



Vliv vytvrzovacích podmínek na změny mechanických vlastností svarů u slitiny AW 6005

Bakalářská práce

Studijní program: B2301 – Strojní inženýrství
Studijní obor: 2301R000 – Strojní inženýrství
Autor práce: **Martin Kubín**
Vedoucí práce: Ing. Iva Nováková, Ph.D.





Zadání bakalářské práce

Vliv vytvrzovacích podmínek na změny mechanických vlastností svarů u slitiny AW 6005

Jméno a příjmení: **Martin Kubín**
Osobní číslo: S15000104
Studijní program: B2301 Strojní inženýrství
Studijní obor: Strojní inženýrství
Zadávací katedra: Katedra strojírenské technologie
Akademický rok: **2018/2019**

Zásady pro vypracování:

1. Seznamte se teoreticky s metodami využitelnými při svařování hliníku a jeho slitin.
2. Proveďte rešerši současného stavu znalostí o svařování a využitelnosti tvářených vytvrzitelných slitin Al.
3. Proveďte svařovací experimenty vícevrstvého svaru na slitině hliníku skupiny AW 6005.
4. Vyhodnoťte geometrii svarové lázně vícevrstvého svaru.
5. Změny mechanických vlastností v základním materiálu, TOO a svarovém kovu vyhodnoťte pomocí měření tvrdosti.
6. Proveďte experimenty tepelného zpracování po svařování a výsledky vyhodnoťte.
7. Zhodnoťte dosažené výsledky a formulujte dílčí závěry.

Rozsah grafických prací: tabulky, grafy
Rozsah pracovní zprávy: cca 30
Forma zpracování práce: tištěná/elektronická



Seznam odborné literatury:

- [1] ROUČKA, J. *Metalurgie neželezných kovů* [skripta]. Akademické nakladatelství Cerm, Brno, 2004.
- [2] MICHNA, Š. et al. *Encyklopedie hliníku*. 1. vyd., Prešov 2005.
- [3] MORAVEC, J. *Teorie svařování a pájení II – Speciální metody svařování*. Liberec:TUL, 2009. ISBN 978-80-7372-439-9.
- [4] AWS Welding Handbook: *Welding Science and Technology*. 9th Ed., Vol. 1, 2001.
- [5] Kolektiv autorů. *Technologie svařování a zařízení*. ISBN 80-85771-81-0. ZEROSS.
- [6] Kolektiv autorů. *Materiály a jejich svařitelnost*. ISBN 80-85771-63-2. ZEROSS.
- [7] Mezinárodní normy.

Vedoucí práce: Ing. Iva Nováková, Ph.D.
Katedra strojírenské technologie
Konzultant práce: doc. Ing. Jaromír Moravec, Ph.D.
Katedra strojírenské technologie
Datum zadání práce: 31. října 2018
Předpokládaný termín odevzdání: 30. dubna 2020

prof. Dr. Ing. Petr Lenfeld
děkan

V Liberci 1. listopadu 2018



doc. Ing. Jaromír Moravec, Ph.D.
vedoucí katedry

Prohlášení

Byl jsem seznámen s tím, že na mou bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, zejména § 60 – školní dílo.

Beru na vědomí, že Technická univerzita v Liberci (TUL) nezasahuje do mých autorských práv užitím mé bakalářské práce pro vnitřní potřebu TUL.

Užiji-li bakalářskou práci nebo poskytnu-li licenci k jejímu využití, jsem si vědom povinnosti informovat o této skutečnosti TUL; v tomto případě má TUL právo ode mne požadovat úhradu nákladů, které vynaložila na vytvoření díla, až do jejich skutečné výše.

Bakalářskou práci jsem vypracoval samostatně s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím mé bakalářské práce a konzultantem.

Současně čestně prohlašuji, že texty tištěné verze práce a elektronické verze práce vložené do IS STAG se shodují.

21. 6. 2019

Martin Kubín

Abstrakt

Tato bakalářská práce se zabývá vlivem vytvrzovacích podmínek na změny mechanických vlastností svarů hliníkové slitiny AW 6005. Hliníkové slitiny jsou velmi často využívány jako konstrukční materiál, především díky jejich měrné hmotnosti, dostupnosti, dobrým mechanickým vlastnostem a odolnosti vůči korozi.

Práce je rozdělena na teoretickou a praktickou část. V teoretické části jsou popsány hliníkové slitiny a základní metody jejich svařování. Dále je zde popsáno tepelné zpracování vytvrditelných slitin hliníku.

Cílem experimentální části bylo zjistit jaký vliv má svařování a následné tepelné zpracování na mechanické vlastnosti svarů slitiny AW 6005. Nejprve byly navrženy vhodné parametry pro svaření dvouvrstvého svaru a následně vyhodnocen vliv svařovacího procesu na změny mechanických vlastností v tepelně ovlivněné oblasti. V poslední části experimentu byl vyhodnocen vliv umělého stárnutí na změnu vlastností ve svarovém kovu, v tepelně ovlivněné oblasti a v základním materiálu. Vyhodnocení mechanických vlastností bylo provedeno pomocí měření tvrdosti.

Klíčová slova

Slitina AW 6005, svařování, TOO, měření tvrdosti, vytvrzování.

Abstract

The presented bachelor thesis deals with the influence of heat treatment conditions on changes in mechanical properties of welds of aluminium alloy AW 6005. Aluminium alloys are very often used as construction material, mainly due to their low density, availability, good mechanical properties and corrosion resistance.

The thesis is divided into theoretical and practical part. In the theoretical section, there are described aluminium alloys and basic methods of its welding. The additional information about heat treatment processes of heat-treatable aluminium alloys is introduced in detail.

The aim of the experimental part was to discover the influence of welding and heat treatment on mechanical properties of the aluminium alloy AW 6005 welds. First, suitable parameters for welding a two-layer weld were proposed and subsequently evaluated the influence of welding processes on changes in mechanical properties in the heat affected zone. In the last part of the experiment was evaluated the impact of artificial aging on the mechanical properties changes in the weld area, heat affected zone and in the base material. The results of mechanical properties were performed by measuring the hardness.

Key words

Alloy AW 6005, welding, HAZ, hardness measurements, heat treatment.

Poděkování

Tímto bych chtěl poděkovat vedoucí mé bakalářské práce Ing. Ivě Novákové, Ph.D., za odborné vedení, ochotu a trpělivost, za poskytnutí cenných rad a věcných připomínek při zpracování. Dále bych chtěl poděkovat všem pedagogům a ostatním lidem, kteří mi pomohli při tvorbě této práce.

