



**VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ**  
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



**FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ**  
**ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE**

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING  
INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

# **SVAŘOVÁNÍ RÁMU Z HLINÍKOVÝCH SLITIN**

**WELDING OF THE FRAMEWORK FROM ALUMINIUM ALLOYS**

**DIPLOMOVÁ PRÁCE**  
MASTER THESIS

**AUTOR PRÁCE**  
AUTHOR

**BC. RAŠEK ONDŘEJ**

**VEDOUČÍ PRÁCE**  
SUPERVISOR

**ING. JAROSLAV KUBÍČEK**

BRNO 2015

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav strojírenské technologie

Akademický rok: 2014/2015

## **ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE**

student(ka): Bc. Ondřej Rašek

**který/která studuje** v magisterském navazujícím studijním programu

obor: **Strojírenská technologie (2303T002)**

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:

### **Svařování rámu z hliníkových slitin**

v anglickém jazyce:

#### **Welding of the framework from aluminium alloys**

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Diplomová práce řeší problematiku svařování rámu velkorozměrných elektrických transformátorů z hliníkových slitin. Na svary je položen vysoký požadavek vysokocyklového únavového zatížení a musí být bezchybně provedeny.

Cíle diplomové práce:

Úvod do řešené problematiky diplomní práce.

Rozbor problematiky z hlediska materiálového, technologického a konstrukčního.

Hodnocení navržené technologie TIG svařování, vhodných parametrů a podmínek.

Rozbor a diskuze výsledků experimentu.

Doporučení pro praxi a závěr

Seznam odborné literatury:

1. KOLEKTIV AUTORŮ. Technologie svařování a zařízení, 1vyd. Zeross, Ostrava 2001, 395s. ISBN 80-85771-81-0.
  2. ONDREJČEK, P. Zváranie ocelí v ochrane plynov. Bratislava. ETERNA PRESS 2003. 202 s. ISBN 80-968359-5-5.
  3. FOLDYNA, Václav a kol. Materiály a jejich svařitelnost. Ostrava: ZEROSS 2001. 292 s. ISBN 80-85771-85-3.
  4. ASM Handbook. Welding, Brazing and Soldering. Vol. 6. USA: ASM, 2003. 1298 s. ISBN 0-87170-382-3.
  5. TURŇA, Milan. Speciálne metódy zvarovania. 1.vyd. Bratislava: ALFA. 1989. 384 s. ISBN 8005-00097-9  
<http://hypertherm.com>.
  6. KRÍŽ, R. a P., VÁVRA. Strojírenská příručka. Praha: SCIENTIA. 1998. Svazek 8. 251 s. ISBN 80-7183-054-2.
- ŘOUKAL, J., D., SCHWARZ a J., HAJDÍK. Materiály a jejich svařitelnost. 1. vyd. Ostrava: Český svářečský ústav s.r.o. Ostrava, VŠB-Technická univerzita Ostrava. 2009. 241 s. ISBN 978-80-248-2025-5.

Vedoucí diplomové práce: Ing. Jaroslav Kubíček

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku

2014/2015. V Brně, dne 18.11.2014

L.S

---

prof. Ing. Miroslav Píška, CSc.  
Ředitel ústavu

---

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

**ABSTRAKT**

RAŠEK Ondřej: Svařování rámu z hliníkových slitin

Při svařování rámu transformátoru metodou TIG je důležité dostatečné provaření kořene, nesmí však dojít k ovlivnění pohledové plochy. Byly provedeny tři druhy zkoušek ke zjištění vlastností svarů při různých podmínkách, a to makroskopická kontrola, zkouška tahem a zkouška lomem. Dále bylo provedené ekonomické zhodnocení jednotlivých metod. Nejlépe vychází svar jednovrstvý s přehřevem materiálu.

**Klíčová slova:**

Svařování, TIG, kořen, hliník, mechanické zkoušky, přehřev, vada

**ABSTRACT**

RAŠEK Ondřej: Welding of the framework from aluminium alloys

For TIG welding of transformer frame is important enough weld root fusion, however exposed surfaces must remain unaffected. Three types of test were made to determine properties of welds under different conditions. Tests were macroscopic inspection, tensile test and fracture test. Next was economic evaluation of different methods. Best results were for single layer weld with pre-heated material.

**Key words**

Welding, TIG, root, aluminum, mechanical testing, preheating, defect

## **BIBLIOGRAFICKÁ CITACE**

RAŠEK, Ondřej. *Svařování rámu z hliníkových slitin*. Brno, 2015. 51s, 3 přílohy, CD. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav strojírenské technologie. Odbor technologie svařování a povrchových úprav. Vedoucí diplomové práce Ing. Jaroslav Kubíček.

**Prohlášení**

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma svařování rámu z hliníkových slitin vypracoval samostatně s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených na seznamu, který tvoří přílohu této práce.

Datum 31.5.2013

.....  
Ondřej Rašek

## **Poděkování**

Děkuji tímto vedoucímu Ing. Jaroslavu Kubíčkoví za cenné připomínky a rady při vypracování diplomové práce. Dále bych chtěl poděkovat Ing. Danielu Raškovi za pomoc a rady při realizování diplomové práce.

**OBSAH**

Abstrakt	
Prohlášení	
Poděkování	
Obsah	
Úvod .....	9
1 Rozbor aktuálního stavu .....	10
1.1 Obecné požadavky na výrobek .....	11
1.2 Možnosti výroby .....	11
2 Technologie svařování .....	11
3 Svařování slitin hliníku .....	13
3.1 Základní vlastnosti hliníku.....	13
3.2 Slitiny hliníku.....	13
3.3 Problematika svařování hliníku .....	13
3.3.1 Obecné shrnutí specifických znaků svařování hliníku .....	13
3.3.2 Problematika oxidu hlinitého $Al_2O_3$ .....	14
3.3.3 Způsoby odstranění vrstvy $Al_2O_3$ .....	15
3.3.4 Předehřev .....	16
3.3.5 Vady svarů při svařování hliníku .....	16
3.4 Metody svařování hliníku ].....	17
3.4.1 MIG (Metal Inert Gas) .....	17
3.4.2 TIG/WIG (Tungsten Inert Gas / Wolfram Inert Gas).....	19
4 Experimentální část .....	21
4.1 Obecný popis výrobku.....	21
4.2 Příprava vzorků:.....	24
4.3 Druhy provedených svarů.....	25
4.4 Makroskopická kontrola dle ČSN EN ISO 17639.....	29
4.4.1 Princip.....	29
4.4.2 Vyhodnocení.....	30
4.5 Zkouška rozlomením dle ČSN EN ISO 9017 .....	37
4.6 Zkouška tahem dle ČSN EN ISO 6892-1.....	39
4.6.1 Princip tahové zkoušky.....	40
4.6.2 Hodnocení zkušebních vzorků při tahové zkoušce.....	41
5 Technicko-ekonomické hodnocení .....	48
6 Shrnutí výsledků experimentů.....	50
7 Závěry .....	51
Seznam použitých zdrojů	
Seznam použitých zkratk a symbolů	
Seznam příloh	



## ÚVOD [7]

Potřeba spojování různých materiálů doprovází celý vývoj člověka. První metody spojování byly čistě mechanické, používaly se přírodní materiály jako zvířecí šlachy a rostlinná vlákna. V pozdější době, s rozvojem technických dovedností, se začaly používat různé typy mechanických spojů například v podobě dřevěných, následně kovových čepů, šroubů, nýtů. S rostoucími požadavky na vlastnosti kvalitu výrobků vznikala potřeba provedení spoje s novými mechanickými a fyzikálními vlastnostmi. V oblasti kovů se tak objevuje technologie svařování. Svařováním se lidstvo zabývá už stovky let. Cílem této technologie bylo vytvoření pevného, stálého a nerozebíratelného spoje. Počátky tohoto procesu sahají až k roku 4000př. n. l. kde se jednalo o kovářské svařování. Větší pokrok v této oblasti přišel až s objevením elektrického proudu a jeho následném využívání při svařování. Jako všechny oblasti průmyslu, i svařování zaznamenalo obrovský pokrok v období světových válek, obzvláště druhé. Postupem času se přicházelo k dalším možnostem svařování, například svařování laserem, plasmou nebo i svazkem elektronů. Neexistuje univerzální metoda, která by byla vhodná pro všechny typy materiálů a svarů, proto je potřeba všechny metody znát a vědět, kde je můžeme s výhodami použít, a kde to nelze.

Svařování (obr 1.01) bývalo dlouho dobu jen záležitostí kovových materiálů. Toto tvrzení už ale dávno neplatí, ve skutečnosti se se svařovanými produkty setkáváme denně všude okolo nás. Svařování plastů (ultrazvukem, teplem, třením...) je dnes naprosto běžnou technologií, používanou i v běžných domácnostech. Dokonce i spojení zcela odlišných materiálů (hliníkové víčko jogurtu na plastový kelímek) lze dnes bez problémů aplikovat.



Obr. 1.01 Svařování a svar

## 1 ROZBOR AKTUÁLNÍHO STAVU [16]

Posuzovaným dílem je hliníkový rám pro proudové transformátory (obr 1.02), vyráběný pro elektroprůmysl firmou I.T.Z. Brno. Tato firma se zabývá svařováním ocelových i hliníkových součástí, obrábění a celkově zámečnickou výrobou.

Problémem kovových dílů pracujících v bezprostřední blízkosti zařízení poháněných elektřinou může být vznikající magnetické pole při běhu zařízení.

Velikost magnetického pole se liší s proudem a frekvencí. Tyto vířivé proudy nejsou vždy nechtěným jevem, právě naopak se jich využívá čím dál tím více i běžných domácností, třeba u sklokeramických varných desek. Tyto desky obsahují měděné cívky zabudované pod skleněnou deskou, které vytváří magnetické



Obr 1.02 Proudový transformátor

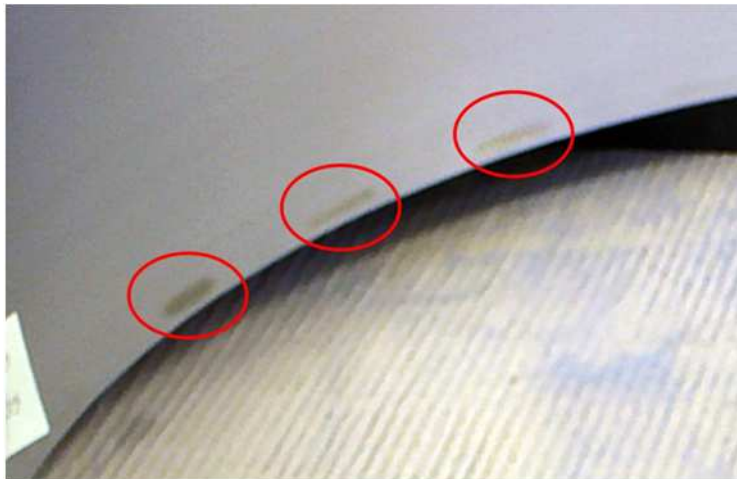
pole. Působení tohoto pole na vodivé dno nádoby indukuje vířivé proudy, které se vlivem elektrického odporu nádoby přemění na teplo, které využíváme k vaření. Ve strojírenské oblasti se vířivých proudů využívá například při nedestruktivní zkoušce povrchových vad.

Reakcí na indukovaný proud ale není pouze zahřívání. Jedná se o reakci materiálu, který se snaží zabránit změnám, které ho vyvolala. Čím silnější magnetické pole je a s čím větší frekvencí se pracuje, tím více je daná součást namáhána.

U transformátorů pro elektrárny je kladen důraz na bezporuchový provoz po celou dobu životnosti součásti. Jakákoliv závada na dílu by způsobila velké škody. Proto jsou svařované díly zkoušené cyklickým zatěžováním při extrémních podmínkách, které by v běžném procesu teoreticky neměly nastat. Součástka je také vysoce citlivá na jakékoliv nehomogenity materiálu, nebo deformace vzniklé tepelným zatížením materiálu. Při svařování těchto dílů je proto třeba důkladně dbát na to, aby byl svar dostatečně provařený. Nesmí však dojít k propadnutí nebo vyboulení kořene svaru, to by vedlo k nežádoucímu ovlivnění magnetických vlastností součásti.

### 1.1 *Obecné požadavky na výrobek*

Vzhledem k vysokým nárokům na design výrobku jako celku jsou kladeny velmi vysoké požadavky na bezchybnou pohledovou stránku dílu. Barevné (Obr 1.11) a tvarové odchylky materiálů, nečistoty vzniklé při výrobě nebo stopy po opracování povrchů jsou nepřijatelné. Toto vše výrazně ovlivňuje technologický proces výroby, zejména proces svařování. Tepelné působení svařování na svařovaný materiál může způsobit (a často také způsobí) nežádoucí barevné změny vnitřní kruhové stěny dílu.



Obr 1.11 Zabarvení povrchu rámu v místě svaru

Ta se poté musí opětovně brousit a upravovat, což představuje delší výrobní čas a s tím spojené vyšší náklady na výrobu součásti. Současně je nutno dbát na to, aby vlastní svár nebyl znečištěn kouřem a sazí. Tyto

nečistoty se při poměrně členitém povrchu svarů obtížně čistí. Z těchto důvodů se používají takové postupy svařování, při kterých dochází k co nejmenšímu vnášení tepla do základního materiálu. Na druhou stranu, s ohledem na pevnostní požadavky na svár, je nutno zajistit a kontrolovat správné provaření kořene a eliminovat vznik studených spojů, které by značně zkrátily dobu životnosti součásti.

### 1.2 *Možnosti výroby*

S ohledem na druh svařovaného materiálů a technické řešení výrobku připadají pro výrobu v úvahu tři technologie svařování, a to *svařování ruční obalovanou elektrodou, svařování MIG a svařování TIG*. Uvedené metody jsou blíže popsány v dalším textu. S ohledem na technologické možnosti je v současné době nejvíce používaná technologie TIG.

## 2 **TECHNOLOGIE SVAŘOVÁNÍ [8]**

Technologie svařování patří do skupiny nerozebíratelných spojů spolu s lepením a pájením. Tato metoda funguje na principu dodaného tepla prostřednictvím chemických, fyzikálních či nechanických procesů. Podle metody svařování se používá různých druhů přídavného materiálu, nebo se svařuje bez něj. Další metodou je navařování, kdy se přídavný materiál nanáší na povrch součásti.

Tento nanesený materiál pak většinou slouží jako ochrana proti korozi, otěru či jinému druhu poškození.

Svařovací metody, které jsou v současné době používány, jsou uvedeny v následující tabulce 1.11.

Tab 1.11 Základní metody svařování

Druh	metoda		
Tavné:	Plamenem		
	Elektrickým obloukem	-Obal. Elektrodou	
		-Pod tavidlem	
		-V ochranné atmosféře	-MIG, MAG, TIG
	Elektrostruskové		
	LASERem		
	El. Paprskem		
	Aluminotermicky		
	Plasmou		
	Pod tavidlem		
Tlakové:	Bodové		
	Švové		
	Výstupkové		
	Stykové		
	Třením		
	Difúzní		
	Výbuchem		
	Ultrazvukem		
	Třením		

Uvedené svařovací metody se liší jak technologickým postupem a přídavným materiálem, tak i výslednými vlastnostmi spoje. Obecně lze vlastnosti svařovaných spojů shrnout do tabulky 1.12.

Tab. 1.12 Výhody a nevýhody svařování

Výhody	Nevýhody
Pevnost	Nerozebíratelné spoje
Elektrická vodivost	Tepelně ovlivněná oblast
Těsnost	Vznik vad a trhlin ve svaru
Vysoká produktivita práce	
Úspora základního materiálu	

### **3 SVAŘOVÁNÍ SLITIN HLINÍKU [2], [4], [5], [8], [11], [13], [17]**

#### **3.1 Základní vlastnosti hliníku [2], [11], [17]**

Hliník patří mezi kovy s nejnižší objemovou hmotností, cca  $2700\text{kg/m}^3$ . Pevnost v tahu čistého hliníku je jen 70-100 MPa, proto se čistý skoro nepoužívá. V praxi je běžně dodáván ve formě slitin, převážně s přídavkem Hořčíku, Křemíku, dále Mědi a Manganu. Hliník se vyznačuje dobrou měrnou pevností a vysokou odolností proti vzdušné korozi.

Pro potřeby svařování jsou dále důležité tepelně technické vlastnosti. Teplota tavení čistého hliníku je  $659^\circ\text{C}$ . V praxi se na povrchu hliníku a jeho slitin tvoří tenká vrstva  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , která se nešíří do hloubky a chrání hliník před korozi. Tato vrstva má však teplotu tavení  $2050^\circ\text{C}$ , tudíž je vysoce nežádoucí při svařování hliníku. Hliník má vysokou tepelnou vodivost  $237\text{ W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$ , proto je v některých případech nutné svařenec předehtát.

#### **3.2 Slitiny hliníku [11], [17]**

Mechanické vlastnosti čistého hliníku výrazně omezují možnosti jeho praktického využití v čisté, neupravené formě. Proto se do něj přidávají další prvky – legury. Pokud je v hliníku obsaženo více, než 1% legur, mluví se o slitině hliníku. Nejčastěji se jako legura používá Cu, Si, Mg, Mn, Zn, Cr, Ni, a Li. Tyto slitiny se liší kromě mechanických vlastností také např. elektrickou vodivostí nebo tepelnou vodivostí. Některé ze slitin jsou obtížně svařitelné, například slitina Hliníku, Mědi, Hořčíku a Manganu dodávaná pod názvem Dural. Ta se naopak vyznačuje vynikajícími mechanickými vlastnostmi.

#### **3.3 Problematika svařování hliníku [4], [5], [8], [11], [13], [17]**

##### **3.3.1 Obecné shrnutí specifických znaků svařování hliníku [11]**

Slitiny hliníku mají od ocelových značně odlišné vlastnosti. Proto je u jejich svařování obzvláště důležité dbát na určité vlastnosti materiálu a děje při svařování. Pro svařování jsou nejvhodnější slitiny Al-Mn, Al-Si, Al-Mg nebo technický hliník, přídavný materiál volíme stejného či podobného chemického složení, jako základní materiál. U těchto spojů dochází k úplné rekrystalizaci a díky tomu poklesu pevnosti.

