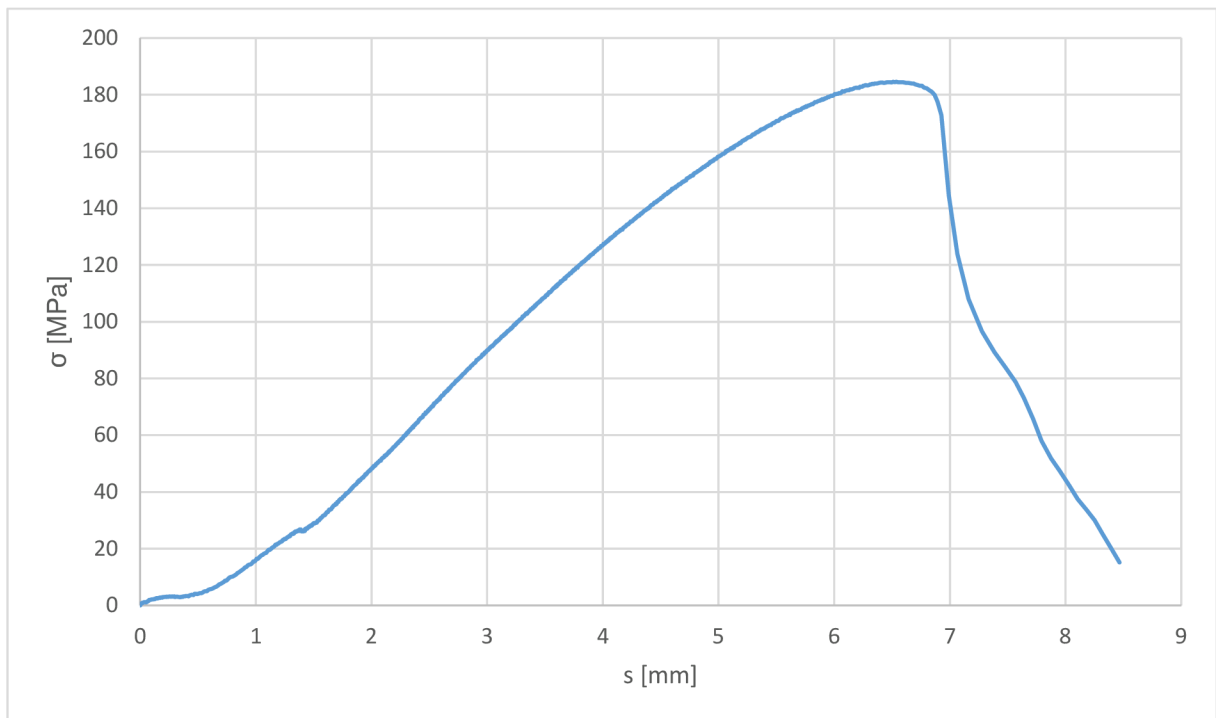
Obr. Místo přetržení vzorku 5.

Výsledky tahové zkoušky pro vzorky 2–8



Obr. Lomové plochy vzorku 5.

Výsledky tahové zkoušky pro vzorky 2–8



Obr. Graf tahové zkoušky vzorku 6.