Obsah

Seznam symbolů a zkratk	10
1. Úvod.....	11
2. Teoretická část	12
2.1 Hliník a jeho slitiny	12
2.1.1 Slévárenské slitiny.....	13
2.1.2 Slitiny určené k tváření.....	14
2.2 Tepelné zpracování vytvrditelných slitin hliníku.....	15
2.2.1 Rozpouštěcí žhání.....	16
2.2.2 Rychlé ochlazení	16
2.2.3 Precipitační vytvrzování	16
2.3 Svařitelnost hliníkových slitin.....	18
2.3.1 Velká afinita hliníku ke kyslíku	19
2.3.2 Tepelná roztažnost a vznik trhlin	20
2.3.3 Citlivost slitin hliníku na ohřev	21
2.4 Základní metody svařování hliníku.....	22
2.4.1 Metoda MIG	22
2.4.2 Metoda WIG	23
2.4.3 Svařování elektronovým paprskem	24
2.4.4 Svařování laserem	25
2.4.5 Friction Stir Welding	26
3. Experimentální část.....	27
3.1 Základní materiál	27
3.2 Svařovací experimenty.....	28
3.2.1 Vlastní realizace zkušebních svarů.....	29
3.3 Vliv svařovacích procesů na tvrdost základního materiálu.....	33
3.3.1 Postup měření tvrdosti	33

3.3.2 Vyhodnocení měření po svaření	35
3.4 Vliv tepelného zpracování na změnu tvrdosti	36
4. Diskuze výsledků	42
5. Závěr	45
6. Použitá literatura	45

Seznam symbolů a zkratk

Al ₂ O ₃	Oxid hlinitý
WIG	Metoda svařování netavící se elektrodou v ochranné atmosféře
MIG	Metoda svařování tavící se elektrodou v ochranné atmosféře
ČSN	Česká státní norma
EN	Evropská norma
ISO	International Organization for standardization
AW 6005	Vytvrditelná slitina hliníku
AlMgSi	Označení slitiny hliníku
TOO	Tepelně ovlivněná oblast
FSW	Friction stir welding
R _{p0,2}	Smluvní mez kluzu [MPa]
R _m	Mez pevnosti [MPa]
PA	Metoda svařování vodorovná shora
HV 5	Tvrdost podle Vickerse
RŽ	Rozpouštěcí žihání
TZ	Tepelné zpracování

1. Úvod

Hliník a jeho slitiny nabízejí nízkou měrnou hmotnost společně s dobrými pevnostními charakteristikami. Hliníkové materiály se stále častěji využívají v automobilovém a leteckém průmyslu právě za účelem redukce hmotnosti konstrukce. V ochranné atmosféře se dobře svařují, mají dobrou tepelnou a elektrickou vodivost. K nedostatkům slitin hliníku patří jejich nízká tvrdost, což znamená snadné poškození povrchu. [1]

Výroba hliníku a jeho slitin trvale vykazuje větší roční přírůstky, než je běžné u ostatních kovů. Stejně tak v posledních letech neustále vzrůstá i význam slitin hliníku jako konstrukčního materiálu. Největšího zastoupení ve využití hliníkových slitin za rok 2017 zastává odvětví dopravy a stavebnictví dohromady až 52 % z celosvětového využití, dále 14 % zastupuje odvětví elektrotechniky a 10 % výroba strojů a zařízení. [3]

Při výrobě konstrukčních celků z hliníkových slitin se stále častěji využívají vytvrditelné slitiny. Jejich následným technologickým zpracováním může dojít k poklesu mechanických vlastností, zejména při aplikaci teplotních cyklů při svařování. Zde dochází k velmi intenzivnímu poklesu mechanických vlastností v tepelně ovlivněné oblasti (nadále jen TOO).

Cílem této práce je posoudit vliv svařování na degradaci mechanických vlastností v TOO svarů u materiálu AW 6005 a posoudit možnosti využití tepelného zpracování k minimalizaci těchto účinků.

2. Teoretická část

2.1 Hliník a jeho slitiny

Hliník je dnes jedním z nejvyužívanějších kovů v technické výrobě. Jeho vysoké využití je především díky výhodné kombinaci fyzikálních, mechanických, chemických i technologických vlastností. Podle posledních výzkumů je v zemské kůře zastoupení hliníku okolo 8 %. Díky jeho velké reaktivitě se v přírodě vyskytuje pouze ve sloučeninách. Nejvýznamnější rudou, ze které se hliník vyrábí je bauxit. K výrobě jedné tuny hliníku se spotřebují asi 4 tuny bauxitu. Získává se elektrolytickým rozkladem roztoku oxidu hlinitého v roztavených fluoridech. Získaný hliník má vysokou čistotu až 99,9 %.

Hliník je velmi lehký, tvrdý, lesklý, nezelezný kov šedé barvy. V tab. 1 jsou uvedeny jeho vybrané fyzikální vlastnosti. Krystalizuje do kubické plošně centrované mřížky. Jeho teplota tání je přibližně 660 °C. Velkou výhodou hliníku je vynikající elektrická a tepelná vodivost. Mezi další výhody také patří dobrá odolnost vůči korozi a povětrnostním podmínkám, která je zajištěna vznikem povrchové vrstvy, kterou tvoří hliník společně s kyslíkem Al_2O_3 . Za normální teploty je tloušťka oxidické vrstvy na povrchu součásti 10 nm, která se v případě porušení sama obnoví. [1,2,5]

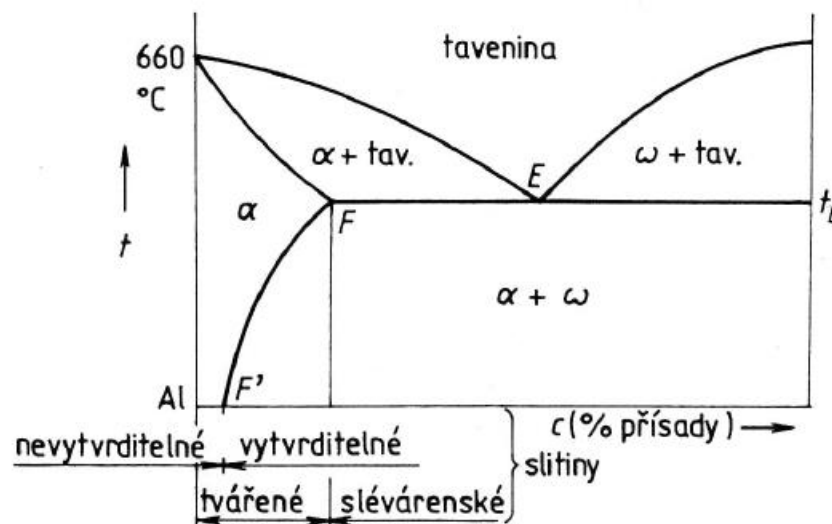
Tab. 1 Vybrané fyzikální vlastnosti hliníku [5]