První důležitou vlastností je vysoká tepelná roztažnost slitin Al, kvůli kterým je potřeba součásti upínat mnohonásobně vyššími silami, než u stejného svařence z oceli (asi 2x až 3x). Po zchladnutí následně vzniká vysoké vnitřní pnutí.

Dalším faktorem je vysoká tepelná vodivost. I když je teplota tavení slitin hliníku daleko nižší, než je například u ocelí, musí se počítat s vysokým odvodem tepla z místa svaru (a tím pádem větší TOO, více pnutí). Proto je v některých případech nutno použít předehtev materiálu. Při výrobě, jejíž součástí je technologie svařování hliníku, je nutno zohlednit dobu chladnutí součástky, která je závislá na tloušťce materiálu (množství hmoty) a množství tepla dodaného při předehtevu a svařování.

Pro zajištění lepší ochrany svarové lázně a nižší kontaminaci nečistotami se svařuje směrem vpřed.

S ohledem na výše uvedenou vysokou tepelnou vodivost se rychlost svařování volí vysoká, s vysokým proudem. Při pomalém posuvu hrozí protavení materiálu, obzvláště při jeho malých tloušťkách. Při rychlém posuvu dochází k menšímu natavování základního materiálu.

Je nutno počítat se skutečností, že vlivem tepelné energie dochází k deformacím svařovaného výrobku. Tato skutečnost se řeší buďto dodatečným dotvarováním výrobku po vychladnutí, předepnutím výrobku před svařováním (uplatní se většinou u sériově vyráběných dílů, kde lze zkouškami prototypů naladit vhodné předepnutí), nebo kombinací obou metod. Kombinovaná metoda se uplatňuje u dílců s nejvyššími nároky na mechanické vlastnosti a geometrickou přesnost hotového výrobku.

S ohledem na svařování v ochranné atmosféře (obvykle Argon, Argon+Helium) je nutno pracovat v prostoru se zajištěným větráním (odsáváním), svařeč pracuje v masce s nuceným přívodem filtrovaného vzduchu.

Výše zmiňovaným specifikem při svařování hliníku je vliv zoxidované povrchové vrstvy a způsoby jejího odstranění v závislosti na požadavcích na svár. Pro objasnění významu této vrstvy na svařování se této problematice věnují obšířěji následující kapitoly.

### 3.3.2 Problematika oxidu hlinitého $Al_2O_3$ [13]

Zásadním problémem při svařování je tenká vrstva oxidu hlinitého na povrchu svařence. Tato vrstva ovlivňuje stabilitu hoření oblouku. Tenká vrstvička může mít na stabilitu pozitivní vliv, ale při vzniku větší vrstvy se začínají tvořit vměstky oxidu ve svaru. Mezi hlavní negativní vlastnosti vrstvy patří:

-Vysoká teplota tavení.  $Al_2O_3$  má teplotu tavení  $2050^\circ C$ , což je mnohonásobně více, než základní materiál. Při svařování by tedy docházelo k natavení materiálu pod oxidem, ale oxid by zůstával v pevném stavu, tudíž by nedošlo k optimálnímu spojení. Vrstvu tedy nelze tepelně odstranit. Mechanické způsoby odstraňování  $Al_2O_3$  jsou také neefektivní, protože ihned, například po obroušení, vzniká během pár vteřin vrstva nová. Jediným způsobem je narušení vrstvy během svařovacího procesu. Toho může být dosaženo obrácenou polaritou svařování metodou MIG (+ je na elektrodě) nebo svařování střídavým proudem (TIG).

-Vysoká hustota. Oxid hlinitý má větší hustotu, než svařovaný kov, tudíž se nevyplavuje na povrchu jako většina vměstků a nečistot, ale klesá ke kořenu svaru. Tam vytváří ostré vměstky, které mohou tvořit koncentrátoři napětí, ve kterých se iniciují trhliny.

-Vysoká nasákavost vzdušné vlhkosti. Díky velice jemným prasklinám ve struktuře  $Al_2O_3$  nasává vlhkost z okolního vzduchu. Ta při svařování způsobuje pórovitost svaru.

-Elektrický izolant. Oxid brání uzavření elektrického okruhu nutného pro svařování.

Výsledkem je tedy zhoršení podmínek pro místní natavení a vytvoření svarové lázně, zhoršení smáčení svarových ploch svarovou lázní, zhoršení přenosu proudu na tavicí se elektrodu, zhoršení přenosu kovu v oblouku a formování svaru a celkové zhoršení vlastností svarového kovu.

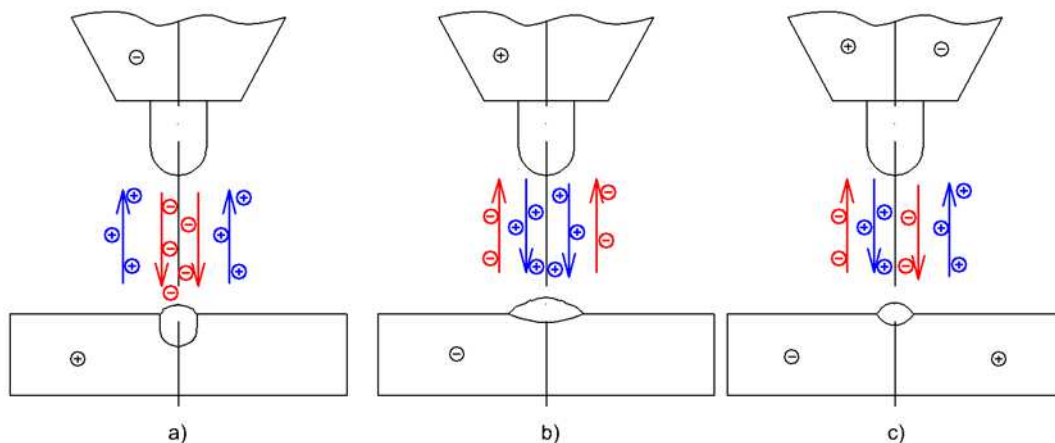
### 3.3.3 Způsoby odstranění vrstvy $\text{Al}_2\text{O}_3$ [13]

Odstranění vrstvy oxidu hlinitého je tedy velmi důležité. U svařování plamenem je používáno agresivních tavidel. Mechanické čištění (broušení, zaškrabávání, obrábění) nemá velký účinek, protože se oxidy velmi rychle vytvoří znovu.

U MIG a TIG svařování se velice často využívá účinku elektrického oblouku.

-Stejnoseměrný proud – Používá se obrácená polarita, která čistí povrch (Obr 3.31 a), b) ).

-Střídavý proud- Probíhá zároveň svařování a čištění povrchu (Obr 3.31 c) ).



Obr 3.31 Vliv typu el. proudu na průběh svařování [8]

Čistící účinek střídavého proudu se projevuje při zapojení elektrody na kladný pól. Vzniklá katodová skvrna, která není stabilní, se pohybuje na místa obsahující  $\text{Al}_2\text{O}_3$ . Tyto oxidy mají nižší emisní energii pro emisi elektronů a po zasažení katodovou skvrnou dochází k jejich snadnějšímu odpařování. Další část čistícího účinku způsobuje rozpad argonu na elektrony a kationty. Kladné ionty argonu jsou urychleny směrem k tavné lázni a mechanicky čistí povrch. Dynamický účinek tohoto proudu způsobí, že se oxidy stáhnou ke kraji lázně.



### 3.3.4 Předehřev [5], [8], [13], [17]

Předehřev se používá při svařování tlouštěk materiálu 8 mm a více. Teplota předehřevu by neměla přesahovat 120-150°C (záleží na chemickém složení dané slitiny). Ideální je použití náběhových a výběhových desek, které zachytí studené začátky svarů a trhliny v koncových kráterech.

Správný předehřev může omezit vznik trhlín, zabraňuje rychlému odvodu tepla z místa svaru, kde je potřeba materiál natavit a brání vzniku vad na začátku a konci svaru.

K předehřevu je možno použít různé druhy plynů:

- Zemní plyn – Ohřev je pomalý, ale rovnoměrný
- Propan-butan – Podobně jako u zemního plynu, nedochází k rychlé oxidaci ohřátého povrchu.
- Kyslíko-acetylenový plamen – Důležité správné nastavení plamene, jinak dochází ke spálení předehříváných povrchů díky vysoké teplotě a vysoké koncentraci tepla na malou plochu.

### 3.3.5 Vady svarů při svařování hliníku [4], [5], [13], [17]

**Horké trhliny**-Důvodem je nedostatek eutektika v závěrečné fázi tuhnutí svarového kovu

**Solidifikační trhliny**-Vznik ve svarovém kovu, šíří se mezi krystaly. Příčinou je vysoké napětí vlivem tuhnutí svarové lázně. Solidifikační trhliny se šíří od místa, které ztuhlo jako poslední – osa svaru. Jejich vzniku lze předcházet vnesením co nejmenšího tepla do svaru a navaření co nejméně housenek.

**Likvační trhliny**- Interkrystalické, vznikají během tuhnutí svarové lázně vlivem elasto-plastického napětí.

Opatření proti horkým trhlinám:

Vhodně zvolený přídatný materiál, omezení vneseného tepla, předehřátí svařovaných součástí, zvolení správné svařovací metody.

**Praskavost za studena**- vyskytují se většinou u velkých, masivních dílů při použití malého tepelného výkonu. Vznikají při teplotách 200-400°C.

**Koroze pod napětím**- Pro vznik trhliny musí být splněny tři podmínky: Dostatečně vysoká úroveň napětí, Korozní prostředí a citlivost materiálu ke koroznímu prostředí.

**Pórovitost svarů**-Póry ve svaru způsobuje vodík, který má vysokou rozpustnost v tekutém hliníku. Zabránit vzniku pórů lze omezením přítomnosti vodíku při svařování (Vlhkost, mastnota, ochranný plyn, PM...)



### 3.4 Metody svařování hliníku [2], [5], [8], [13], [15]

#### 3.4.1 MIG (Metal Inert Gas) [2], [5], [8], [13]

Tato metoda patří k jedné z nejpoužívanějších na světě díky velkému množství přídavných materiálů, ochranných plynů, možnost mechanizace a automatizace. V případě svařování hliníku se jedná o nejužívanější technologii.

Principem svařování je zapálený elektrický oblouk mezi elektrodou a svařencem. Elektroda je ve formě drátu, který se taví a přenáší na svařenec jako přídavný materiál. Svařování probíhá v inertní atmosféře pulsním nebo konstantním proudem. Díky vysoké tepelné vodivosti hliníku svar rychle tuhne, tím pádem je možné svařovat ve všech polohách.

Svar je chráněn proudícím inertním plynem, například argonem. Sám argon má ale špatnou tepelnou vodivost, tudíž se používá spíše směs argon + helium. Přidáním helia do směsi také docílíme zvýšení rychlosti svařování a kulatějšího a hlubšího závaru. Pro zkratovou metodu je potřeba argonu 12-15 l/min, pro sprchový oblouk pak 15-20 l/min. Čím je větší podíl helia ve směsi, tím je třeba zvýšit její průtok.

Pro metodu MIG existuje velké množství různých druhů přídavných materiálů. Ty jsou ve většině případů ve formě plných či plněných drátů (obr



Obr 3.41 Plněné dráty se švem a bezešvé [8]

3.41) navinutých na cívkách o různých hmotnostech (od 5 do 200 kg). Plné dráty se nejčastěji používají o průměru 0,8-1,6 mm. Plněné dráty se dělí do dvou skupin – Bezešvé plněné dráty a tvarově uzavřené plněné dráty.

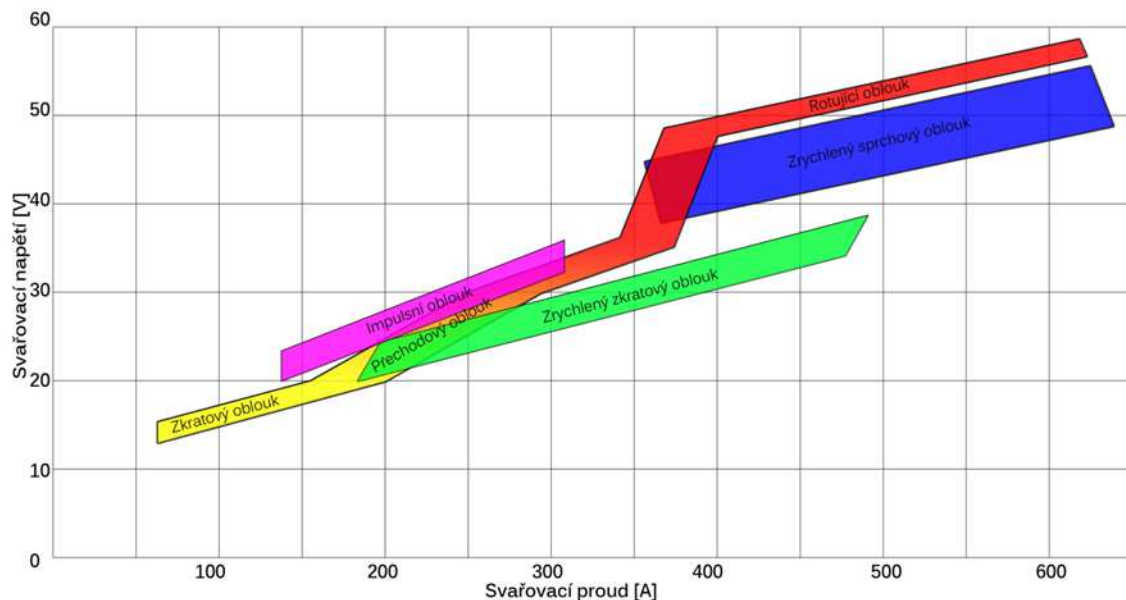
Plněné bezešvé dráty - Polotovarem je pás plechu svařen do tvaru nekonečné trubičky. Po rekrystalizačním žíhání je trubička plněna plnivem, které je zároveň pýchováno. Dále probíhá snižování obsahu vodíku při žíhání na měkko. Nápěň v drátu

má za úkol vytvářet na povrchu svaru tenkou vrstvu strusky, která pomáhá formovat svar a zlepšuje kvalitu povrchu. Obsahují také přísady pro stabilizaci hoření oblouku, legujících, dezoxidačních a ionizačních prvků.

Použití plněných drátů při svařování zaručuje dobrou smáčivost, hladký povrch, nízkou náchylnost k trhlinám, možnost dolegování a celkově dobré mechanické vlastnosti svaru.

### Přenos kovu u svařování MIG (Obr 3.42)

- Krátký oblouk – zkratový přenos
- Krátký oblouk – zrychlený zkratový přenos
- Přechodový dlouhý oblouk s nepravidelnými zkraty
- Dlouhý oblouk se sprchovým přenosem
- Impulzní bez zkratový přenos
- Zrychlený bez zkratový přenos
- Dlouhý oblouk s rotujícím přenosem kovu



Obr. 3.42 Oblasti přenosu kovu v oblouku [8]

### Výhody metody MIG:

- Možnost svařovat materiál od tloušťky 0,8 mm ve všech polohách
- Minimální znečištění svaru struskou
- Velice kvalitní svar, velká hloubka závaru
- Využívání nekonečného drátu – minimální odpad
- Minimální rozstřík kovu elektrody
- Snadná automatizace

### Nevýhody metody MIG:

- S ohledem na použití ochranné atmosféry nutno pracovat v ochranné masce.

## Zkoušky

### Nedestruktivní zkoušky

- Zkouška ultrazvukem – Tato metoda se využívá ke zjišťování trhlin a studených spojů. Neumožňuje zjištění vnitřních pórů a vměstků, stejně tak není možné kontrolovat svary s trvalou podložkou.
- Zkouška prozářením – Prozářením lze odhalit póry a vměstky, nalezení trhlin je velice obtížné – záleží na jejich orientaci a vyžaduje značné zkušenosti.
- Penetrační zkouška – Nejčastější zkouška sloužící k odhalení povrchových vad typu pórů, vměstků nebo studených svarů.

### Destruktivní zkoušky

- Zkouška lámáním
- Makroskopické kontroly
- Mikroskopické kontroly struktur
- Zkouška tahem

### **3.4.2 TIG/WIG (Tungsten Inert Gas / Wolfram Inert Gas) [2], [8], [13], [15]**

Oproti metodě MIG hoří oblouk mezi základním materiálem a netavicí se elektrodou (Obr 3.43).

Elektroda bývá vyrobena ze spékaného čistého Wolframu, nebo je legována oxidy kovů, například thoriem, lanthanem, zirkonem a dalšími. Legury snižují ohřev elektrody až o 1000°C a tím pádem vysoce zvyšují její životnost a kladně ovlivňují svařovací proces. Vrcholový úhel špičky se pohybuje od 30 do 120° podle toho, pro jaký proud je určena.

Přídavný materiál bývá dopravován buďto ručně, nebo podavačem drátu při automatickém svařování. Přídavný materiál se dělí podle metody používání. Pro ruční svařování je PM ve formě tyček o průměru 1-8 mm a délce 600-800 mm. Pro automatické svařování je používán drát o průměru 0,6-2,4 mm.

Tato metoda se nejvíce využívá ke svařování hořčíku, hliníku a jejich slitin při připojení na střídavý proud o frekvenci 40-250 Hz. Svařování stejnosměrným proudem se pak používá na svařování niklu, mědi, zirkonu, titanu, molybdenu, vysokolegovaných ocelí a dalších materiálů například s vysokou afinitou ke kyslíku. Touto metodou lze svařovat i materiály rozdílných vlastností, například oceli s mědí, niklovými slitinami, bronzem... Pokud jsou svařovány tlustší plechy, je doporučený předehřev kvůli stabilizaci oblouku. Mezi výhody dále patří malé deformace, přesné nastavení parametrů svařování a přesně regulovatelné vnesené teplo do svaru.

Jako ochranná atmosféra se opět používají ochranné plyny velmi vysoké čistoty (až 99,9999%, nejméně ale 99,995%). Ty zaručují vynikající ochranu svarové lázně a svařovaného kovu kontaktu a reakci s kyslíkem. Dále nedochází k vypalování prvků a tím pádem je svar vysoké kvality a čistoty bez strusky.