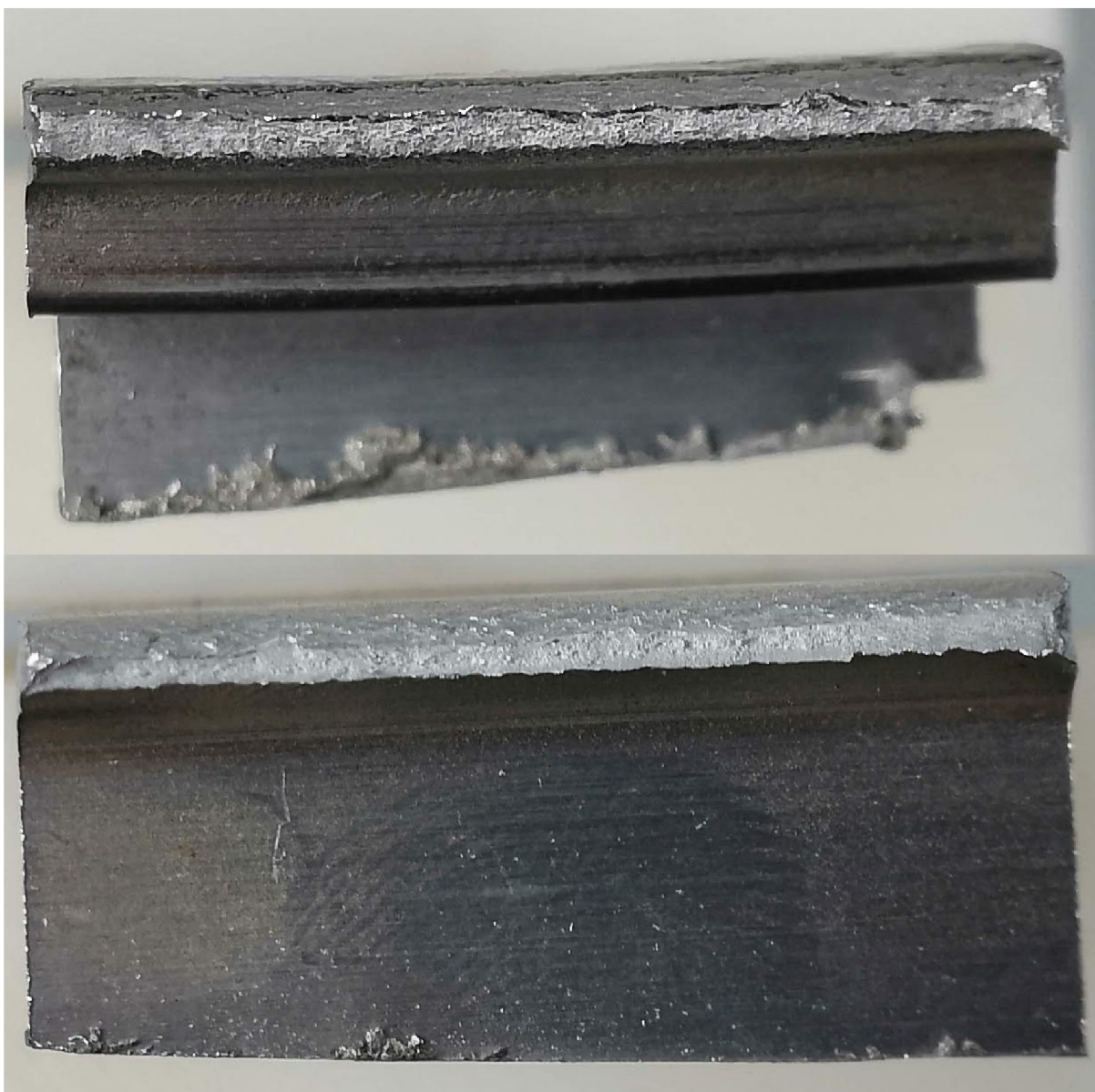
Tab. Výsledné hodnoty z tahové zkoušky vzorku 6.

	$R_{p0,2}$	R_m	F_{max}
Vzorek č. 6	168,7 [MPa]	180,4 [MPa]	14 494 [N]



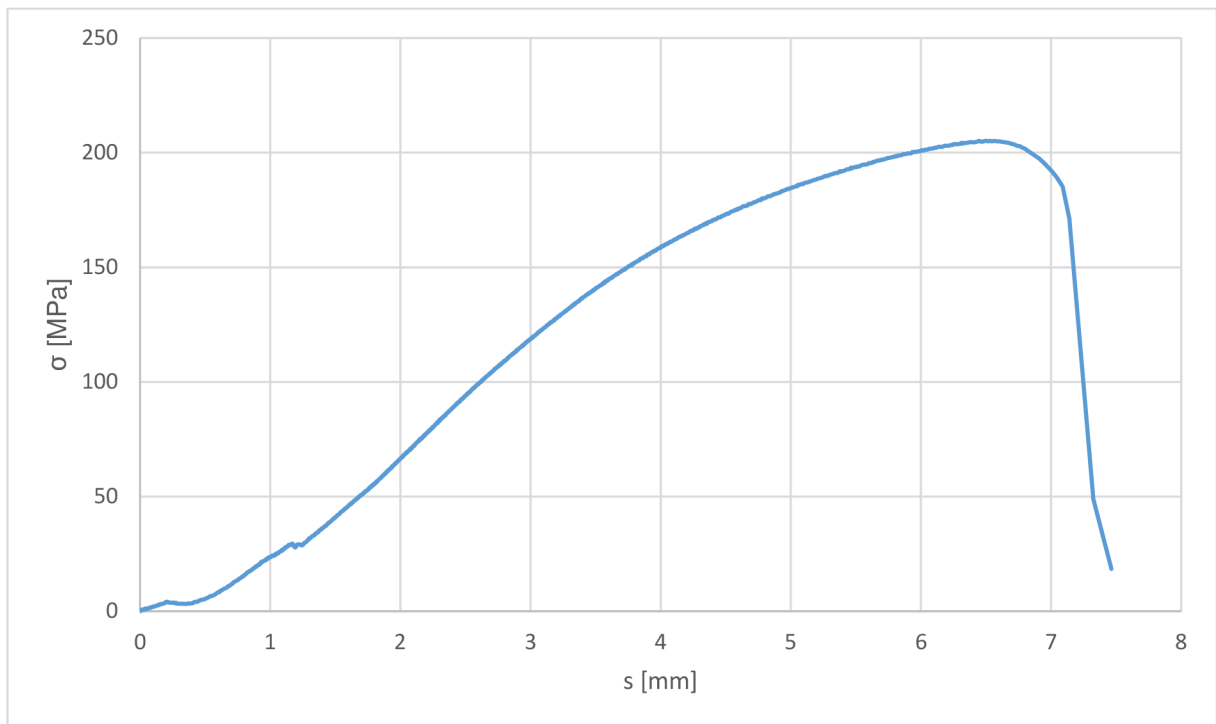
Obr. Místo přetržení vzorku 6.