Vlastnost	Hodnota
Atomové číslo	13
Relativní atomová hmotnost	26,982
Krystalová mřížka	FCC
Parametr mřížky	0,404958 nm
Hustota	2,699 g/mm ³ (při 20°C)
Bod tání	660,4°C
Teplota varu	2494°C
Tepelná vodivost	247 W.m ⁻¹ (při 25°C)

Čistý hliník je jako konstrukční materiál prakticky nepoužitelný, proto se v technické praxi využívají výhradně slitiny hliníku, které mají lepší mechanické vlastnosti. Tyto slitiny obsahují přísadové prvky, které mají vliv na výsledné materiálové vlastnosti. Hlavní přísadové prvky jsou rozhodující pro určení vlastností slitiny. Jejich obsah bývá druhý nejvyšší po základním prvku. Slitiny hliníku dále obsahují i vedlejší přísadové prvky, které kladně ovlivňují některé vlastnosti, např. mechanické vlastnosti, obrobitelnost, důležité

z hlediska tepelného zpracování. Vedlejších prvků může být ve slitině současně několik. Do některých slitin se úmyslně přidávají i takové prvky, které se u jiných slitin považují za nečistoty. [5,6]

Základní rozdělení slitin hliníku z hlediska jejich vhodnosti ke tváření, slévání a tepelnému zpracování vytvrzováním ukazuje rovnovážný diagram viz obr.1.



Obr. 1 Obecný rovnovážný binární diagram slitiny hliníku [6]

Podle schopnosti tepelného vytvrzování jsou rozděleny na:

- vytvrditelné slitiny
- nevytvrditelné slitiny

Podle využití jsou slitiny rozděleny na:

- slévárenské slitiny
- slitiny určené k tváření

2.1.1 Slévárenské slitiny

Všechny slévárenské slitiny spojuje vysoký obsah přísadového prvku. V důsledku toho se slévárenské slitiny rozdělují na podeutektické, eutektické a nadeutektické. Slévárenské slitiny jsou určeny k výrobě tvarových odlitků litím do písku, do kovových forem, nebo tlakově. Litím do písku vzniká hrubá struktura s nejnižšími pevnostními charakteristikami, jemná struktura vzniká při lití do kovových forem, nebo při tlakovém lití.

Mechanické vlastnosti odlitků jsou podstatně nižší než u tvářených výrobků. Nejčastěji jsou používány slitiny Al-Si, které se označují jako siluminy. [1,6]

2.1.2 Slitiny určené k tváření

Slitiny určené k tváření mívají zpravidla nižší obsah přísadových prvků než slitiny slévárenské, a to do koncentrace odpovídající bodu F (obr.1). V jejich struktuře převládá tuhý roztok α , a proto mají dobré plastické vlastnosti. Slitiny určené k tváření se dělí do skupin podle hlavního legujícího prvku, jak uvádí norma EN 573-1, viz tab. 2. [5]

Tab. 2 Rozdělení tvářených hliníkových slitin do skupin podle EN 573-1 [11]

Hlavní legující prvek	Označení skupiny	Slitina	Stav
Hliník čistoty minimálně 99.00 %	1000	Al	Nevytvrditelný
Měď	2000	AlCuMg	Vytvrditelný
Mangan	3000	AlMn	Nevytvrditelný
Křemík	4000	AlSi	Nevytvrditelný
Hořčík	5000	AlMg	Nevytvrditelný
Hořčík a křemík	6000	AlMgSi	Vytvrditelný
Zinek	7000	AlZnMg	Vytvrditelný
Jiné prvky	8000	Al + různé prvky	Vytvrditelný i nevytvrditelný
Nepoužitá skupina	9000		

Obecně lze slitiny hliníku rozdělit do 2 základních skupin:

- **Slitiny nízkopevnostní s dobrou odolností proti korozi**, do které jsou zařazeny slitiny neobsahující měď. Proto velmi dobře odolávají korozi i bez povrchové ochrany. Jejich nevýhodou je nemožnost tepelného zpracování pro zpevnění materiálu. Výhodou je dobrá svařitelnost, tvářitelnost a odolnost proti vibračním zatížením. [6,7]

Mezi nízkopevnostní slitiny se řadí slitiny s označením skupin 3000, 4000, 5000, 6000 (tab. 2). Slitiny ze skupiny 6000 obsahující hořčík a křemík, lze na rozdíl od ostatních slitin z této skupiny tepelným zpracováním vytvrdit.

Do této skupiny se řadí i slitina AW 6005 použitá v experimentech, která je chemickými značkami označována jako AlMgSi. Chemické složení této slitiny dle normy ČSN EN 573-3 je uvedeno v tab. 3. Tento materiál je vhodný pro svařování, má velmi dobrou tvářitelnost za teplot 450-500 °C a výbornou odolnost proti korozi jak za normálních atmosférických podmínek, tak i v mořském prostředí. Slitina se nejčastěji využívá v automobilovém a leteckém průmyslu a na součásti pro jemnou mechaniku. [8]

Tab. 3 Chemické složení AW 6005 dle normy ČSN EN 573-3 (hm. %) [8]

	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Zn	Cr	Ostatní	Ti	Al
min	0,50				0,40				0,05	zbytek
max	0,90	0,35	0,30	0,50	0,70	0,20	0,30	0,15	0,10	

- **Slitiny s vyšší a vysokou pevností, avšak s nízkou odolností proti korozi**, do které patří slitiny s označením 2000 (tab. 2), které obsahují měď a menší množství hořčíku. Představují nejvíce používané materiály z této skupiny a jsou pojmenovány jako duraly. Duraly dosahují značné pevnosti po vytvrzení tepelným zpracováním. Dále sem patří slitiny s označením 7000 a 8000. [6,7]