Ochranné plyny: Argon – Inertní

- nevytváří žádné sloučeniny
- Zaručuje vysokou stabilitu oblouku a dobré zapálení
- Vhodné pro tenké součásti

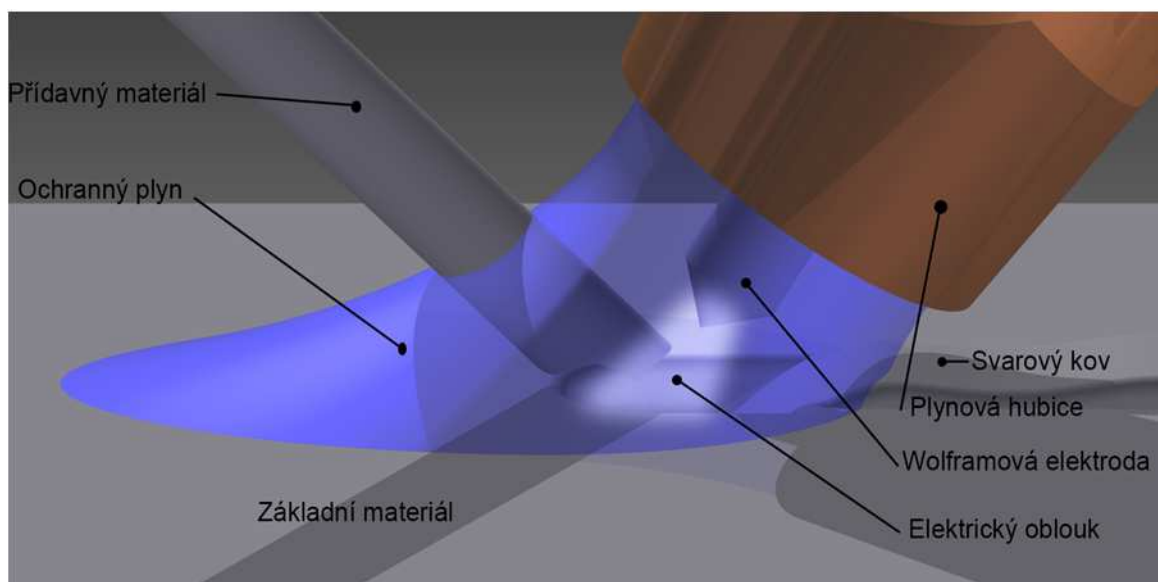
Helium + Argon

- S přibývajícím obsahem helia se zvyšuje tepelný výkon oblouku.
- Nejvíce pro Al, Cu a jejich slitiny
- Oproti čistému Ar až o 100% rychlejší svařování
- Doporučeno pro tlustější materiály

Argon + Vodík – 1-5% vodíku pro korozivzdorné oceli

- Nepoužíván pro Al- zvyšuje pórovitost

Dusík – Levná alternativa Ar, He při svařování mědi



Obr 3.43 Svařování metodou TIG

Pro svařování hliníku metodou TIG platí tyto zásady:

- Svar natupo do tloušťky materiálu 5 mm se provádí bez úkosu, nad 5 mm se provádí úkos do „V“ s úhlem rozevření 80-90° a otupením 2mm.
- Proud se nastavuje cca 40-60 A na 1 mm tloušťky materiálu.
- Optimální délka oblouku je 3-5 mm.
- Doporučen předehřev 200-300°C podle tloušťky materiálu a celkové složitosti součásti
- Při začátku svařování přidávat PM až po prosednutí svarové lázně, které značí protavení lázně.

## 4 EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST [5], [6], [8], [10], [12], [14]

### 4.1 Obecný popis výrobku

Svařovaným dílem (Obr. 4.11) je rám proudového transformátoru z hliníkové slitiny.



Obr 4.11 Rám transformátoru

Základní materiál rámu je hliníková slitina (Tab. 4.11, 4.12) AlMg4,5Mn (AW 5083). Tato slitina je určena pro chemický a potravinářský průmysl, nábytek, stavebnictví a strojírenství. K materiálu byl dodán Inspekční certifikát 3.1 (EN 10204) číslo 85215306 (příloha 2), číslo tavby 19797/02/00.

Tab 4.11 Chemické složení základního materiálu

	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	Ti	Ostatní Celkem
Minimum	-	-	-	0,40	4,0	0,05	-	-	-
Maximum	0,40	0,40	0,10	1,0	4,9	0,25	0,25	0,15	0,15
Skutečné	0,17	0,29	0,04	0,62	4,7	0,10	0,04	0,02	0,04

Tab 4.12 mechanické vlastnosti základního materiálu

	Rm	Rp0,2	A50
minimum	275	125	15
maximum	350	-	-
Skutečné	307	153	24

Používá se svařovací drát ve formě tyče z materiálu AlMg5 (Příloha 3) o průměru 2,4mm (Tab 4.13, 4.14) dle normy EN ISO 18273. Drát typu AlMg<sub>5</sub> je určen pro svařování hliníkových slitin s obsahem hořčíku do 5% například AlMg1 až AlMg5, AlMg4,5Mn, AlMgSi1, AlZn4,5Mg1 a další. Částečně vhodný je také pro svařování slitin odolných proti mořské vodě. Pro svařování tímto materiálem je doporučen předehřev na teplotu 150-200°C. Svařovací proud střídavý, ochranný plyn I1-I3.

Tab 4.13 Typické chemické složení svařovacího drátu (%)

Si	Mn	Al	Fe
<0,25	<0,20	95,0	<0,40

Tab 4.14 Typické mechanické hodnoty čistého svarového kovu

Podmínky	Plyn	Rm [MPa]	Rp02	A5
EN	I1	265	120	26

Celý povrch rámu je broušený, což mu dodává vzhled broušené nerez oceli. Ve finálním výrobku rám tvoří jádro transformátoru, na které je provedeno vinutí z měděného drátu. Vinutí je následně zalito speciální pryskyřicí.

Pro rámy jsou stanoveny vysoké požadavky na odolnost proti vysokocyklovému namáhání a na vzhled povrchu. Tyto dva poněkud protichůdné požadavky znamenají provádět pevnostně maximálně kvalitní sváry, které však nesmějí nijak narušit vzhled vnitřní broušené strany dílu.

Vysoká pevnost svařovaného spoje je nezbytná z toho důvodu, že při průchodu zkratového proudu transformátorem je celý výrobek namáhán extrémně velkými silami a při nedokonalém spojení částí rámu hrozí jejich vzájemné odtržení.

Požadavky na vzhled vyplývají ze skutečností, že rámy jsou v místě použití umístěny v pohledově exponované části, bez dodatečného krytu, a tvoří často hlavní „exponát“ celého zařízení.

Díl je svařován metodou TIG jednou housenkou bez předehřevu základního materiálu. Na vzorku rámu, který výrobce poskytl pro účely zpracování této práce, byly provedeny další zkušební svary, které budou vyhodnoceny z hlediska vzhledu svaru a jeho vlastností. První zkušební svar byl prováděn na dílci s předehřevem 150°C, druhý pak bez předehřevu, ale s provařením kořene a následným druhým průjezdem.

Svařování probíhalo svářečkou Jasic TIG315P AC/DC. Velikost svařovacího proudu je ovládána nožním pedálem, hodnota na displeji je v průběhu svařování proměnná (obr 4.12). Ostatní nastavení uvedeno v tabulce 4.15.



Obr. 4.12 Nastavení svářečky

Tab 4.15 Nastavené hodnoty při svařování rámu

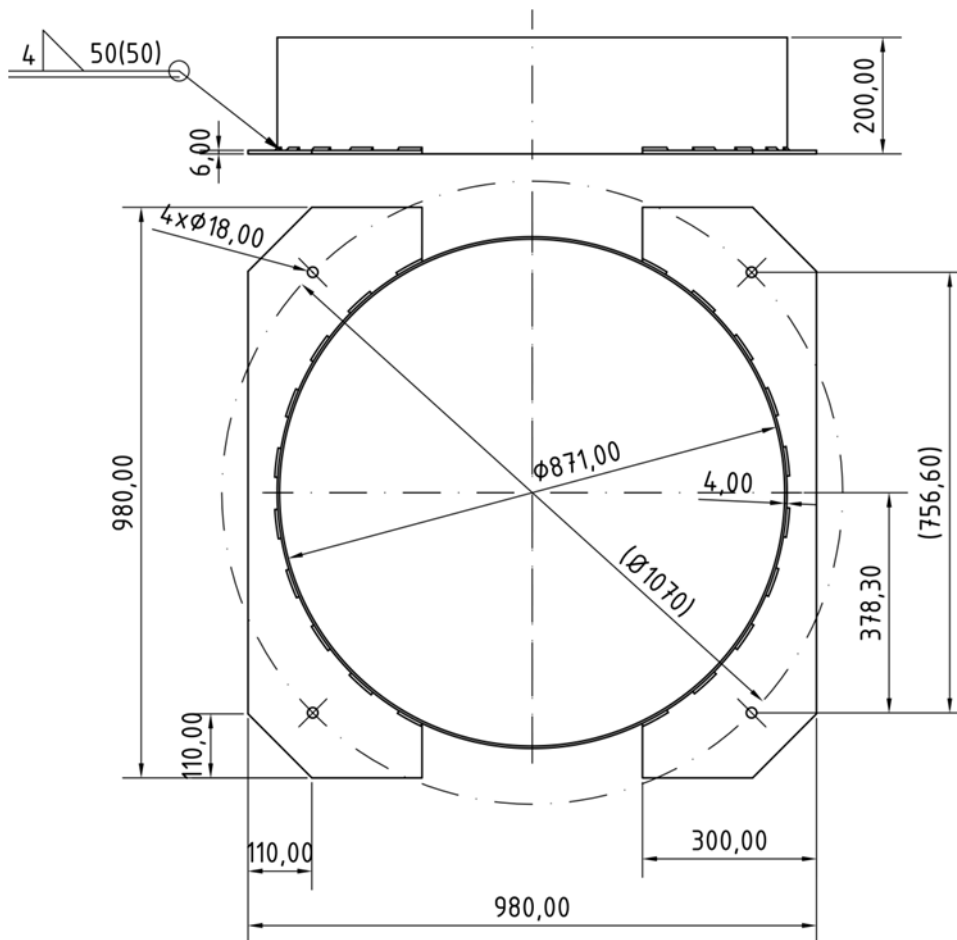
Čas předfuku plynu	0,6 s
Špičkový proud	10 A
Základní proud	60 %
Doběh	0 s
Síla oblouku	0 A
Frekvence pro pulzní režim	0,5 Hz
Doba trvání špičkového proudu	75 %
Nastavení čistícího účinku	50 %
čas dofuku plynu	2 s

Postup výroby:

Příruby rámu jsou řezány vodním paprskem z plechu tl. 6mm, pás pro tělo rámu se stříhá z plechu tl. 4mm. Díly jsou opracovány, vybroušeny. Pás pro tělo

transformátoru je skružen a konce jsou svařeny V svarem, takže vzniká tvar nízkého válce. Svár je následně vybroušen do hladka, celý válec je následně znovu broušen.

Následuje svaření těla rámu a přírub. Svařuje se švovým svarem o délce 50 mm a délce mezery 50 mm. Jednotlivé části jsou při svařování upnuty v přípravku. Po vychladnutí je výrobek (Obr 4.13) dorovnán speciálními nástroji.



Obrázek 4.13 Výkres rámu

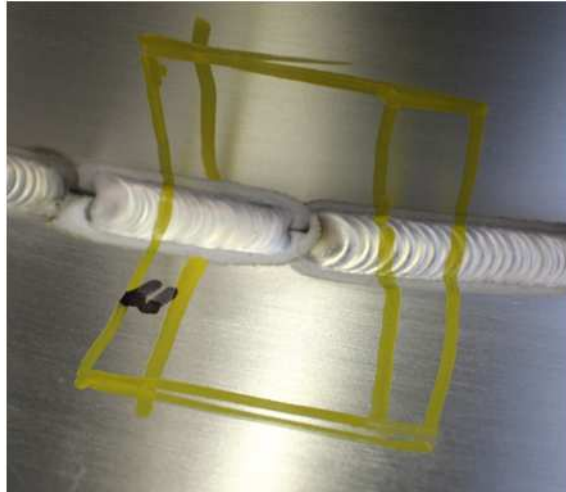
## 4.2 Příprava vzorků:

K provedení zkoušek byly připraveny dva druhy vzorků.

Pro potřeby provedení destruktivních i nedestruktivních zkoušek svarů byl výrobcem poskytnut jeden kompletní kus rámu. S ohledem na jeho velikost a z toho plynoucí potíže s přepravou byly za účasti zpracovatele této práce vyřezány díly - segmenty, ze kterých byly dále odebírány jednotlivé vzorky. Z důvodu požadavků na posouzení vlivu různých způsobů svařování na konečný výrobek byly výrobcem podle požadavku zpracovatele doplněny na odebraných segmentech další sváry, provedené odlišnou technikou než sváry prováděné při sériové výrobě.



Dále výrobce dodal tři vzorky hliníkových desek svařených na tupo různými typy V svaru. Tyto vzorky byly určeny pro trhací zkoušky.



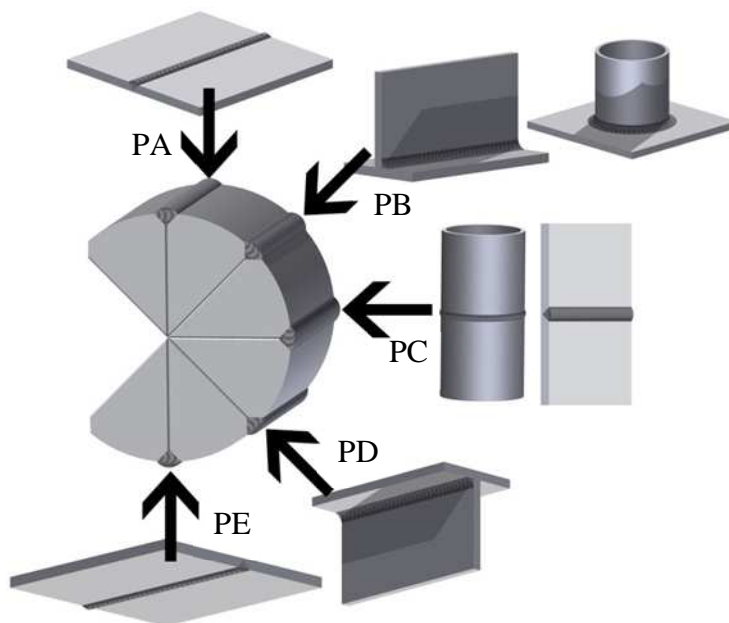
Obr. 4.21 Vyznačení zkoumané oblasti

Pro provádění jednotlivých zkoušek svarů bylo třeba vzorky náležitě připravit. Vzorek byl rozdělen na několik segmentů, podle druhu prováděných zkoušek. Jednotlivé segmenty byly označeny, na segmentech byly vyznačeny oblasti (Obr. 4.21) určené pro zkoumání svárů. Tyto oblasti byly vyřezány plazmovým hořákem. Finální řez v místě svaru byl proveden na metalografické pile a vybroušen na metalografické brusce. Vzorky byly následně zkoumány pod mikroskopem na přítomnost vad.

### 4.3 Druhy provedených svarů [8] [14]

Na hodnocených vzorcích byly posuzovány následující typy svárů:

- Koutový svár mezi tělem a přírubou rámu
- V svar mezi zkušebními deskami pro trhací zkoušky



Obr 4.31 Polohy svařování [14]

Koutové svary na rámu byly provedeny třemi metodami, a to jako jednovrstvé bez předehřevu (původní z výroby), jednovrstvé s předehřevem a dvouvrstvé bez předehřevu (oba doplněny podle požadavku zpracovatele).

Desky pro trhací zkoušky byly svařeny na tupo V svary. Celkem byly svařovány tři páry desek. První pár byl svařen jednovrstvým svárem s předehřevem, druhý

pár jednovrstvým svárem bez přehřevu a třetí pár byl svařen třívrstvým bez přehřevu.

Všechny uvedené svary byly provedeny metodou TIG. Každý svar byl prováděn stejnou rychlostí a se stejnými parametry nastavení svářečky, avšak za rozdílných počátečních podmínek, případně jiným postupem svařování. Tyto parametry mají za následek jiné mechanické vlastnosti svaru, rozdílnou hloubku provaření kořene a celkové tepelné ovlivnění základního materiálu. Koutové svary byly prováděny ve svařovací poloze (Obr 4.31) PB, zatímco vzorky pro tahovou zkoušku v poloze PA.

### **Původní koutový svár rámu (sériová výroba)**

Originální díl byl svařovaný jedním průjezdem bez přehřevu základního materiálu. Tento způsob je rychlý, nevyžaduje zvláštní přípravu základního materiálu, ale díky vysoké tepelné vodivosti hliníku hrozí, že nedojde ke spojení svaru a základního materiálu, tedy dojde ke tvorbě studeného spoje. Další vadou může být neprovařený kořen, který u vysokocyklové námahy může působit jako iniciátor trhlin. Svařování proběhlo v ochranné atmosféře Ar70% + He30%. Před prováděním zkoušek byl výrobek, a tedy i posuzovaný svár, uskladněn v ochranném textilním obalu po dobu 18 měsíců, v nevytápěném prostoru.

### **Doplňný svár s přehřevem**

Svár byl proveden na vříznutém segmentu rámu v mezeře délky cca 50mm, mezi dvěma sousedícími sériovými sváry. Provedení svaru předcházelo přehřívání materiálu plamenem (Obr. 4.32). Pro přehřev byla použita směs propan-butanu a kyslíku. Teplota přehřevu byla 150°C. Svar byl proveden na původním svařeném dílu, aby byly podmínky co nejpodobnější svařování původního kusu a tím pádem bylo „bližší“ porovnávání. Svařování proběhlo v ochranné atmosféře Ar70% + He30%. Doplněný svár byl proveden 15 dnů před zkoušením. Do doby zkoušení byl vzorek uložen při pokojové teplotě.