Příloha 6 (10/14)
Výsledky tahové zkoušky pro vzorky 2–8



Obr. Lomové plochy vzorku 6.

Výsledky tahové zkoušky pro vzorky 2–8



Obr. Graf tahové zkoušky vzorku 7.

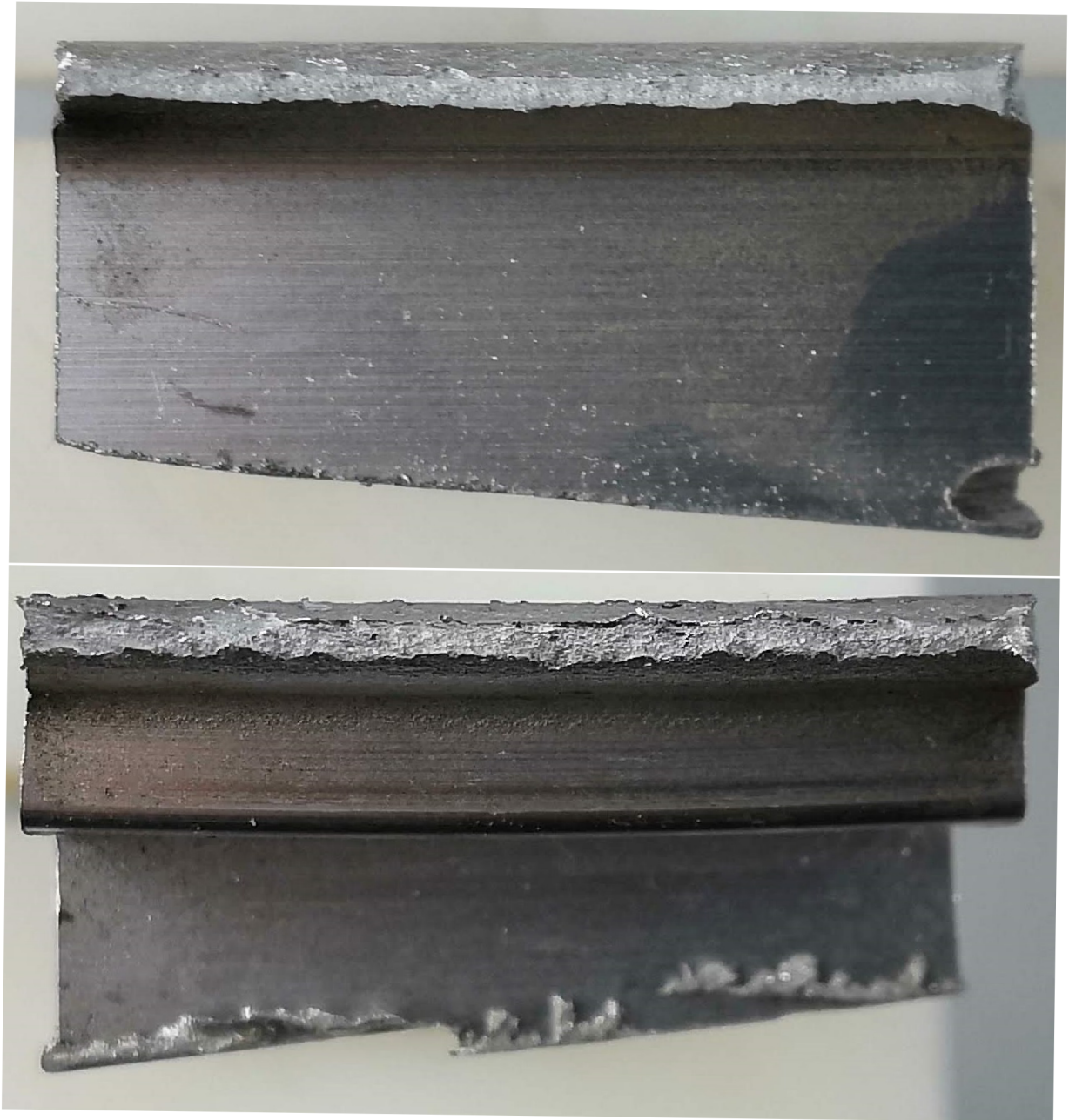
Tab. Výsledné hodnoty z tahové zkoušky vzorku 7.