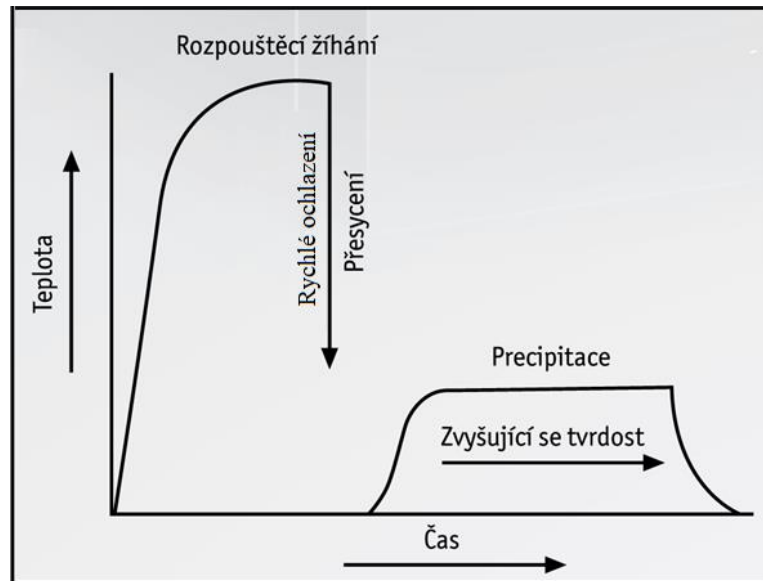
2.2 Tepelné zpracování vytvrditelných slitin hliníku

Vytvrzování lze definovat jako pochod, při kterém výrobek nebo jeho součást v tuhém stavu podstupuje jednu nebo více změn teplot v určitém rozmezí v závislosti na čase, pro zvýšení mechanických vlastností. U tepelného zpracování slitin určených k tváření nebo odlévání je postup zcela stejný, proto jsou popsány v jednom celku. Účelem je dosáhnout určitého navýšení meze tvrdosti a meze pevnosti. Tažnost hliníkových slitin se většinou snižuje. Postup tohoto tepelného zpracování je podobný kalení, ale mechanismus vytvrzení je odlišný.

Základní podmínky pro vytvrzení slitin, jsou následující:

- slitina musí obsahovat dostatečné množství legujícího prvku,
- legující prvek musí mít dostatečnou rozpustnost v tuhém roztoku,
- rozpustnost legujícího prvku v tuhém roztoku musí s rostoucí teplotou vzrůstat.

Tepelné zpracování probíhá ve třech stádiích (obr.2), prvním je rozpouštěcí žíhání, poté následuje rychlé ochlazení a nakonec vytvrzování (stárnutí). Během chladnutí se využívá změny rozpustnosti některých přísadových prvků v tuhém roztoku α (Al), které mají příznivý vliv na mechanické vlastnosti slitin hliníku. [1,4,5,9]



Obr. 2 Schématické znázornění celkového procesu [9]

2.2.1 Rozpouštěcí žihání

Je to tepelný proces, který se ve většině případů provádí lehce nad teplotou 500°C. Během tohoto procesu se rozpouštějí intermetalické fáze obsahující vytvrzující přísadové prvky v základní mřížce, což zapříčiní vznik homogenní struktury, která je stabilní pouze při neměnné teplotě. Při překročení ideální teploty, nebo při příliš dlouhém setrvání na této teplotě dochází k tavení slitiny po hranicích zrn a k následnému hrubnutí zrna. Naopak při žihání za nižších teplot dochází k neúplnému rozpuštění segregátu a vytvrzením se nedocílí požadovaných vlastností. Doba rozpouštěcího žihání vytvrditelných, tvářitelných hliníkových slitin se obvykle pohybuje v rozmezí od 1 do 2 hodin. [5,10]

2.2.2 Rychlé ochlazení

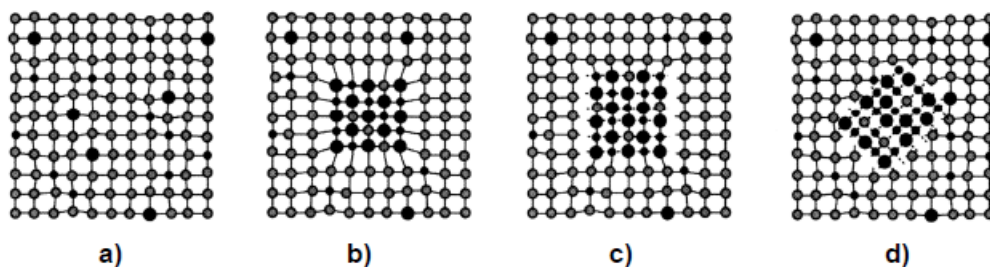
Záměrem ochlazení je zabránit vyloučení intermetalické fáze přísadového prvku z přesyceného roztoku fáze $\alpha(\text{Al})$. Ochlazení z homogenizační teploty do teploty maximálně 150-200°C musí být velmi rychlé. Jako ochlazovací prostředí se nejčastěji používá studená voda. Časové rozmezí mezi vyjmutím slitiny z žihací pece a ponořením do vody musí být co nejkratší.

Rychlým ochlazením vzniká slitina, jejíž struktura je tvořena přesyceným tuhým roztokem α . Materiál se tím dostane do dobrého výchozího stavu pro vytvrzení. [5,10]

2.2.3 Precipitační vytvrzování

Je to proces označován jako stárnutí, při němž dochází k postupnému rozpadu přesyceného tuhého roztoku α , který je spojen s procesem precipitace. V tuhém roztoku dochází

k vylučování velice jemných částic. Růstem těchto částic vznikají koherentní precipitáty označovány jako Guinier-Prestonovy zóny. Tyto zóny poněkud deformují krystalickou mřížku a vyvolávají v ní pnutí. Pnutí v mřížce hliníku v okolí zón je překážkou pro pohyb dislokací, s čímž je spojený vytvrzovací efekt. V dalším stádiu vytvrzování zóny postupně rostou a ztrácejí koherenci, následně vzniká nekoherentní rovnovážný precipitát. Z důvodu příliš dlouhé doby, nebo vysoké teploty vytvrzování, dochází k nežádoucímu hrubnutí precipitátu a tím klesá jeho tvrdost. Toto stádium se označuje jako přestárnutí. Někdy se slitiny hliníku nechávají záměrně přestárnout, jejich tvrdost a pevnost je sice menší, ale naopak mají vyšší tažnost.