Obr. 4.32 Přehřev plamenem

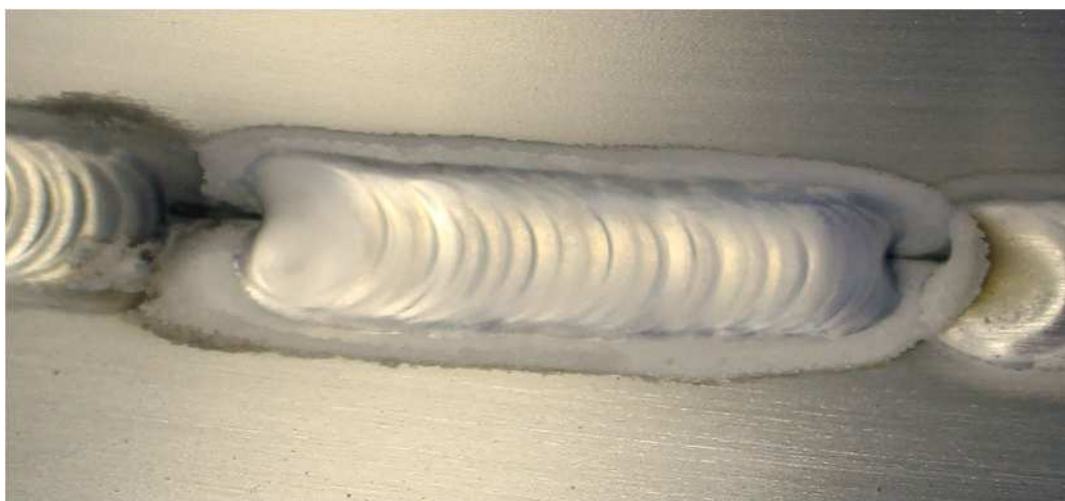
### Doplňný svár se 2 housenkami

Stejně jako v předchozím případě byl svár proveden na vříznutém segmentu rámu v mezeře délky cca 50mm, mezi dvěma sousedícími sériovými sváry. Svár byl realizován na dva průjezdy. Nejdříve byl proveden závar kořene (Obr. 4.33), který byl následně překryt druhou vrstvou (Obr. 4.34). Díky provaření kořene je u tohoto svaru očekávaná větší odolnost proti namáhání. Při tomto sváru nebyl základní materiál přehříván. Svařování proběhlo v ochranné atmosféře Ar70% + He30%. Doplněný svár byl proveden 15 dnů před provedením zkoušek, do té doby byl vzorek uložen při pokojové teplotě.

Při provádění doplňných svárů byl svářečem respektován požadavek na dodržení stejných podmínek jako při svařování sériovém, a rovněž požadavek na maximální snahu o zabránění povrchových změn materiálu na opačné straně svařovaného materiálu, a to i za cenu předpokládaného nedokonalého provaření kořene sváru. Povrch materiálu byl očištěn mechanicky smirkovým papírem a následně technickým benzínovým čističem, s ohledem na špatnou přístupnost koutu se však nepodařilo provést dokonalé vyčištění jako v případě sériové výroby. Tato skutečnost se projevila vytvořením tmavé stopy po okraji sváru při provaření kořene. Následně prováděnou druhou vrstvou byla tato nečistota z větší části odstraněna.



Obr. 4.33 Porovnání původního svaru a první vrstvy



Obr. 4.34 Svar z předchozího obrázku, po položení druhé vrstvy

Nečistoty usazené po okraji sváru byly po provedení druhé, krycí vrstvy mechanicky odstraněny suchou papírovou utěrkou. Použití organických rozpouštědel v tomto případě není vhodné, při čištění vznikají nevzhledné šmouhy.

Všechny vyhotovené vzorky jsou seřazeny v tabulce 4.31.

Tab 4.31 seznam hodnocených vzorků

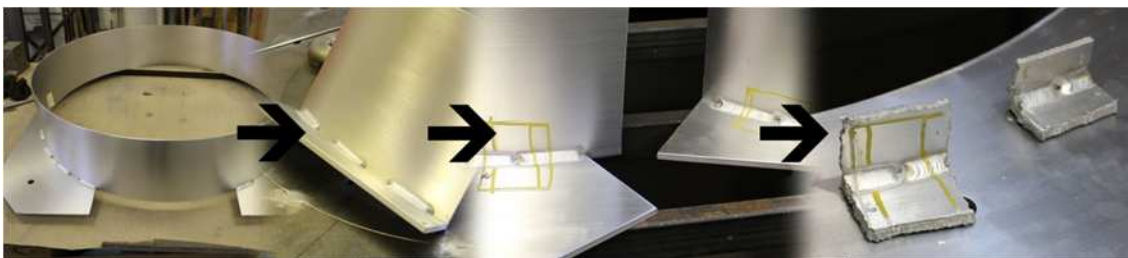
č. vzorku	Určeno pro zkoušku	Odebráno z	Základní popis
1	Makroskopickou	Rám transformátoru	koutový svar bez předeřevu
2			koutový svar bez předeřevu
3			koutový svar bez předeřevu
4			koutový svar bez předeřevu
5			doplňný jednovrstvý svar s předeřevem
6			doplňný dvojevrstvý svar bez předeřevu
7	Lámáním		sériově prováděný jednovrstvý svar bez předeřevu
8			sériově prováděný jednovrstvý svar bez předeřevu
9			doplňný jednovrstvý svar s předeřevem
10			doplňný dvojevrstvý svar bez předeřevu
11	Tahovou	Zkušební desky	Jednovrstvý svar bez předeřevu
12			Jednovrstvý svar s předeřevem
13			Trojevrstvý svar bez předeřevu

#### 4.4 Makroskopická kontrola dle ČSN EN ISO 17639 [12]

Tato mezinárodní norma poskytuje doporučení pro přípravu vzorku, zkušební postupy a jejich hlavní záměry při makroskopické a mikroskopické kontrole.

##### 4.4.1 Princip

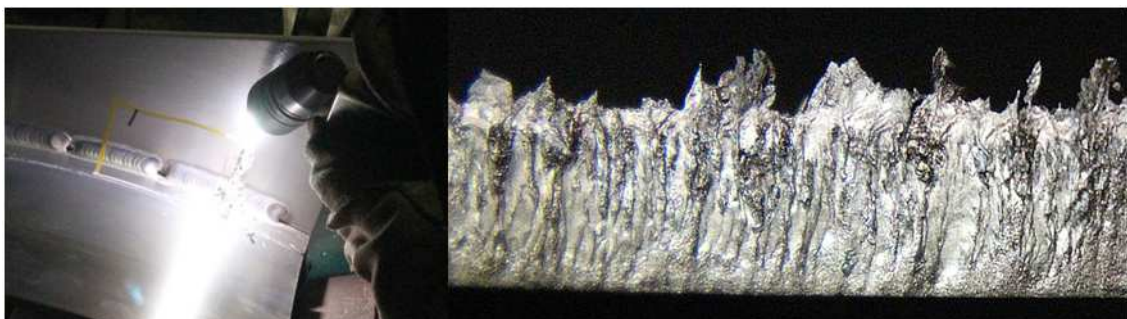
Cílem této metody je hodnocení struktury kovu, zkoumání hloubky průvaru a kontrola vzniku studených spojů. Vzhledem k tomu, že je k hodnocení této zkoušky potřeba pohled kolmo na svar v jeho řezu, je jasné, že se bude jednat o destruktivní metodu.



Obr. 4.41a Příprava vzorku

Pro tuto metodu je potřeba vzorek náležitě připravit (Obr 4.41a). Nejdříve byl celý kus rozřezán na několik segmentů kvůli lepší manipulaci. Dále se na určených místech vyznačily místa řezu.

Jednotlivé segmenty byly příliš rozměrné pro řezání na pásové nebo metalografické pile, proto musely být nařezány plazmovou řezačkou. Povrch (Obr 4.41b) vzniklý dělením proudem plazmatu není možné jakkoliv hodnotit, bylo tedy nutné zkoumané plochy dále upravit broušením. Vzorek uříznutý plazmou je ale pro broušení příliš členitý, bylo tedy nutné jej ještě jednou seříznout, nyní na metalografické pile. Vzorek se pevně uchytí rychloupínacím systémem a uzavře se bezpečnostním víkem. Pila není automaticky řízená, síla a posuv kotouče je určována obsluhou, je tedy nutné moc netlačit, aby nedošlo k rozlomení kotouče. Pila je vybaveny intenzivním vodním chlazením, tudíž nedochází k tepelnému ovlivnění vzorů vlivem vznikajícího tření.



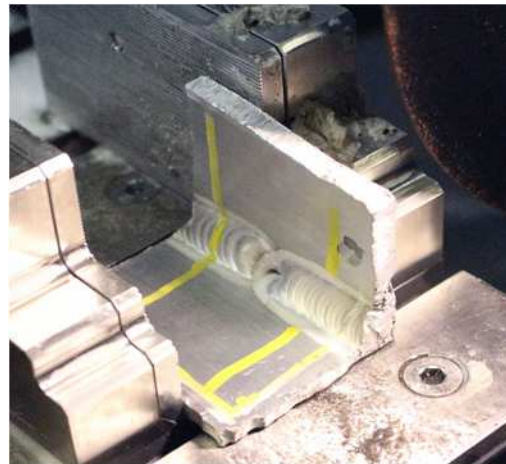
Obr. 4.41b řezání plazmovým hořákem, povrch vzorku po řezání

Po odříznutí hrubého povrchu metalografickou pilou (Obr. 4.41c) je možné vzorek brousit, a to jemným brusným papírem. K tomu, aby se docílilo dostatečně hladkého povrchu, který je možno vyhodnocovat pod mikroskopem je třeba



vybroušení na metalografické brusce (Obr 4.41d) kotoučem o vysoké jemnosti. Ta se udává v počtu zrn na čtvereční palec, tudíž čím větší číslo, tím je výsledný povrch hladší.

Magnetické kotouče jsou dále rozlišovány barvami. Pro makroskopickou zkoušku je potřeba jemnosti alespoň 600 (zrn na čtvereční palec). Jelikož by ale broušení tímto jediným papírem zabralo velké množství času, používají se nejdříve kotouče pro hrubé broušení a následně se dobrušuje povrch kotouči s vyšší jemností. V případě zkoumaného vzorku byly postupně použity kotouče barev hnědá ( $80 \div 100$ ), modrá ( $120 \div 180$ ), zelená ( $220 \div 320$ ) a žlutá (cca 600). Po každém broušení byl vzorek kontrolován pod mikroskopem, jestli nevznikly nějaké nechtěné škrábance. V případě, že by se tak stalo, je třeba se vrátit s broušením o několik stupňů zpátky



Obr. 4.41c Vzorek v metalografické pile



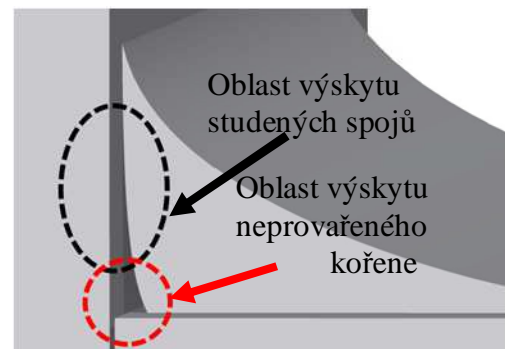
Obr. 4.41d Metalografická bruska [12]

(podle hloubky škrábance). Broušení na novém jemnějším kotouči se vždy provádí kolmo na poslední směr broušení. V momentě, kdy nejsou viditelné známky po broušení na předchozím kotouči a zůstávají stopy jen po aktuálním broušení, přechází se na jemnější kotouč. Dále byla možnost využití kotouče červené (1200) barvy, ten nakonec nebylo nutné použít, protože povrch měl dostatečnou kvalitu již po použití kotouče žlutého.

Po broušení je třeba zvýraznit oblast svaru a případné nehomogenity materiálu. K tomu bylo použito hydroxidu sodného. Až je vzorek naleptán, je potřeba jej dobře opláchnout lihem a poté osušit horkým vzduchem, aby nedocházelo k dalšímu leptání nebo oxidaci

#### 4.4.2 Vyhodnocení

Makroskopická kontrola se především zabývala hodnocením hloubky průvaru, tvorbou studeného spoje a neprovařeného kořene. Místa, která je nutno hodnotit nejpečlivěji, jsou vyznačena na obrázku 4.42.



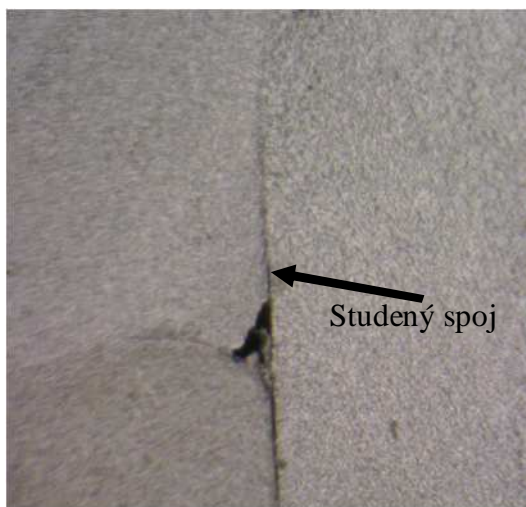
Obr. 4.42 Oblasti nejčastějších vad

- Vzorek 1

Vzorek: Rám - koutový svar bez předeřevu.



Obr 4.43a řez prvního svaru

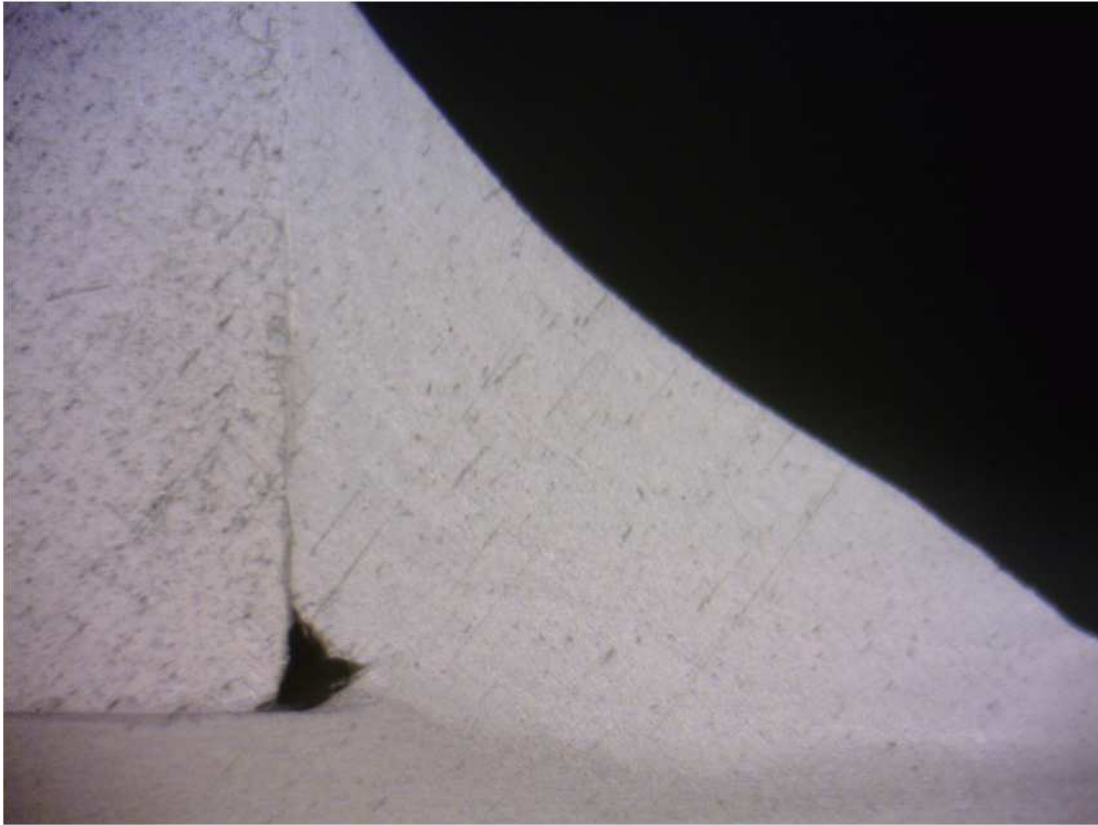


Obr 4.43b detail kořene prvního svaru

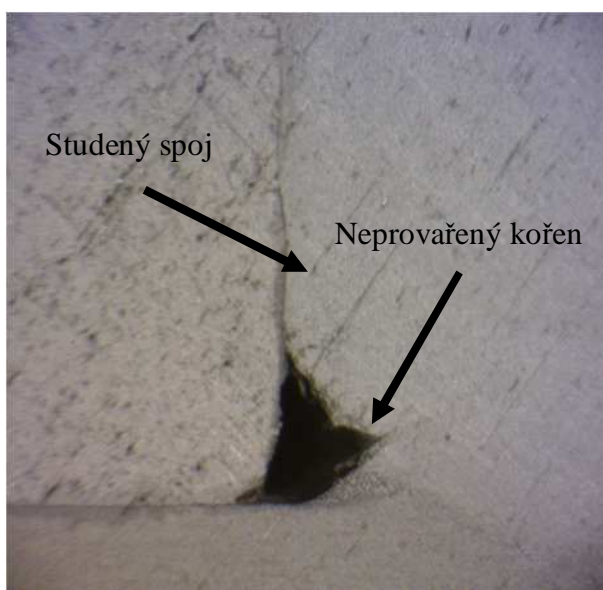
Na obrázku 4.43a je svar prováděný při sériové výrobě. Materiál svaru a základní materiál jsou provařeny kvalitně, v oblasti kořene svaru jsou však viditelný studený spoj. Kořen svaru (Obr. 4.43b) není dostatečně provařený. Plocha spoje mezi základním materiálem a přídavným materiálem je čistá bez usazenin. Kresba svaru také vyhovuje, stejně jako přechod mezi svarem a základním materiálem. Materiál svaru je bez vměstků a pórů. Studený spoj působí jako koncentrátor napětí a může způsobit lom svaru.

- Vzorek 2

Vzorek: Rám - koutový svar bez předeřevu.