	$R_{p0,2}$	R_m	F_{max}
Vzorek č. 7	166,3 [MPa]	197,9 [MPa]	16 112 [N]



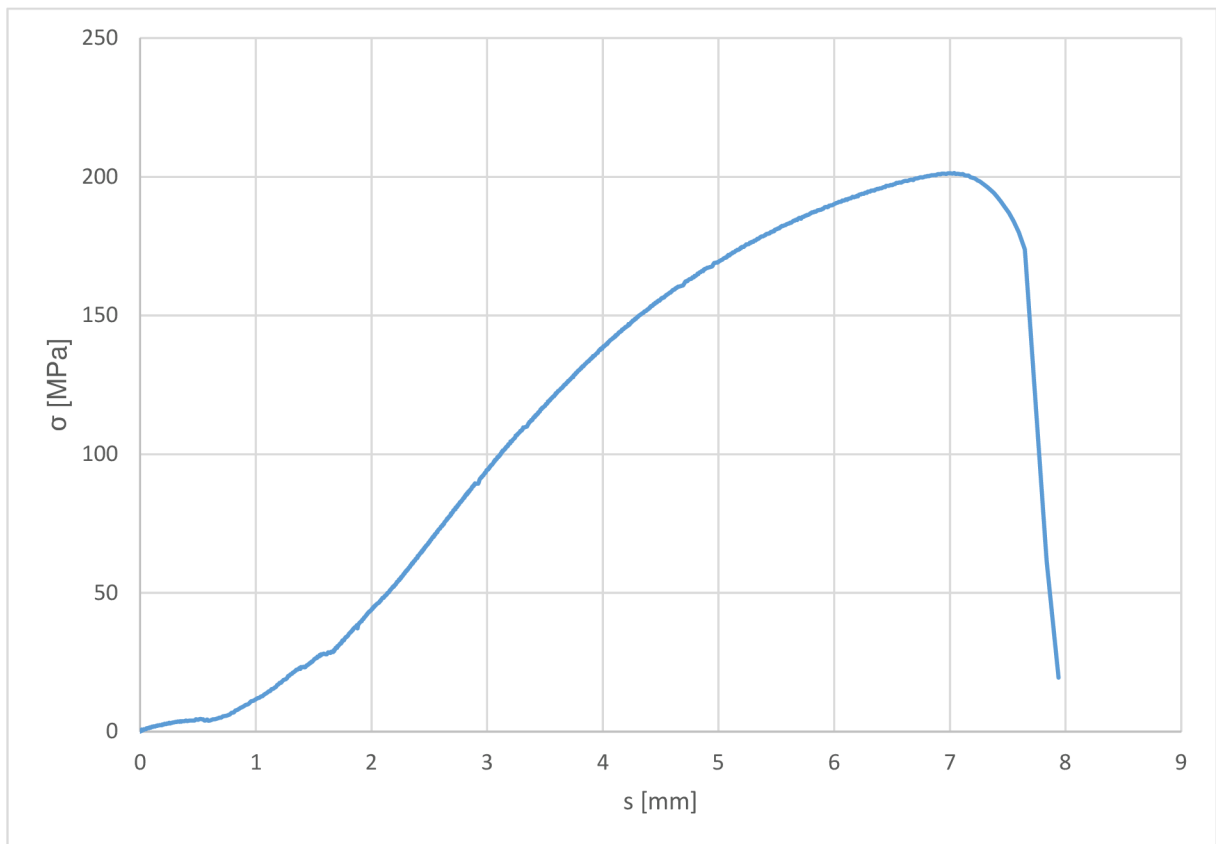
Obr. Místo přetržení vzorku 7.