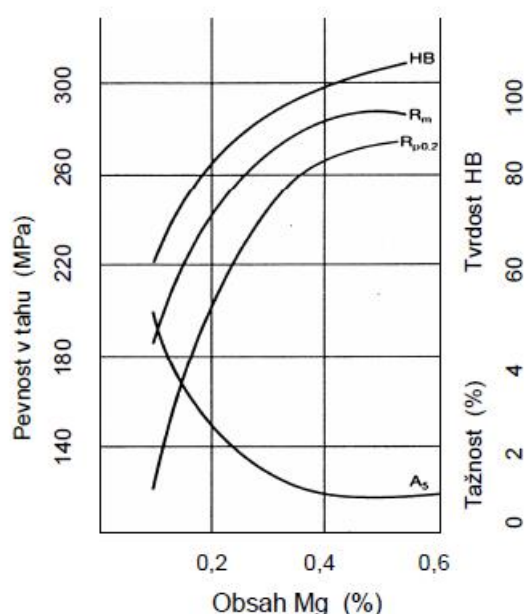


Obr. 3 Vyloučení precipitační fáze: a) tuhý roztok, b) koherentní precipitát, c) částečně koherentní precipitát, d) nekoherentní precipitát [5]

Pohyblivost atomů vytvrzujícího prvku určuje, zda k precipitačnímu vytvrzování hliníkových slitin bude docházet již za normální teploty nebo za teplot zvýšených. Podle toho rozlišujeme vytvrzování za studena (přirozené stárnutí) a vytvrzování za tepla (umělé stárnutí). [1,5,9]

Vytvrzováním za tepla se nejčastěji vytvrzují slitiny hliníku s hořčíkem a křemíkem. Teploty a čas vytvrzování se volí podle druhu slitiny, většinou v rozmezí 140-180°C a po dobu 3 až 8 hodin. Pokud dojde k zvýšení teploty je nutno zkrátit čas vytvrzování. Při vysokých teplotách se získávají horší mechanické vlastnosti než při teplotách určených pro danou slitinu.

Vlastnosti slitiny po vytvrzení jsou závislé rovněž na obsahu vytvrzujícího prvku. Obsah hořčíku u vytvrzitelných slitin Al-Si-Mg bývá v mezích 0,3-0,45% Mg a s jeho rostoucím obsahem se zvyšuje pevnost a tvrdost, avšak klesá tažnost, viz obr. 4. [5]



Obr. 4 Vliv hořčíku na mechanické vlastnosti po vytvrzení [5]

Vytvrzování za studena probíhá samovolně již za normálních teplot, a to především díky vysoké pohyblivosti atomů některých vytvrzovacích prvků. Konečných vlastností se dosáhne za víc než 100 až 150 hodin, proto se měření mechanických vlastností, nebo obrábění vytvrzeného materiálu provádí až po uplynutí 8 dní od ochlazení. Za studena se vytvrzují slitiny hliníku se zinkem a také slitiny s vysokým obsahem mědi. [5]

2.3 Svařitelnost hliníkových slitin

Svařování patří mezi základní metody spojování dílů z hliníkových slitin. Svarový spoj rozhoduje obvykle o vlastnostech svařeného dílu. Strukturní odlišnost svarového spoje od struktury základního materiálu ovlivňuje nejen mechanické vlastnosti spoje, ale i jeho korozní odolnost. Tyto změny závisí především na zvolené metodě svařování a na druhu přídavného materiálu.

Mezi základní metody svařování hliníkových slitin patří metody tavného svařování označované podle ISO EN 4063–141 (WIG) a 131 (MIG).

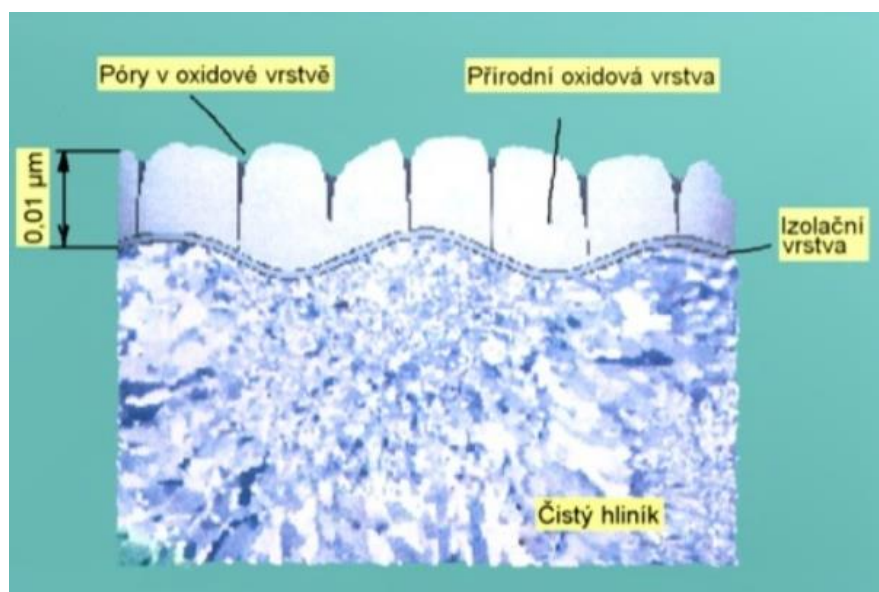
Pro účely svařování jsou kovové materiály zařazovány, podle směrnice TNI CEN ISO/TR 15608, do několika skupin. Hliník a jeho slitiny jsou zařazeny do skupiny č. 2, viz tab. 4. V případě materiálu AW 6005 se jedná o zařazení do skupiny 23.1 Slitiny hliníku, hořčíku a křemíku.

Tab. 4 Systém zařazování hliníku a slitin hliníku do skupin

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

Svařitelnost různých hliníkových slitin se liší, proto je třeba rozlišovat, zda se jedná o slitiny vytvrditelné nebo nevytvrditelné. Nevytvrditelné lze svařovat téměř všechny, u vytvrditelných slitin je ovšem výběr omezený, jsou to slitiny AlMgSi a AlZnMg. Svařitelnost hliníkových slitin je ovlivněna několika základními faktory. [1, 12]

2.3.1 Velká afinita hliníku ke kyslíku



Obr. 5 Složení vrstvy oxidu hlinitého [11]

V důsledku slučování hliníku s kyslíkem vzniká na povrchu kovu oxidická vrstva tvořena oxidem hlinitým Al_2O_3 . Tato vrstva brání přístupu kyslíku do materiálu, a proto má hliník poměrně dobrou odolnost proti korozi. Bohužel z hlediska svařování má tato vrstva nepříznivé vlastnosti.

Oxidickou vrstvu lze odstranit za pomoci nerezových kartáčů s tenkými drátky. Svarové plochy musí zůstat hladké, proto při kartáčování nesmí být použit velký tlak ani příliš silné drátky, aby na čištěném povrchu nevznikaly rýhy, které snižují stabilitu svařovacího oblouku. Následně po okartáčování je nutné svarové plochy také odmastit, nejvhodnější látkou je aceton, ale z bezpečnostních i finančních důvodů se používá syntetický líh. Pro odstranění oxidické vrstvy se také využívá čistícího efektu elektrického oblouku (nestabilní katodová skvrna) a působení iontů Ar při použití stejnosměrného proudu s plus pólem na wolframové elektrodě. Z hlediska tepelné bilance je však nutno používat střídavý proud (čistící efekt je potom pouze v půlperiodě s plus pólem na elektrodě).