Obr 4.44a řez prvního svaru



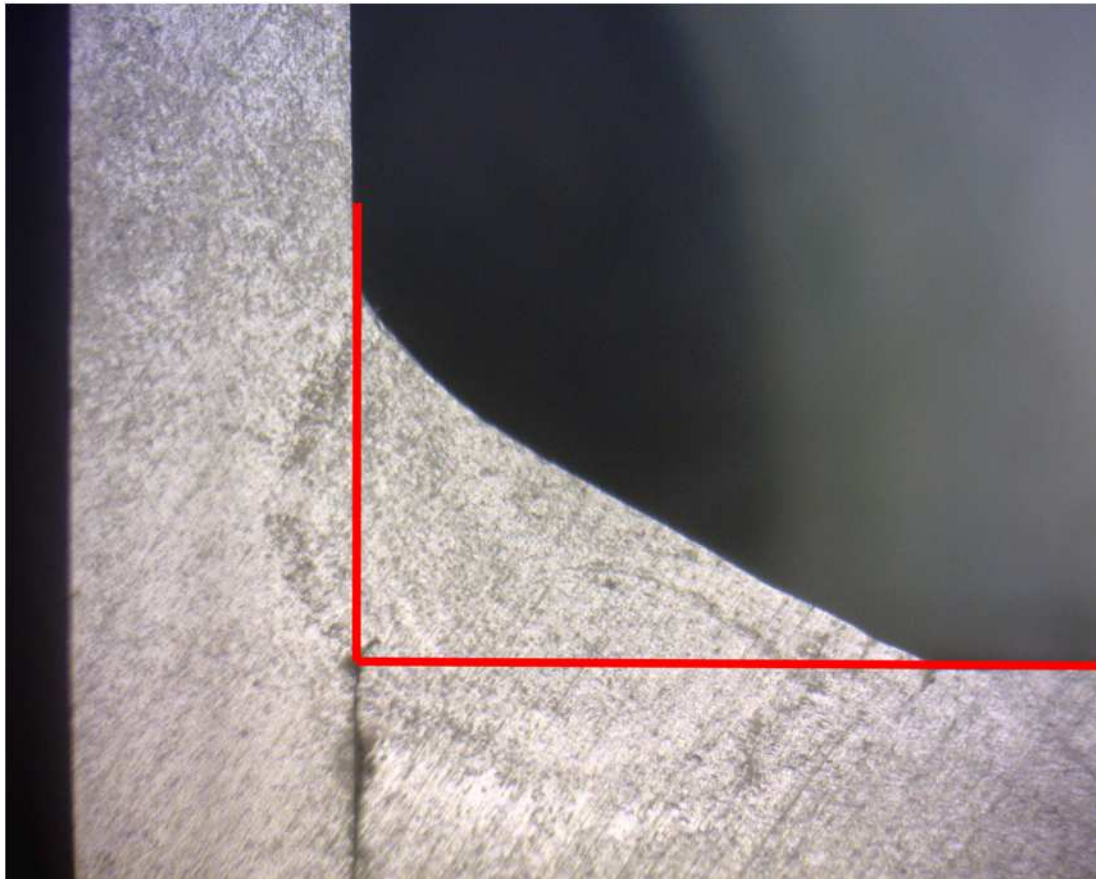
Obr 4.44b detail kořene prvního svaru

Na obrázku 4.44a je svar prováděný při sériové výrobě. Materiál svaru a základní materiál nejsou provařeny. n. Kořen svaru (Obr. 4.44b) je výrazně neprovařený. Zřetelný svislý studený spoj. Plocha spoje mezi základním materiálem a přídavným materiálem je čistá bez usazenin. Kresba svaru taktěž vyhovuje, stejně jako přechod mezi svarem a základním materiálem. Materiál svaru je bez vměstků a pórů. Studený spoj působí jako koncentrátor napětí a může způsobit lom svaru.



- Vzorek 3

Vzorek: Rám - koutový svar bez předeřevu.



Obr 4.45a řez prvního svaru

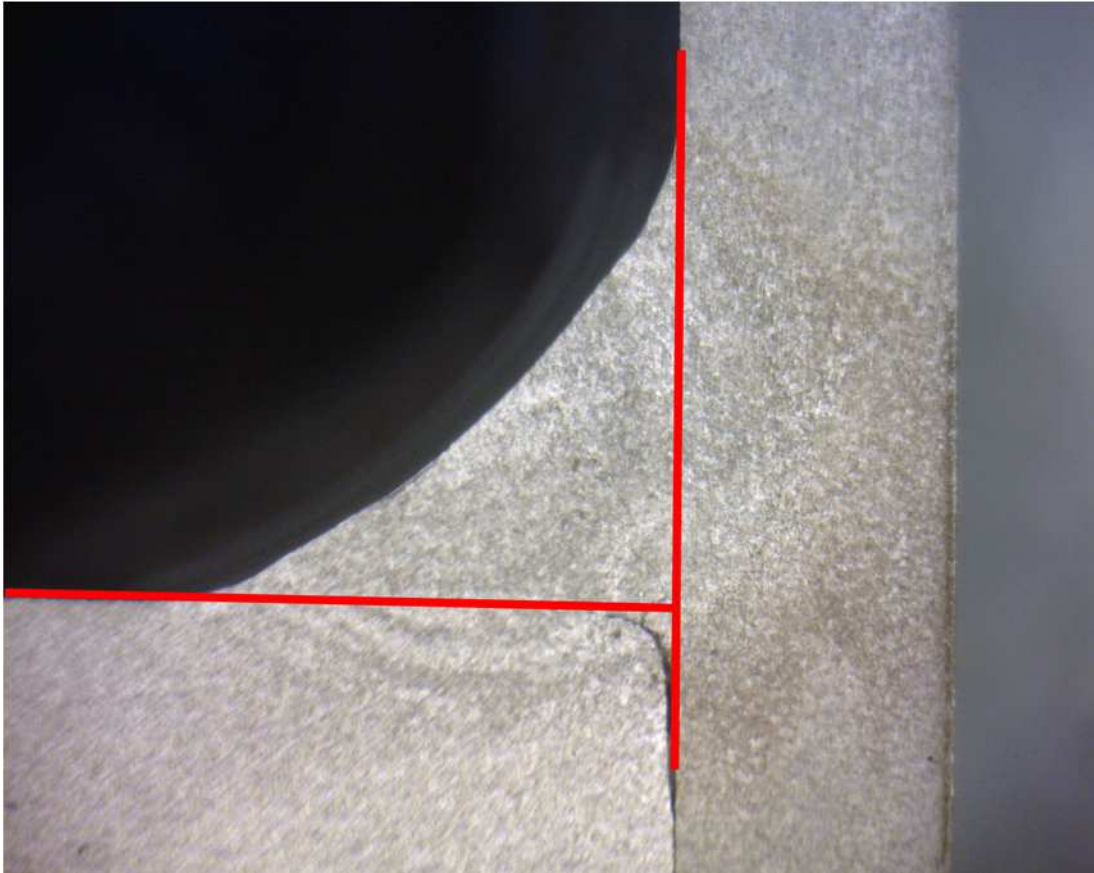


Obr 4.45b detail kořene svaru.

Na obrázku 4.45a je svar prováděný při sériové výrobě. Materiál svaru a základní materiál jsou provařeny kvalitně, nedošlo ke tvorbě studeného spoje. Kořen svaru (Obr. xx) není dostatečně provařený. Na konci spáry mezi stojnou a přírubou, v oblasti kořene svaru je patrná trhlina ve svarovém kovu.(obr 4.45b). Plocha spoje mezi základním materiálem a přídavným materiálem je čistá bez usazenin. Kresba svaru taktéž vyhovuje, stejně jako přechod mezi svarem a základním materiálem. Materiál svaru je bez vměstků a pórů.

- Vzorek 4

Vzorek: Rám - koutový svar bez předeřevu.



Obr 4.46a řez prvního svaru

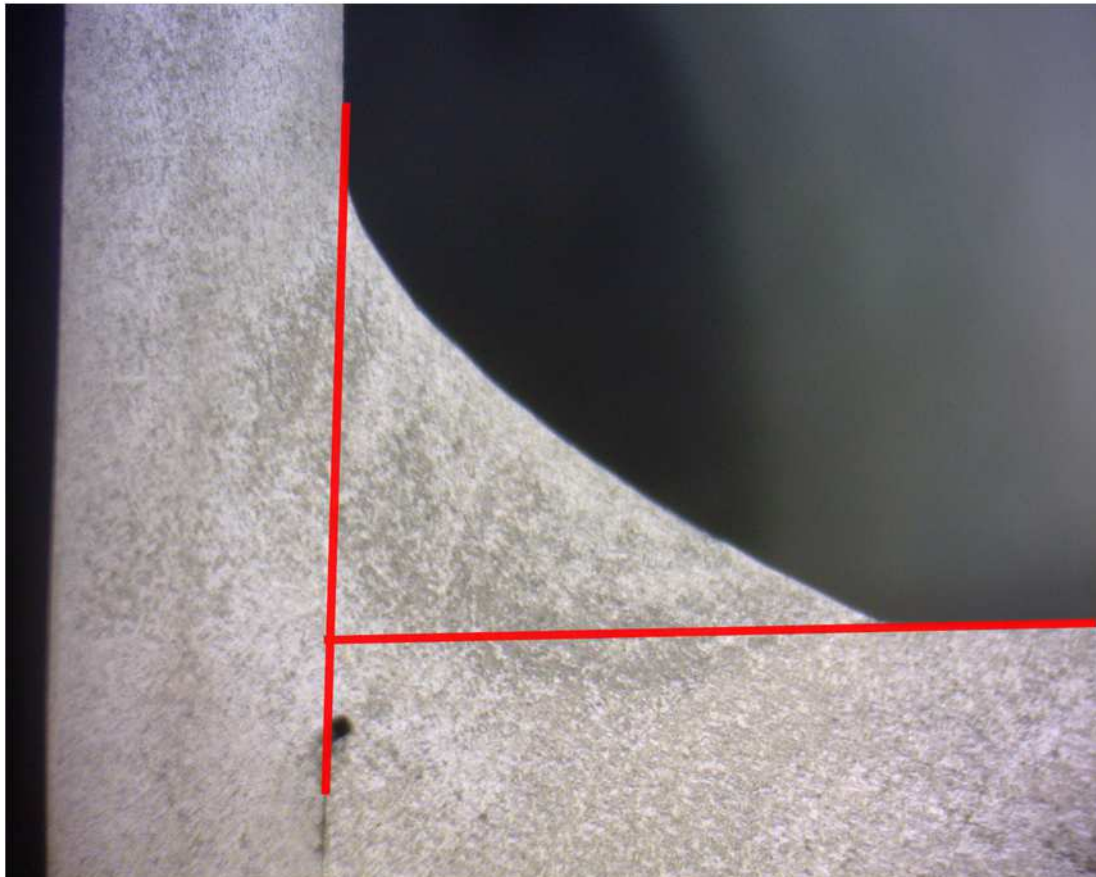


Obr 4.46b detail kořene prvního svaru.

Na obrázku 4.46a je svar prováděný při sériové výrobě. Jako u prvního vzorku jsou materiál svaru a základní materiál provařeny kvalitně, nedošlo ke tvorbě studeného spoje. Nejsou přítomny vměstky ani póry. Kořen svaru (Obr. 4.46b) není dostatečně provařený. Na konci spáry mezi stojnou a přírubou, v oblasti kořene svaru je patrná výrazná trhlinka mezi přírubou a svarovým kovem. Plocha spoje mezi základním materiálem a přídavným materiálem je čistá bez usazenin. Kresba svaru taktéž vyhovuje, stejně jako přechod mezi svarem a základním materiálem.

- Vzorek 5

Vzorek: Rám - doplněný jednovrstvý svar s předehřevem



Obr 4.47a řez prvního svaru



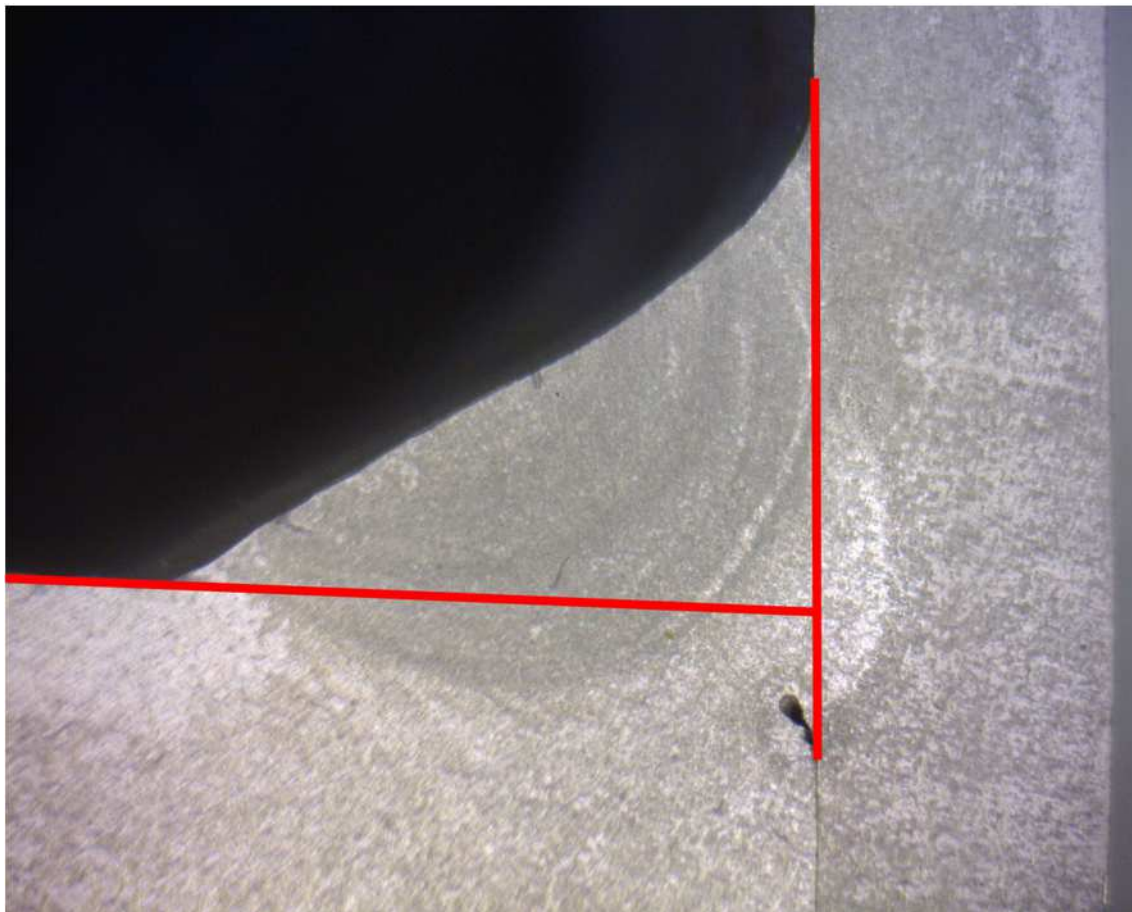
Obr 4.47b detail kořene prvního svaru.

Na obrázku 4.47a je doplněný svar s předehřevem. Materiál svaru a základní materiál jsou provařeny kvalitně, nedošlo ke tvorbě studeného spoje. Kořen svaru je dostatečně provařený. U kořene svaru (Obr. 4.47b) mezi plochami stojny a příruby je patrná bublina, která ovšem díky své poloze a kruhovému taru neovlivňuje odolnost svaru proti namáhání. Plocha spoje mezi základním materiálem a přídatným materiálem je čistá bez usazenin. Kresba svaru taktéž vyhovuje, stejně jako přechod mezi svarem a základním materiálem. Materiál svaru je bez vměstků a pórů.



- Vzorek 6

Vzorek: Rám - doplněný dvojrstvý svar bez předehřevu



Obr 4.48a řez prvního svaru



Obr 4.48b detail kořene prvního svaru.

Na obrázku 4.48a je doplněný dvojrstvý svar bez předehřevu. Materiál svaru a základní materiál jsou provařeny kvalitně, nedošlo ke tvorbě studeného spoje. Kořen svaru (Obr. 4.48b) je dostatečně provařený. U kořene svaru mezi plochami stojny a příruby je patrná bublina, která ovšem díky své poloze a tvaru neovlivňuje odolnost svaru proti namáhání. Plocha spoje mezi základním materiálem a přídavným materiálem je čistá bez usazenin. Kresba svaru taktéž vyhovuje, stejně jako přechod mezi svarem a základním materiálem. Materiál svaru je bez vměstků a pórů.

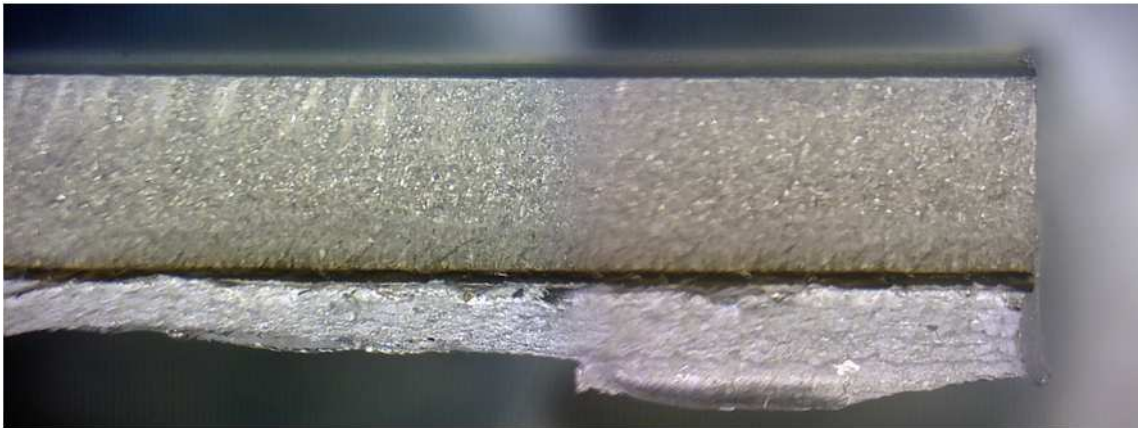
#### 4.5 Zkouška rozlomením dle ČSN EN ISO 9017 [6]

Tato mezinárodní norma stanovuje rozměry zkušební tyče a postup provádění zkoušek rozlomením tak, aby byly získány informace o typech, rozměrech a rozmístění vnitřních vad, jako jsou například dutiny, trhliny, studené spoje, neprůvody a pevné vměstky na ploše lomu

Tato mezinárodní norma platí pro kovové materiály všech tvarů výrobků se spoji, vyrobenými obloukovým svařováním s tloušťkou rovnou nebo větší než 2 mm.