Příloha 6 (12/14)
Výsledky tahové zkoušky pro vzorky 2–8



Obr. Lomové plochy vzorku 7.

Výsledky tahové zkoušky pro vzorky 2–8



Obr. Graf tahové zkoušky vzorku 8.

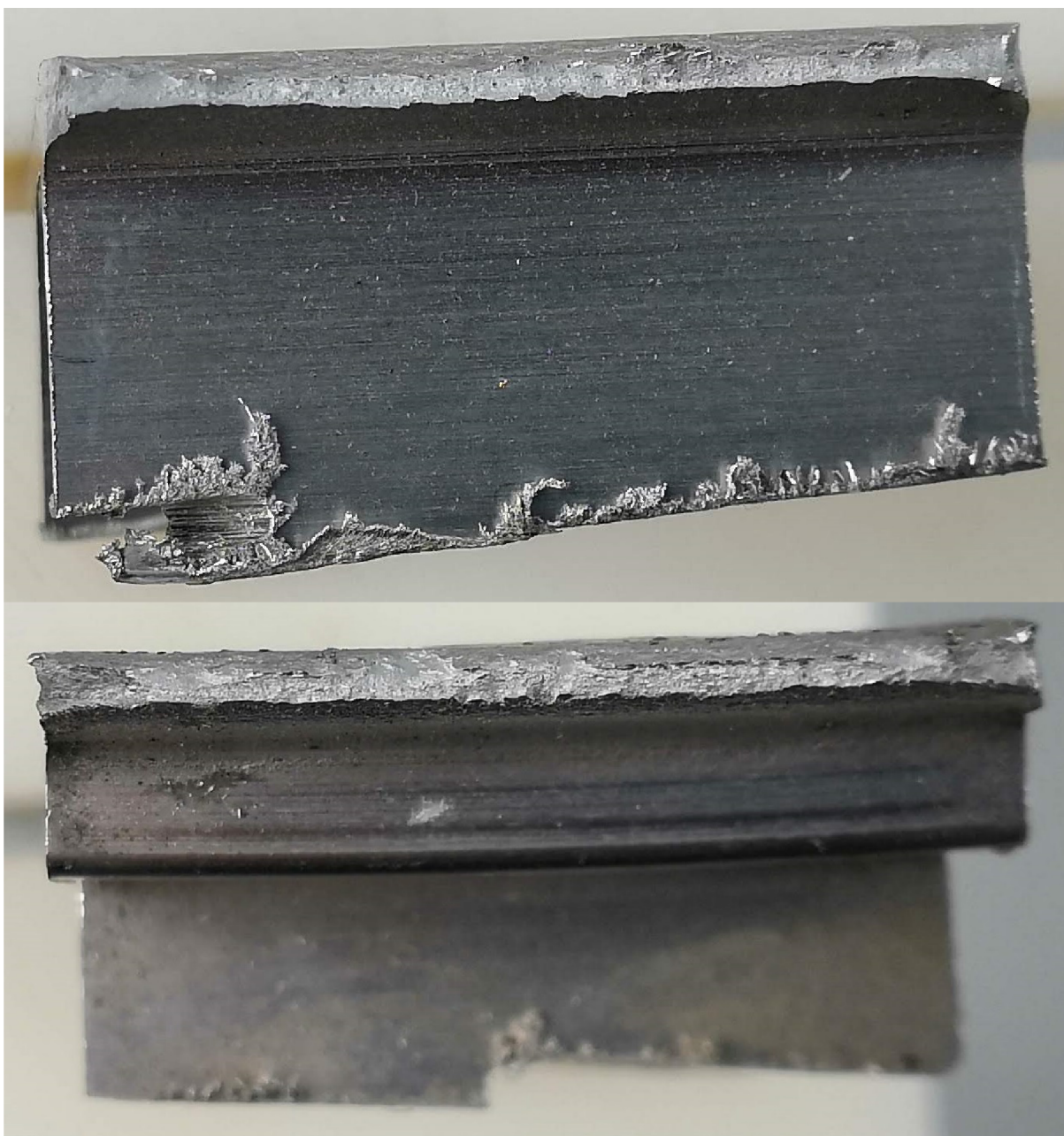
Tab. Výsledné hodnoty z tahové zkoušky vzorku 8.

	$R_{p0,2}$	R_m	F_{max}
Vzorek č. 8	165 [MPa]	195,4 [MPa]	15 810 [N]



Obr. Místo přetržení vzorku 8.

Výsledky tahové zkoušky pro vzorky 2–8



Obr. Lomové plochy vzorku 8.