V následujících odstavcích jsou uvedeny negativní vlastnosti oxidu hlinitého, které ovlivňují svařitelnost hliníku. [11, 12]

Problém při tavném svařování způsobuje **vysoká teplota tavení** oxidu hlinitého Al_2O_3 . Hliník má teplotu tavení okolo 650°C , oxid hlinitý je téměř netavitelný, protože jeho teplota tání je přibližně 2050°C . Pokud se tedy mezi základním materiálem a přídavným roztaveným kovem nachází vrstva oxidu, zapříčiní, že vůbec nedojde ke spojení základního a přídavného materiálu nebo dojde k tzv. nalepení.

Dalším problémem je, že oxid hlinitý je **elektricky nevodivý**, což způsobuje, že nelze plně využít elektrické vlastnosti svařovacího zdroje. Nastavené hodnoty na zdroji se přes oxidickou vrstvu chovají jinak než u čistých svarových ploch. Z tohoto důvodu je nutné dbát na řádné očištění místa pro upevnění svorek.

Oxid hlinitý je také **silně hygroskopický**, tj. oxidická vrstva pohlcuje vlhkost z okolního prostředí a ta je zdrojem vzniku vodíku, který je v roztaveném hliníku velmi dobře rozpustný. Vodík může vést ke vzniku pórů ve svarovém kovu. [11, 26]

2.3.2 Tepelná roztažnost a vznik trhlin

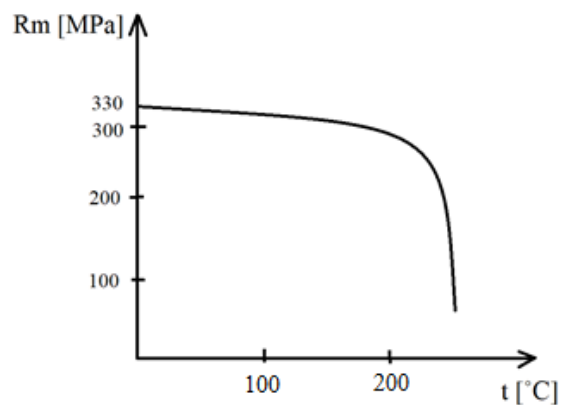
Velký koeficient tepelné roztažnosti zároveň s velkou tepelnou vodivostí způsobuje deformace, které vyvolávají vznik trhlin při svařování, hlavně u mnohých teplem vytvrzitelných slitin. Trhliny ve svarovém spoji vznikají především díky velké teplotní

vodivosti, kde svarová lázeň rychle tuhne a chladne. Vnitřek lázně vychladne později, kdy vnější část je již ztuhlá a má potřebu se smršťovat. Tím vznikají uvnitř svaru velká tahová pnutí a následně tzv. horké trhliny. S ohledem na vnesení co nejmenšího tepla se doporučuje provádět rychle krátké svary než jeden velký. Potlačení vzniku trhlin je také možné vhodnou volbou technologie svařování, při které dochází k minimálnímu tepelnému ovlivnění materiálu, nebo vhodným přídavným materiálem. U slitin typu Al-Mg-Si se sklon k trhlinám snižuje použitím přídavných materiálu se zvýšeným obsahem Si nebo Mg. Nejčastěji se používají svařovací dráty AlSi5 a AlMg5 s přísadou 0,1 až 0,25 % Cr, která příznivě působí na snížení tvorby trhlin.

Při svařování je nutno zabránit posunu dílů kvůli velké teplotní roztažnosti. Řešením je stehování, nebo použití přípravků pro zajištění polohy dílů. [11, 13, 26]

2.3.3 Citlivost slitin hliníku na ohřev

Ohřev hliníkových slitin vyvolává v tepelně ovlivněné oblasti (TOO) základního materiálu částečné rozpouštění vytvrzující fáze. Následkem ohřevu dochází k poklesu hodnot mechanických vlastností a snížení odolnosti proti korozi. Stav materiálu před svařováním výrazně ovlivňuje mechanické vlastnosti v tepelně ovlivněné oblasti.



Obr. 6 Graf závislosti pevnosti na teplotě vytvrditelných hliníkových slitin [11]

Citlivost se týká především vytvrditelných slitin, kde je ztráta pevnosti v okolí svaru velmi výrazná. Při ohřevu do 200°C se pevnost slitiny příliš nezmění, ale po ohřevu nad tuto hodnotu začne pevnost významně klesat, viz obr. 6. Vytvrditelné slitiny, které jsou svařovány vytvrditelným přídavným materiálem je třeba svařovat zásadně v nevytvrzeném stavu pro zajištění shodných vlastností svarového kovu a základního materiálu po vytvrzení.

Dalším významným faktorem při svařování hliníku je i to, že hliník při ohřevu nemění barvu. Rozeznávání hranic tavné lázně je velmi důležité, ale u hliníku v celku obtížné. Vizualně

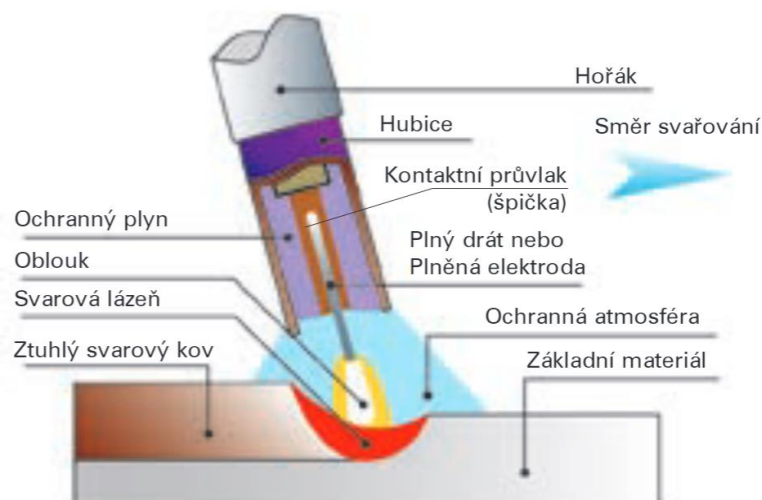
nelze dobře rozpoznat okamžik počátku tavení základního materiálu, což je nepříjemné především při svařování tenkých plechů (protavení materiálu). [11, 12, 13, 26]