- Vzorek 7 (Obr. 4.51)

Vzorek: Rám - sériově prováděný jednovrstvý svar bez předehřevu

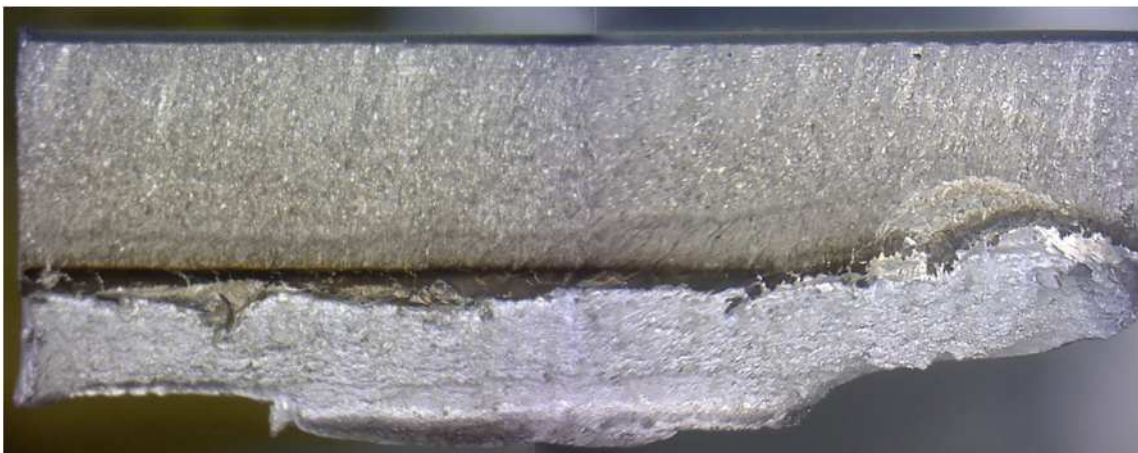


Obr. 4.51 Lomová plocha vzorku 7

Rovný okraj styku základního materiálu a svařového kovu značí, že nedošlo ani k natavení kořene. Vada je viditelná podél celého průběhu svaru, v budoucnu může být iniciátorem porušení svaru.

- Vzorek 8 (Obr. 4.52)

Vzorek: Rám - sériově prováděný jednovrstvý svar bez předehřevu



Obr. 4.52 Lomová plocha vzorku 8

Rovný okraj styku základního materiálu a svarového kovu značí, že nedošlo ani k natavení kořene. Patrný velký rozdíl mezi počátkem svaru na pravé straně a jeho zakončení na straně levé. Levá strana je bez provaření zatímco pravá strana jeví známky natavení základního materiálu v oblasti kořene.

- Vzorek 9 (Obr. 4.53)

Vzorek: Rám - doplněný jednovrstvý svar s předehřevem



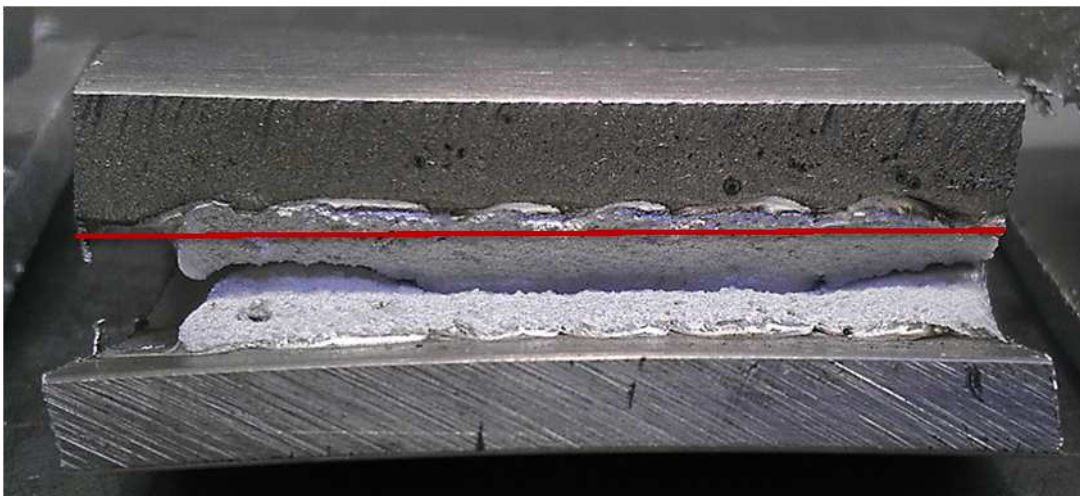
Obr. 4.53 Lomová plocha vzorku 9

Hrana svaru není rovná, v určitých místech jsou viditelné náznaky provaření kořene. Stále se však objevují místa bez průvaru.

- Vzorek 10

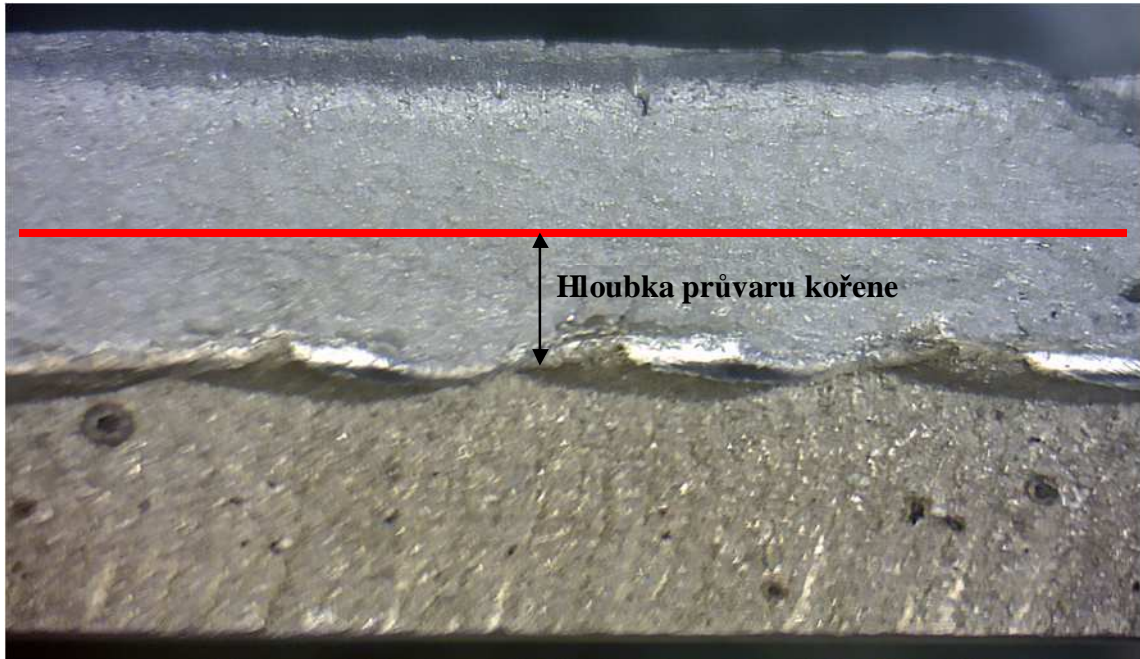
Vzorek: Rám - doplněný dvojitý svar vez předehřevem

Na obrázku 4.54a je vzorek po provedení zkoušky. V místě svaru je znatelné hluboké provaření kořene.



Obr 4.54a Vzorek 10 po provedení lomové zkoušky



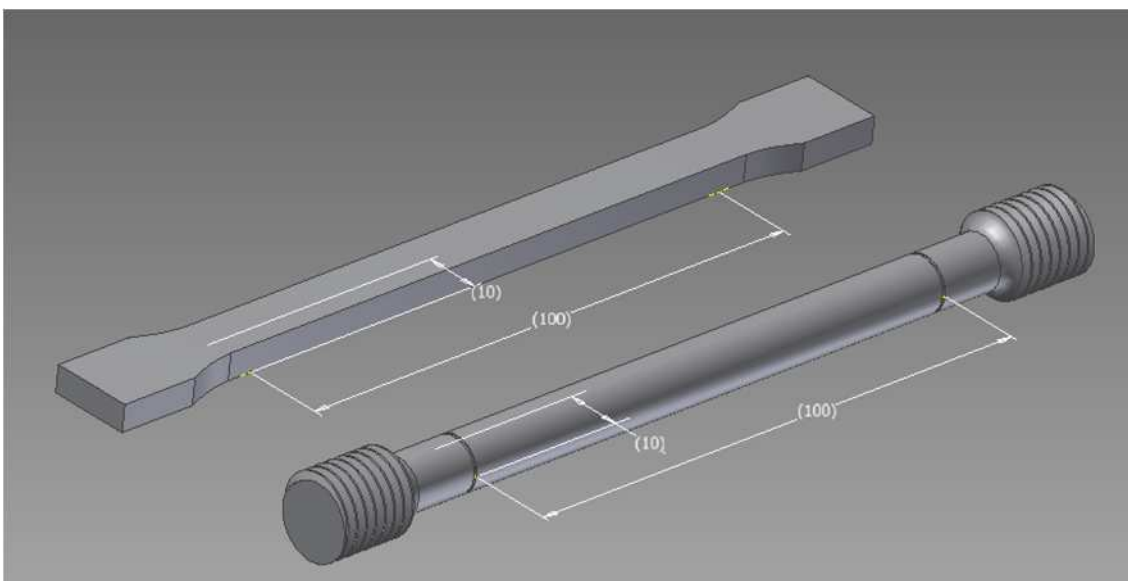


Obr. 4.54b Lomová plocha vzorku 10

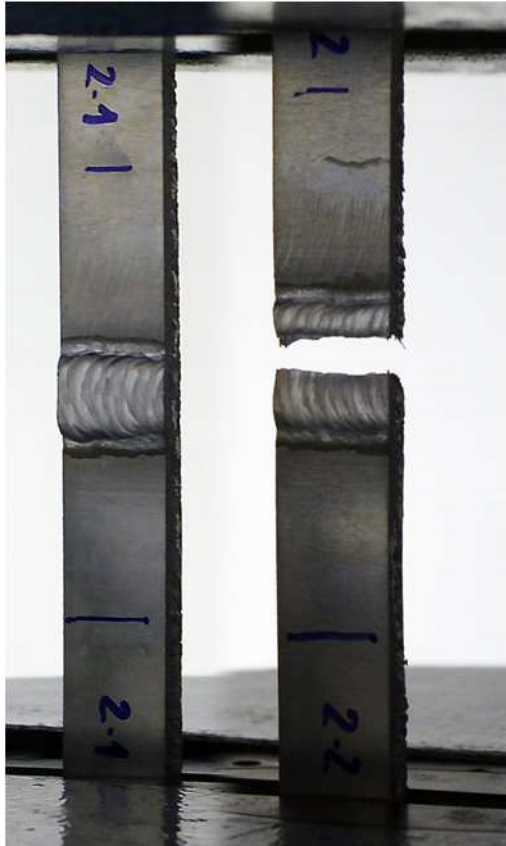
Detailní kolmý záběr na lomovou plochu (Obr. 4.54b). Červená čára značí místo původní hrany vzorku. Hloubka průvaru je tedy dostatečná. Póry ve svaru jsou vzniklé unikajícími parami při svařovacím procesu, díky svému oválnému tvaru nepůsobí jako koncentrátoři napětí.

#### 4.6 Zkouška tahem dle ČSN EN ISO 6892-1 [10] [5]

Tahová zkouška patří k nejzákladnějším zkouškám materiálu, které se v moderní době provádějí. Jde z ní získat základní charakteristiky materiálu jako mez kluzu, mez pevnosti, tažnost, kontrakce mez elasticity a další.



Obr 4.61 příklady zkušebních tyčinek



Obr 4.62 Vzorky lámací zkoušky

Zkouška spočívá v deformaci zkušební tělesa tahovým zatížením, obvykle do lomu, za účelem stanovení jedné nebo více mechanických vlastností v normě definovaných.

#### 4.6.1 Princip tahové zkoušky

Vzorek pro tahovou zkoušku je upraven do tvaru zkušební tyčinky o normovaných rozměrech a tvaru. Nejčastěji se používají kulaté a ploché zkušební tyčinky (obr 4.61). Tyto tyčinky se vloží do trhacího stroje, kde jsou namáhány na tah, dokud nedojde k porušení (obr 4.62 v pravo). Po porušení se změří prodloužení a rozměr v místě vytvořeného krčku.

K provedení experimentu byly vytvořeny nové vzorky o rozměrech 300x300mm, ze dvou desek svařených natupo. Vzorky s koutovým svarem nejsou pro tuto zkoušku vhodné a vypovídající. Byly vytvořeny celkem tři zkušební vzorky, každý se svary o

jiných parametrech. Ze vzorků byly plazmovou řezačkou vyřezány zkušební tyčinky. Všechny zkoušky byly prováděny na hydraulickém zkušebním stroji ZD40 (příloha 1).

Na základě zadaných vstupních parametrů posuzovaného materiálu si zkušební stroj automaticky určí základní nastavení pro zkoušku. Tyto parametry jsou ovlivňovány především předpokládanou mezí kluzu a rozměry zkušební tyčinky.

V první části nabíhá zatěžování zvýšenou rychlostí (označeno na začátku každého grafu). Poté se rychlost zatěžování sníží na 250MPa/min. Ta se nemění až do konce měření. Bezprostředně po přetržení tyčinky se zkoumá poloha místa porušení (ve svaru, mimo svar) a lomová plocha. Pokud je lomové místo mimo svar, znamená to, že je dobře provedený a vykazuje větší pevnost, než základní materiál. V případě vzorku porušeného ve svaru se jedná o nedokonale provedený svar, nebo jsou mechanické vlastnosti přídatného materiálu horší, než materiálu základního.

Výsledkem tahové zkoušky je seznam aktuálních hodnot polohy, času, síly a napětí pro konkrétní vzorek.



Z těchto hodnot je poté možno dopočítat:

- Poměrnou deformaci  $\varepsilon$

$$\varepsilon = \frac{l}{l_0} \quad (4.61)$$

kde:  $l$ ...dráha [mm]

$l_0$ ...počáteční délka vzorku [mm]

- Logaritmickou deformaci  $\varphi$

$$\varphi = \ln(1 + \varepsilon) \quad (4.62)$$

Z těchto hodnot jsou poté vykresleny grafy průběhu síly na dráze a napětí na deformaci. Tyto grafy nám poté umožňují odečíst hodnoty meze kluzu a meze pevnosti.

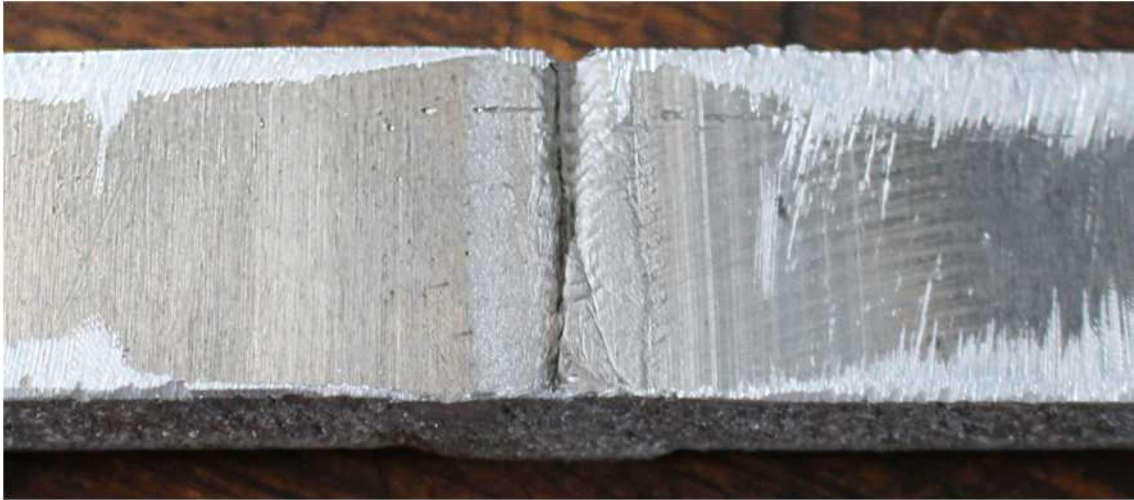
#### 4.6.2 Hodnocení zkušebních vzorků při tahové zkoušce

- Vzorek 11

První svar (Obr. 4.63a) byl proveden spojením dvou 6mm tlustých desek z hliníkové slitiny o rozměrech 300x300 mm, který byl následně rozřezán plazmovou řezačkou na zkušební tyčinky. Tento svar byl vyhotoven bez předchozího upravování na jeden průjezd. Vzhledem k velké šířce svaru byl volen kývavý pohyb svařování.



Obr. 4.63a Kresba housenky svaru vzorku 11



Obr 4.63b Vrub u kořene svaru na vzorku 11

Na obrázku 4.63b je viditelný hluboký vrub v místě kořene svaru, který působí jako koncentrátor napětí a tím značně ovlivňuje výsledky zkoušky.



Obr 4.63c Lomová plocha vzorku 11

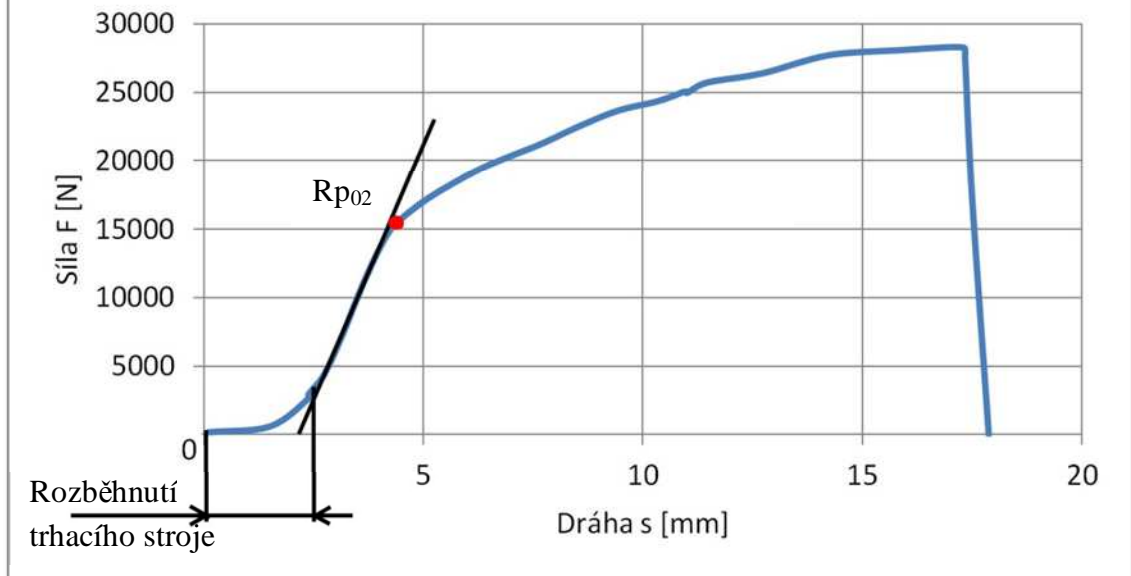
Průběh sil měření byl zaznamenáván až do okamžiku lomu, který nastal ve svarovém kovu. (Obr. 4.63c). Na lomové ploše je vidět, že porušení nastalo v oslabeném místě svaru, projevil se tedy účinek vrubu. Lom je křehký bez vměstků a bublin.

Průběh zkoušky byl vykreslen v do grafu 4.61a, a po dopočítání deformace byl zhotoven graf 4.61b

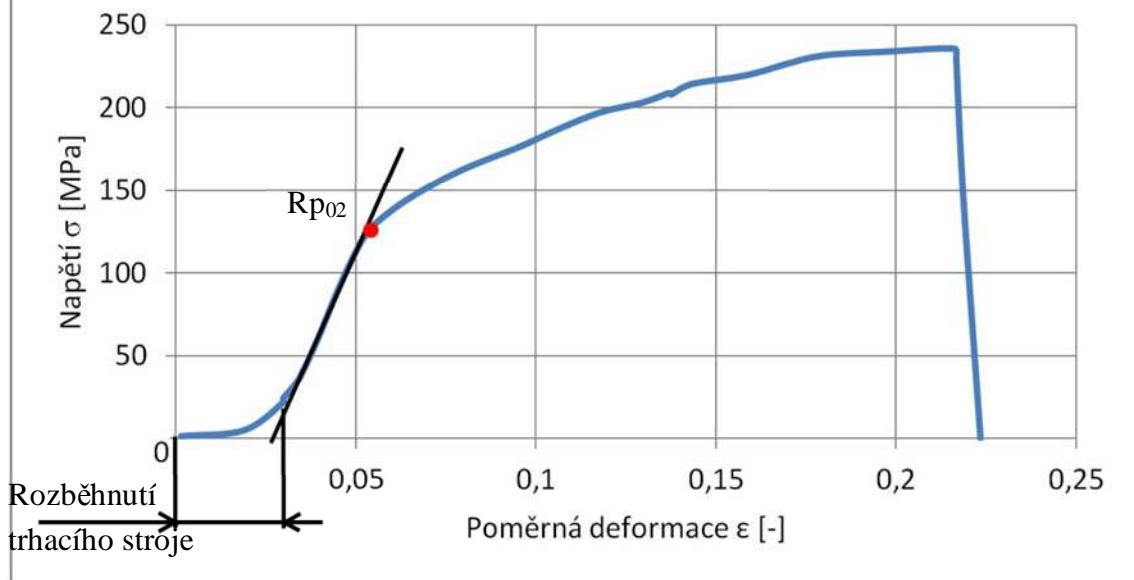
Odečtené hodnoty jsou uvedeny v tabulce 4.61

Tab. 4.61 Získané hodnoty pro vzorek 11

Č. vz.	a [mm]	b [mm]	S <sub>0</sub> [mm <sup>2</sup> ]	F <sub>max</sub> [kN]	R <sub>p02</sub> [MPa]	R <sub>m</sub> [MPa]	A [%]	t [s]	V <sub>t</sub> [mm/min]	V <sub>t1</sub> [MPa/s]
1	6	20,3	121,8	28,3	130,1	232,4	7,5	56,8	3,84	2,95

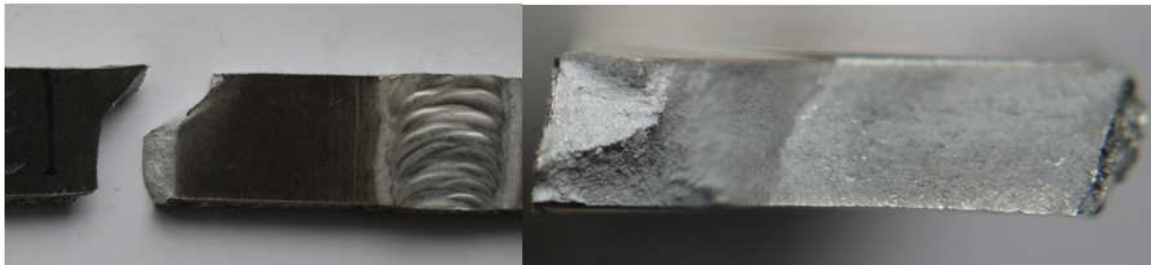
**Vzorek 11: Závislost síly na dráze**

Graf 4.61a závislost síly na dráze vzorku 11

**Vzorek 11: Závislost napětí na deformaci**

Graf 4.61b závislost napětí na deformaci vzorku 11

- Vzorek 12

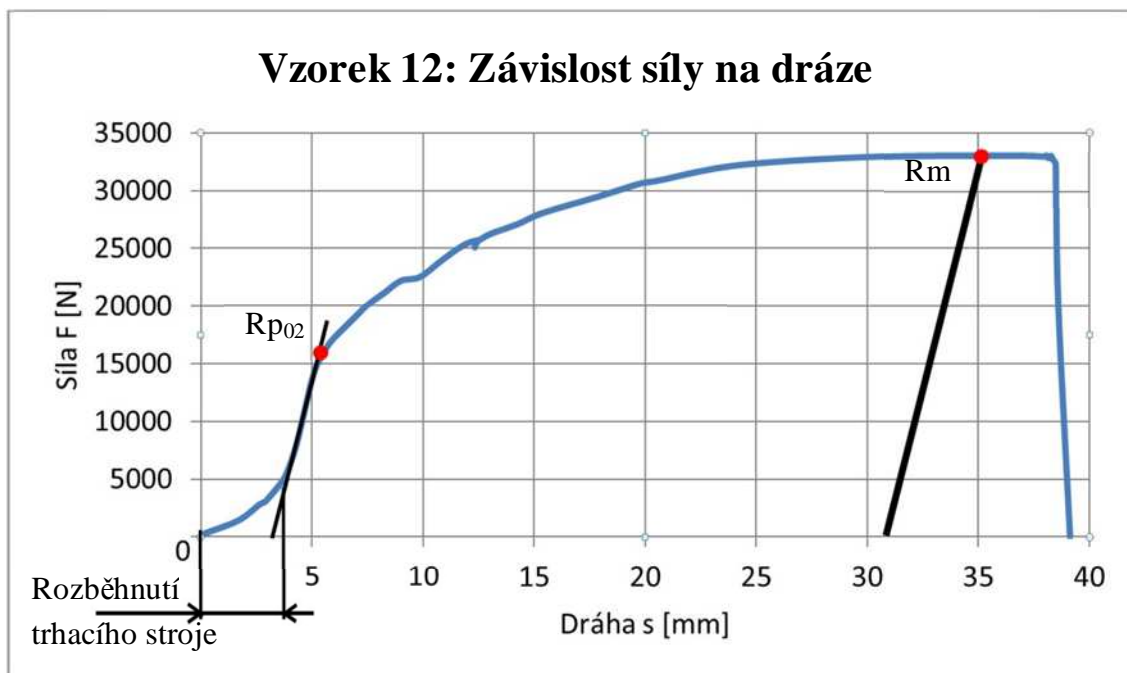


Obr. 4.64 Místo lomu a lomová plocha vzorku 12

U vzorku (Obr. 4.64) bylo místo porušení mimo svar, ležel však v místě mezi ryskami. Je tedy možno hodnotit i další materiálové charakteristiky jako mez pevnosti materiálu a tažnost. Lomová plocha byla smykového charakteru bez vměstků či zřetelného vnějšího vrubového zatížení.

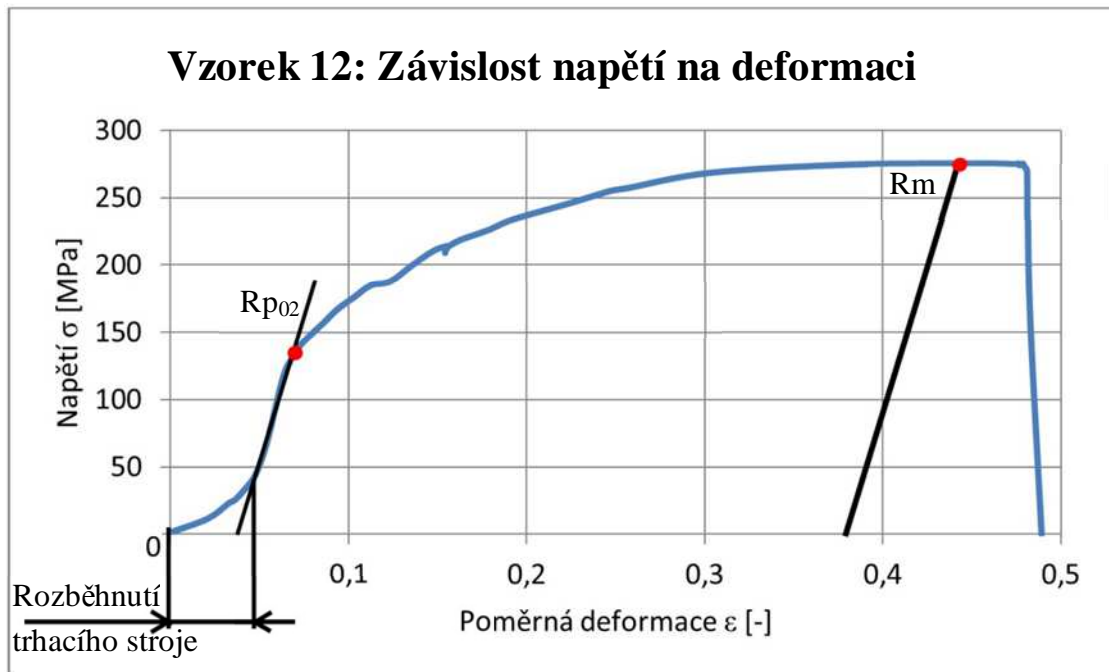
Tab. 4.62 Získané hodnoty pro vzorek 12

Č. vz.	a [mm]	b [mm]	S <sub>0</sub> [mm <sup>2</sup> ]	F <sub>max</sub> [kN]	R <sub>p02</sub> [MPa]	R <sub>m</sub> [MPa]	A [%]	t [s]	V <sub>t</sub> [mm/min]	V <sub>t1</sub> [MPa/s]
2	6	20,6	123,6	34,8	133,2	274	15	66,9	3,71	3



Graf 4.62a závislost síly na dráze vzorku 2

Ze změřených hodnot byl sestrojen graf 4.62 a byla dopočítána poměrná deformace, která byla vynesena do grafu 4.62. Odečtené hodnoty jsou zaznamenány v tabulce 4.62.



Graf 4.62b závislost napětí na deformaci vzorku 2

- Vzorek 13



Obr. 4.65a Jednotlivé průřezy u třívrstvého svaru

Vzorek 13 byl zhotoven na tři průřezy (Obr. 4.65a). U vzorku byl opět výrazný vrub v oblasti kořene (Obr 4.45b).





Obr 4.65b Vrub u kořene svaru vzorku 13

Stejně jako v případě vzorku č.11, i zde nastal lom (Obr. 4.65c) v oblasti tohoto vrubu (Obr 4.65b). Plocha byla téměř bez vad, vyskytoval se jen jeden pór v levé části svaru.

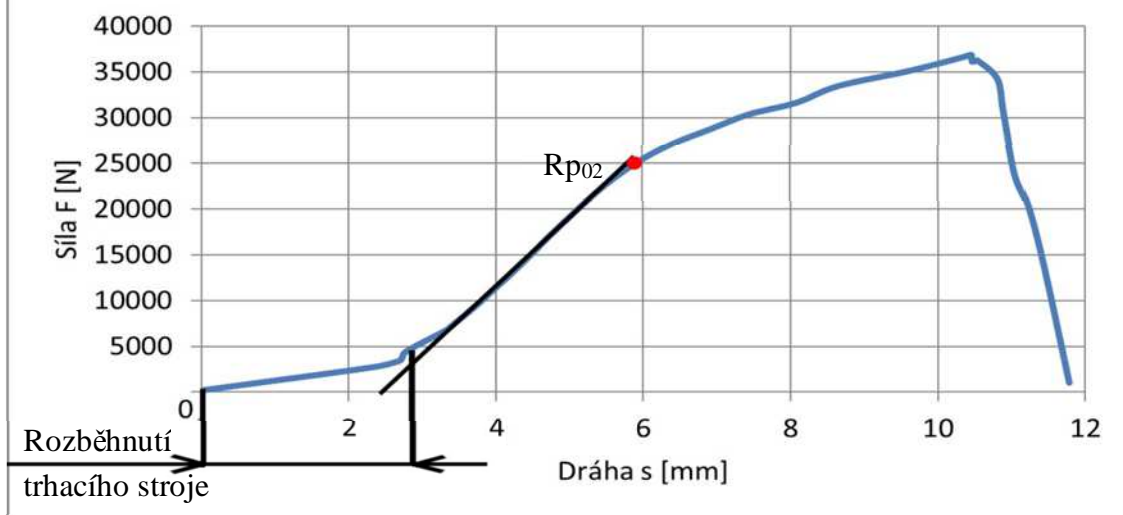


Obr 4.65c Lomová plocha vzorku 13

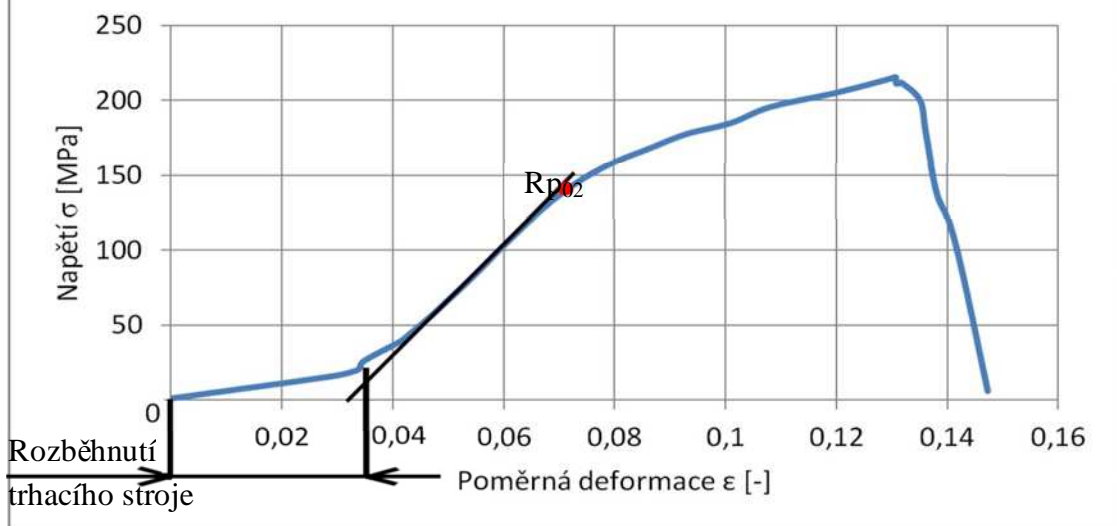
Závislosti síly na dráze a napětí na vypočítané deformaci jsou vykresleny v grafech 4.63a, 4.63b. Následné odečtení materiálových charakteristik je uvedeno v tabulce 4.63.

Tab. 4.63 Získané hodnoty pro vzorek 13

Č. vz.	a [mm]	b [mm]	S <sub>0</sub> [mm <sup>2</sup> ]	F <sub>max</sub> [kN]	R <sub>p02</sub> [MPa]	R <sub>m</sub> [MPa]	A [%]	t [s]	V <sub>t</sub> [mm/min]	V <sub>t1</sub> [MPa/s]
3	8,3	21,5	178,5	36,89	145,4	218,6	5	50	5,67	4,34

**Vzorek 13: Závislost síly na dráze**

Graf 4.63a závislost síly na dráze vzorku 13

**Vzorek 13: Závislost napětí na deformaci**

Graf 4.63b závislost napětí na deformaci vzorku 13

## 5 TECHNICKO-EKONOMICKÉ HODNOCENÍ [1]

Technicko ekonomické hodnocení je zaměřeno na posouzení sériově vyráběných koutových svarů a svarů dodatečně provedených. Zkouškami bylo prokázáno, že z technického hlediska jsou sériově vyráběné svary nevyhovující pro nedokonalé provaření kořene a výskyt studených spojů, zatímco dodatečně prováděné svary byly vyhodnoceny jako vyhovující.

Ekonomické porovnání sériových a dodatečně zhotovených svarů vychází z materiálové, časové a energetické náročnosti.