2.4 Základní metody svařování hliníku

Hliník a jeho slitiny lze svařovat všemi způsoby obloukového svařování, elektronovým paprskem, laserem či svařováním třením. Při svařování tenkých plechů není nutný předehřev základního materiálu. Všeobecně platí, že předehřev zvětšuje šířku tepelně ovlivněné oblasti. Při svařování větších tlouštěk je použití předehřevu ovšem nevyhnutelné. S ohledem na intenzivní odvod tepla mohou ve svarovém spoji vzniknout neprůvary. Předehřev také snižuje potřebný měrný příkon svařovacího zdroje. Teplota předehřevu hliníku a jeho slitin není vyšší než 200°C. Při svařování vytvrditelných slitin může předehřev způsobit přestárnutí základního materiálu. V tomto případě je teplota předehřevu na úrovni teploty umělého stárnutí. [20, 21, 23]

2.4.1 Metoda MIG

Svařování metodou MIG (Metall Inert Gass – dle ISO EN 4063 označovaná 131) se řadí mezi technologie tavného svařování. Princip této metody je znázorněn na obr. 7. Elektrický oblouk hoří mezi odtavující se elektrodou a základním materiálem za vzniku svarové lázně v atmosféře inertního plynu. Tavicí elektroda je připojena na kladný pól zdroje stejnosměrného svářecího proudu, katodu tvoří základní materiál. Elektrodou je holý drát navinutý na cívce, který je stálou rychlostí pomocí kladek dodáván do místa svaru. Drát o průměru 0,8 – 2,4 mm se používá zároveň i jako přídavný materiál, který musí mít speciální povrchovou úpravu pro zvýšení tvrdosti, jelikož je hliník velmi měkký a nesmí být deformován.



Obr. 7 Svařování metodou MIG [24]

Rychlost svařování se obvykle pohybuje v rozmezí 6 – 90 m.h⁻¹, svařovací proud 150 – 500 A, a napětí oblouku 20 – 30 V, další parametry jsou uvedeny v tabulce 4. Ochranou atmosféru zde tvoří nejčastěji argon, který zajišťuje stabilitu hoření elektrického oblouku a snižuje rozstřík svarového kovu, ale pro jeho nízkou teplenou vodivost se používá především pro malé tloušťky základního materiálu. Při svařování větších tlouštěk je výhodné použít směs argonu s heliem, kde helium zlepšuje přenos tepla. Obecně platí pravidlo, že s rostoucí tloušťkou by se měl zvětšovat i obsah helia ve směsi ochranného plynu. Vliv na kvalitu svaru nemá jen ochranný plyn, ale také přídavný materiál, který se volí ze stejného, nebo podobného materiálu jako je materiál základní. [12, 14, 16, 21]

Tab. 5 Doporučené varianty a parametry pro svařování hliníku metodou MIG [20]

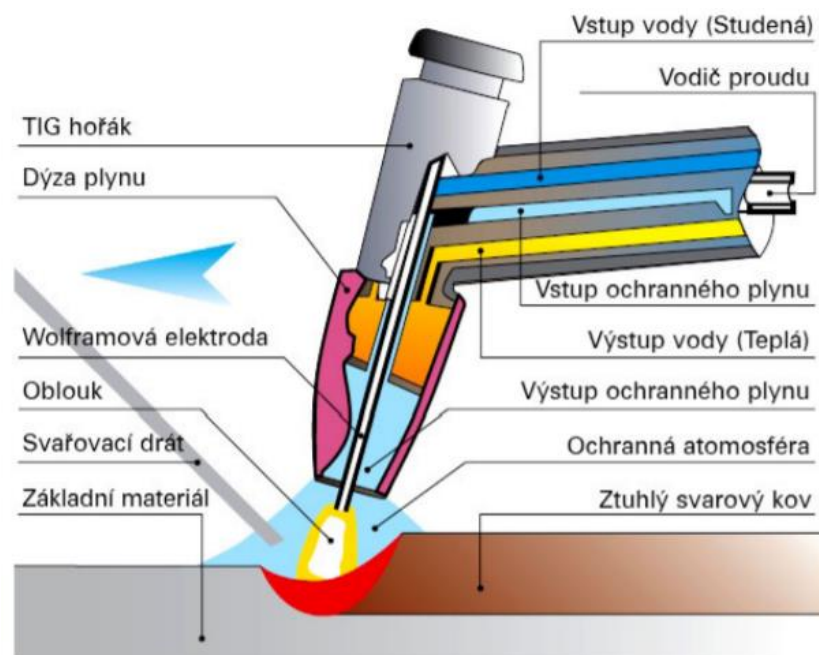
Tloušťka plechu [mm]	Charakteristika procesu	Přídavný materiál Ø [mm]	Svařovací proud [A]	Napětí oblouku [V]	Poznámka
2-5	svař. tenkými dráty	0,8 – 1,2	80 – 150	21 – 24	ruční svařování, koutové spoje
1,5-10	pulzní svařování	1,2 – 1,6	50 – 80	18 – 24	tupé a koutové spoje
5-30	svař. sprchovým přenosem	1,2 – 2,4	180 – 300	24 – 29	běžný způsob ruční, strojové svařování
nad 20	svař. vysokými proudy	2,4 – 3,6	350 – 650	24 – 30	jen strojní svařování
nad 30	svař. velkými průměry drátů	4,0 – 6,0	nad 500	28 – 34	jen strojní svařování

2.4.2 Metoda WIG

Svařovací metoda WIG (Wolfram Inert Gass – dle ISO EN 4063 označovaná 141), někdy označována i jako TIG (Tungsten Inert Gass) je svařování elektrickým obloukem v ochranné atmosféře. Princip této metody je znázorněn na obr. 8. Elektrický oblouk hoří mezi základním materiálem a wolframovou elektrodou, která se prakticky neodtavuje. Průměr elektrody se pohybuje v rozmezí 0,5 – 6 mm, musí odpovídat velikosti svařovacího proudu a polaritě. Touto metodou lze svařovat i bez použití přídavného materiálu, ale pro svařování větších rozměrů se musí přídavný materiál použít. Přídavný materiál se dodává ve formě drátu, tyčinky nebo pásku do oblouku, kde se odtavuje a vzniklá tavenina přispívá ke zvýšení množství tavné lázně.