Výpočty

- Náklady na plyn pro předehřev součásti  $N_p$

$$N_p = m_p \cdot c_p$$

$$N_p = 0,04 \cdot 35 = 1,4 \text{Kč}$$

kde:  $m_p$  ...hmotnost použitého plynu [g]

$c_p$ ...Cena plynu [Kč/g]

hmotnost plynu 0,04kg na předehřev byla určena experimentálně

- Náklady na ochranný plyn pro jeden průchod  $N_o$

$$N_o = t \cdot c_o$$

$$N_o = 2 \cdot 6,8 = 13,6 \text{ Kč}$$

kde:  $t$ ...doba svařování [min]

$c_o$ ... cena ochranného plynu [kč/min]

Spotřeba plynu byla stanovena experimentálně

- Cena elektrické energie na jeden průjezd  $N_E$

$$N_E = P \cdot t \cdot c_e$$

$$N_E = 5,5 \cdot \frac{2}{60} \cdot 3 = 0,55 \text{ Kč}$$

kde:  $P$  ...Příkon svářečky [kW]

$t$ ...doba svařování [h]

$c_e$ ...cena elektřiny [kč/kWh]



- Firemní náklady na minutu prací  $N_f$

$$N_f = N_h \cdot t$$

$$N_f = 400 \cdot \frac{1}{60} = 6,66 \text{ Kč/min}$$

kde:  $N_h$ ...Firemní hodinová sazba [Kč/hod]

(Údaje poskytnuty výrobcem vzorků)

Tab. 5.1 Rozdíly cen pro jednotlivé metody svařování

Položka \ Typ svaru	Sériový	Předehřev 1 vrstva	2 vrstvy
Cena plynu na předehřev [Kč]	0	1,4	0
Cena ochranného plynu [Kč]	13,6	13,6	27,3
Cena za energii [Kč]	0,55	0,55	1,1
Režijní náklady [Kč]	13,33	23,31	26,66
Celkem [Kč]	27,48	38,86	55,06

## 6 SHRNU TÍ VÝSLEDKŮ EXPERIMENTŮ

V rámci této diplomové práce byly provedeny 3 typy zkoušek svarů hliníkové slitiny AlMg4,5Mn (AW 5083). Jednalo se o zkoušku tahem, rozlomením a makroskopickou. Posuzován byl vzorek sériově vyráběného rámu (zkouška makroskopická a lomem) a speciálně připravené vzorky z natupo svařených desek (zkouška tahová).

V rámci makroskopické zkoušky bylo hodnoceno 6 vzorků, z toho 4 vzorky pocházely ze sériové výroby. Cílem zkoušky bylo hodnocení kvality svarů z hlediska výskytu studených spojů, kvality provaření kořene a celkové struktury svaru. Z posuzovaných vzorků byly vyhovující, a to vzorek svařovaný jednovrstvý s předehřevem a dvouvrstvý bez předehřevu. U těchto svarů byla všechna hodnocená kritéria v pořádku. Nevyhovující byly naopak všechny sériově prováděné svary, u kterých bylo zjištěno nedostatečné provaření kořene a v některých případech studený spoj mezi základním a přídatným materiálem.

Zkouška lomem se zaměřila na hodnocení kvality provedení hmoty a kořene svaru. Cílem zkoušky bylo zjistit průběh hloubky a kvality průvaru kořene v podélné ose svaru. Hodnoceny byly celkem 4 vzorky koutových svarů. Zkouškou bylo zjištěno, že vyhovující jsou vzorky jednovrstvého svaru s předehřevem a dvouvrstvého svaru bez předehřevu, u kterých bylo zjištěno dostatečné provaření kořene. Sériově vyráběné jednovrstvé svary bez předehřevu měly kořen svaru neprovařený a proto je lze považovat za nevyhovující.

Mechanické vlastnosti svaru byly posuzovány zkouškou tahem. Pro tahovou zkoušku byly 3 vzorky svarů a to jednovrstvý bez předehřevu, jednovrstvý s předehřevem a třívrstvý bez předehřevu. Cílem zkoušky bylo ověření pevnosti svaru. Vzorky byly zatěžovány tahovou silou až mez porušení. Z hodnocených vzorků došlo u jednoho k porušení v základním materiálu, u ostatních ve hmotě přídatného materiálu.

Kvalita koutových svarů na posuzovaných vzorcích byla hodnocená makroskopickou a lomovou zkouškou. Výsledkem je zjištění, že sériově prováděné svary nejsou z hlediska provaření kořene a výskytu studených spojů vyhovující. Dodatečně provedené svary (jednovrstvý s předehřevem a dvouvrstvý bez předehřevu) jsou z těchto hledisek vyhovující. V této souvislosti je třeba uvést, že sériové svary jsou výrobcem prováděny s vědomím uvedených nedostatků. Důvodem nedostatečného provaření kořene je požadavek na bezchybný vzhled vnitřní, pohledové strany dílu. Trhací zkouška prokázala u dvou ze tří sníženou pevnost ve svaru. Tato skutečnost byla způsobena výrazným vrubem v oblasti kořene svaru. U vzorku bez vrubu došlo k porušení materiálu mimo svar. Svar lze tedy považovat za vyhovující.

Z ekonomického hlediska bylo provedeno vzájemné porovnání posuzovaných svarů podle spotřeby el. energie, spotřeby plynů a režijních nákladů. Spotřeba PM nebyla při hodnocení brána v úvahu, protože je u všech tří metod stejná. Náklady na provedení svarů (bez uvažování ceny materiálu) jsou:

- Sériový svar jednovrstvý bez předehřevu 27,5Kč
- jednovrstvý s předehřevem 38,9Kč
- dvouvrstvý bez předehřevu 55Kč.

Sériově prováděný svar jednovrstvý bez předehřevu je tedy ekonomicky nejvýhodnější (o 50% proti dvouvrstvému svaru a o 30% proti jednovrstvému svaru s předehřevem).

## 7 ZÁVĚRY

Shrnutím výsledků mechanických zkoušek a ekonomického hodnocení nejlépe vychází svar jednovrstvý s předehřevem, který dosahuje vyhovujících výsledků při všech provedených zkouškách při 30% cenovém nárůstu. Dvouvrstvý svar bez předehřevu rovněž vyhověl při všech zkouškách, cenový nárůst proti nejlevnějšímu sériovému svaru byl však 50%, poměr cena/výkon byl tedy výrazně horší. Sériově prováděný svar jednovrstvý bez předehřevu nevyhověl z hlediska provaření kořene a vzniku studených spojů.

Po posouzení výše uvedených výsledků doporučuji pro svařování rámu použít předehřev základního materiálu. S ohledem na požadavky kladené na vzhled výrobku je však důležité nejen aby byl kořen svaru řádně provařen, ale současně nedošlo k zbarvení či deformaci vnitřní pohledové plochy výrobku. Teplotu předehřevu (dobu prohřívání) je nutno stanovit experimentálně.

**SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ [3], [9]**

1. AIR PRODUCTS. *Ceník*. Praha, 2014, 1 s. Dostupné také z: <http://www.airproducts.cz/~media/Files/PDF/products/cs-CZ-Cenik.pdf>
2. BALEJ, Zdeněk. *Svařování výrobků z hliníku a jeho slitin* [Prezentace]. 2009 [cit. 2015-05-28]
3. Citace. [online]. [cit. 2013-05-22]. Dostupné z: <http://generator.citace.com/>
4. CWS ANB: Typy vad, příčiny jejich vzniku a hodnocení. BARTÁK, Jiří. Česká svářečská společnost ANB: Czech welding society ANB [online]. Plzeň: škola welding, 2012 [cit. 2015-05-15]. Dostupné z: <http://www.cws-anb.cz/t.py?t=2&i=384>
5. Česká technická norma: *Svařování - Doporučení pro svařování kovových materiálů - Obloukové svařování hliníku a slitin hliníku*. Praha: český normalizační institut, 2002.
6. *Destruktivní zkoušky svarů kovových materiálů: Zkouška rozlomením*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2014, 16 s.
7. HAVELKA, Pavel (ed.). Automig: internetový magazín. *Historie svařování* [online]. [cit. 2015-05-30]. Dostupné z: <http://automig.cz/o-svarovani/metody/vice-o-metodach-svarovani/>
8. KANDUS, Bohumil a Jaroslav KUBÍČEK. *Technologie svařování a zařízení: učební texty pro kurzy svářečských inženýrů a technologů*. 1. vyd. Ostrava: Zeross, 2001, 395 s. Svařování. ISBN 80-857-7181-0.
9. KRATOCHVÍL Jiří; . *Jak citovat* [online prezentace]. Brno : Knihovna univerzitního kampusu, MU, [cit. 2015-05-28]. Dostupný z WWW: <<https://kuk.muni.cz/vyuka/materialy/citace.php> >.
10. *Lomy po statickém namáhání v tahu* [online]. 2010 [cit. 2015-05-30]. Dostupné také z: [www.ateam.zcu.cz/download/lomy\\_po\\_stat\\_tahu09\\_10.pdf](http://www.ateam.zcu.cz/download/lomy_po_stat_tahu09_10.pdf)
11. LOUDA, P. *Hliník a jeho slitiny* [Prezentace]. 2005 [cit. 2015-05-28]
12. Semiconductor Equipment Solutions: Used Semiconductor Inspection & Fab Equipment For Sale. *Semiconductor Equipment Solutions* [online]. 2015 [cit. 2015-05-30]. Dostupné z: <http://www.metlabsolutions.com/semicon.html>
13. SONDEL, Martin. *Hliník a slitiny hliníku* [Prezentace]. 2007 [cit. 2015-05-28]
14. Svarinfo.cz: Magazín praktického svařování. In: *Polohy svařování* [online]. 2008 [cit. 2015-05-30]. Dostupné z: [http://www.svarbazar.cz/phprs/zobrobr.php?image=./image/polohy/svar\\_polohy1.jpg&popis=Polohy%20sva%F8ov%E1n%ED](http://www.svarbazar.cz/phprs/zobrobr.php?image=./image/polohy/svar_polohy1.jpg&popis=Polohy%20sva%F8ov%E1n%ED).

15. Svarinfo.cz: Magazín praktického svařování. In: *TIG svařování II - AC nebo DC?* [online]. 2009 [cit. 2015-05-30]. Dostupné z:  
<http://www.svarbazar.cz/phprs/view.php?cislocclanku=2008122801>
16. Vířivý proud. *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2014 [cit. 2015-05-30]. Dostupné z:  
[http://cs.wikipedia.org/wiki/Vířivý\\_proud](http://cs.wikipedia.org/wiki/Vířivý_proud)
17. ZMYDLENÝ, Tomáš. *Hliník a slitiny hliníku* [Prezentace]. 2003 [cit. 2015-05-28]

**SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ**

<b>Zkratka/Symbol</b>	<b>Jednotka</b>	<b>Popis</b>
A	%	Tažnost
F <sub>max</sub>	N	maximální zatěžovací síla
N <sub>E</sub>	Kč	Cena elektrické energie na jeden průjezd
N <sub>f</sub>	Kč/min	Firemní náklady na minutu prací
N <sub>h</sub>	Kč/hod	Firemní hodinová sazba
N <sub>o</sub>	Kč	Náklady na ochranný plyn pro jeden průchod
N <sub>p</sub>	Kč	Náklady na plyn pro předehřev součásti
P	kW	Příkon svářečky
PM	-	Přídavný materiál
R <sub>m</sub>	MPa	Mez pevnosti
R <sub>p02</sub>	MPa	Smluvní mez kluzu
S <sub>0</sub>	mm <sup>2</sup>	Počáteční průřez tyče
V <sub>t</sub>	mm.min <sup>-1</sup>	Rychlost beranu hydraulického lisu
V <sub>t1</sub>	MPa.s <sup>-1</sup>	Rychlost zatěžování
ZM	-	Základní materiál
a	mm	tloušťka tyče
b	mm	šířka tyče
c <sub>e</sub>	Kč/kWh	cena elektřiny
c <sub>o</sub>	Kč/min	cena ochranného plynu
c <sub>p</sub>	Kč/g	Cena plynu
l	mm	délka tyče
l <sub>0</sub>	mm	původní délka tyče
m <sub>p</sub>	g	hmotnost použitého plynu
t	s	čas
ε	-	Poměrná deformace
φ	-	Logaritmická deformace
MAG	-	Metal Active Gas
MIG	-	Metal Inert gas
TIG	-	Tungsten inert gas
TOO	-	Tepelně ovlivněná oblast
WIG	-	Wolfram Inert Gas

## **SEZNAM PŘÍLOH**

Příloha 1 – Technické parametry trhačského stroje ZD40

Příloha 2 – Inspekční certifikát Hliníkové slitiny EN AW-5083

Příloha 3 – Přídavný materiál OK\_TIGROD\_5356

## Příloha 1 - Technické parametry trhačích strojů ZD40

### Příloha č.1 Hydraulický zkušební stroj ZD40 /400kN/

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 univerzálních 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



Příloha 2 - Inspekční certifikát Hliníkové slitiny EN AW-5083 1/2



**Abnahmeprüfzeugnis 3.1 (EN 10204)**  
**Inspection certificate - mill certificate**

**Nr.: 85215306**      **01 / 1**  
**Rev.: 0**

Seite / page: 1 von / of 2  
 Datum / date: 2014 02 25

Zertifiziert nach / certified to ISO 9001, ISO/TS 16949, EN/AS 9100, ISO 14001, NADCAP

<b>Auftraggeber / customer:</b>	Bestell Nr. / order no.:	OMZ14/00288
	Datum / date:	2014 01 05
<b>Warenempfänger / consignee:</b>	Auftragsbest. Nr. / order confirm no.:	670715
	Datum / date:	2014 02 05
	Lieferschein Nr. / delivery note:	85215306
	Datum / date:	2014 02 26

<b>Produkt / product</b>	<b>Bedingungen / terms</b>
Form / form: Sheet Werkstoff / material: EN AW-5083 Zustand / temper: H111 Dim. / dim.: [mm]: 6,00x1250,0x2500,0	Technische Lieferbedingungen / techn. spec.: EN 485-2 : 2008 EN 485-3 : 2003 EN 573-3 : 2003 EN 602 : 2004  Sondervorschrift / special terms:

AB-Pos. ord.-item.	BNr/Los/Teillos Lot/No./Part	Guss Nr. cast no.	Werkstoff material	Kollo packno.	Gewicht netto weight net	Stk. pcs.
01	19797/02/00	01/0060574/3	EN AW-5083	6707150001	1000 kg	20

Chemische Zusammensetzung ([%] Gewichtsanteile) / Chemical composition ([%] weight proportion (OES))											
Guss Nr. / cast no.	material	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	Ti	Others Each	Others Total
01/0060574/3	EN AW-5083										
	spec. min.	-	-	-	0,40	4,0	0,05	-	-	-	-
	spec. max.	0,40	0,40	0,10	1,0	4,9	0,25	0,25	0,15	0,05	0,15
	actual	0,17	0,29	0,04	0,62	4,7	0,10	0,04	0,02	0,02	0,04

Zugprüfung LT / tensile test LT							
BNr/Los Lot/No.	Zustand temper	Richtung direction		Rm [MPa]	Rp0.2 [MPa]	A50 [%]	
			spec.min.	275	125	15	
			spec.max.	350	-	-	
19797/02	H111	LT		307	153	24	

Sonstige Prüfungen / other tests
Maßkontrolle: OK. / Dimensional Check: OK. Oberfläche: OK. / Surface inspection: OK.

Příloha 2 - Inspekční certifikát Hliníkové slitiny EN AW-5083 2/2



**Abnahmeprüfzeugnis 3.1 (EN 10204)**  
**Inspection certificate - mill certificate**

**Nr.: 85215306**      **01 / 1**  
**Rev.: 0**

Seite / page: 2 von / of 2

Datum / date: 2014 02 25

Zertifiziert nach / certified to ISO 9001, ISO/TS 16949, ENIAS 9100, ISO 14001, NADCAP

**Bemerkungen / notes**

**CE**

Verwendung für Tragwerksanwendungen nach DIN EN 15088, Klasse I.

CPD Nr.: 0036-CPR-M-46-2011

Überprüft nach Verordnung (EU) 305/2011 durch die benannte Stelle:

TÜV SÜD Industrie Service GmbH

Leistungsnummer: EN AW-5083 H111

Kennnummer: 0036

/

structural application in aluminium alloys according to DIN EN 15088, class I

CPD Nr.: 0036-CPR-M-46-2011

according to the construction products regulation (EU) 305 / 2011 by the notified body:

TÜV SÜD Industrie Service GmbH

Declaration of performance: EN AW-5083 H111

ID-Number: 0036

Es wird bestätigt, dass die Lieferung geprüft wurde und den Vereinbarungen bei der Bestellung entspricht.

We hereby certify that the material described above has been tested and complies with the terms of the order contract.

**Werkstoffverständiger / factory specialist**

**E-Mail / e-mail**

Josef Klampfer

josef.klampfer@amag.at

Herstellerland: Österreich / goods origin: The goods are of Austrian origin.

Maschinell erstellt - Gültig ohne Unterschrift / Automated - valid without being signed.

## Příloha 3 - Přídavný materiál OK\_TIGROD\_5356



# OK TIGROD 5356

(OK TIGROD 18.15)

SFA/AWS A 5.10:R5356  
EN ISO 18273 S Al 5356  
(AlMg5Cr(A))

### Použití:

Drát typu AlMg5 pro svařování hliníkových slitin s obsahem hořčíku do 5%. Částečně vhodný pro svařování slitin odolných proti mořské vodě. Předehřev 150 - 200°C.

### Vhodnost pro svařování, např.:

AlMg1 až AlMg5, AlMg4,5Mn, AlMgSi1, AlZn4,5Mg1 a jiné.

### Klasifikace, certifikace:

CE EN 13479  
DB 61.039.02  
TÜV 04665  
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	5,0

### Jiné údaje:

W.Nr. 3.3556

**C**

### Typické mechanické hodnoty čistého svarového kovu:

Podmínky	Plyn	R <sub>m</sub> MPa	R <sub>p02</sub> MPa	A <sub>5</sub> %
EN	I1	265	120	26

### Balení:

Ø (mm)	délka (mm)	balení	hmotnost (kg)
1,6	1000	R120	2,5
2,0	1000	R120	2,5
2,4	1000	R120	2,5
3,2	1000	R120	2,5
4,0	1000	R120	2,5