Svařování metodou WIG se používá především pro svařování kovů s těžkotavitelnými vrstvami oxidů na povrchu materiálu, jež se bez ochranné atmosféry špatně svařují. Při svařování metodou WIG se využívá čistícího účinku argonu, kdy se kladné ionty

(nepřímá polarita) pohybují od elektrody k zápornému základnímu materiálu, naráží na jeho povrch a svou kinetickou energií rozrušují vrstvičku oxidu hlinitého, a tím očistí povrch, takže je možné spojit roztavený základní a přídavný materiál. Při použití stejnosměrného proudu s tímto zapojením proudí elektrony od základního materiálu k elektrodě, a proto na svařovaném materiálu se vyvine pouze jedna třetina z celkového tepla, čímž vzniká malý závar a oblouk hoří neklidně. Při zapojení elektrody na záporný pól, proudí elektrony od elektrody k povrchu svařovaného materiálu, čímž se dvě třetiny vzniklého tepla vyvinou na materiálu, dosáhne se dobrého závaru a klidného hoření oblouku. Ionty plynu však proudí od svařovaného materiálu k elektrodě a nemají tak čistící účinek, argon v tomto případě slouží jen jako ochrana před okolním vzduchem. Proto se pro svařování používá střídavý proud, u kterého se polarita neustále mění v každé půlperiodě, a dochází tedy ke kombinaci obou předcházejících případů. Čistící účinek je ještě postačující a závar vyhovující. [12, 14, 15, 21]



Obr. 8 Princip svařovací metody WIG [25]

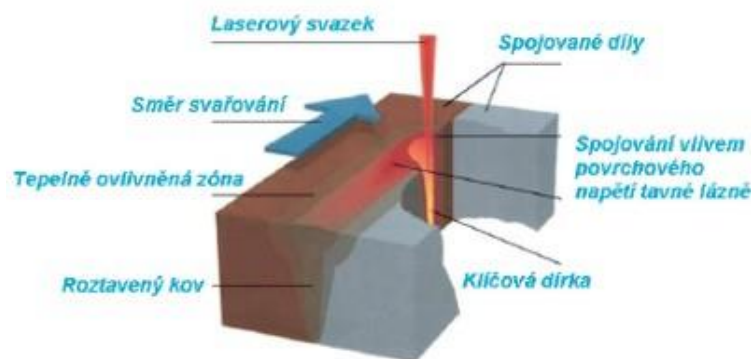
2.4.3 Svařování elektronovým paprskem

Jedná se o proces tavného svařování, kde se k natavení materiálu využívá svazku elektronů, které předávají svou kinetickou energii v podobě tepla svařovanému materiálu. Kinetická energie elektronů může být soustředěna na malé ploše svařence, proto vysoká hustota energie a úzký paprsek elektronů okamžitě natavují a odpařují materiál. Díky tomu lze dosáhnout velmi úzkého svaru s minimální TOO.

Tuto metodu lze použít pro svařování většiny hliníkových slitin, ovšem při svařování slitin s větším obsahem Mg, Cu nebo Zn mohou ve svaru vznikat trhliny. Trhlinám je možno předejít použitím vhodného přídavného materiálu. Svařování elektronovým paprskem má řadu specifických výhod. Mezi hlavní výhody patří úzká TOO svaru, minimální deformace základního materiálu, možnost svařování kovů s rozdílnou teplotou tavení, vysoká rychlost svařování nebo dokonalá ochrana svaru před nežádoucími plyny díky vakuu. Za nevýhody musíme považovat vysoké pořizovací náklady na svařovací zařízení, vysoké nároky na čistotu svarových ploch, vznik RTG záření. [14, 17, 18]

2.4.4 Svařování laserem

Lasery jsou kvantové zesilovače světla s využitím stimulované emise záření, které je pak zaostřeno do místa využití. Při svařování laserem se pro natavení základního materiálu používá soustředný svazek fotonů, který je opticky zaostřen do ohniska velmi malých rozměrů, viz obr. 9. Při svařování vznikají kapiláry, které jsou vyplněny parami kovu pod vysokým tlakem. Tyto páry jsou vysokou teplotou ionizovány a vznikající plazma brání pronikání fotonů do svarové spáry. Škodlivým účinkům plazmy se zabraňuje ofukováním ochranným plynem (Ar, Ar + CO₂, nebo He), který současně chrání svarovou lázeň před oxidací.

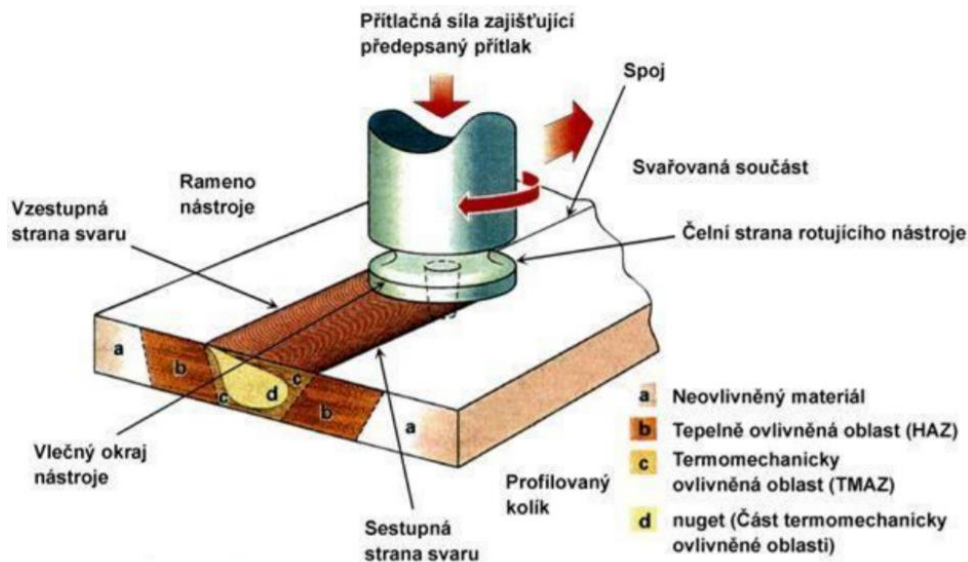


Obr. 9 Princip laserového svařování [19]

Laserové svařování díky velmi rychlému ohřevu umožňuje svařovat materiály s vysokou tepelnou vodivostí jako je Cu, Al, Ag, ale i materiály s vysokou teplotou tavení W, Ti. Rychlost ohřevu v místě dopadu fotonů je mnohonásobně vyšší než odvod tepla do okolí a dochází k lokálnímu ohřevu dané oblasti do teploty varu. Při vhodném zkombinování svařovacích parametrů (výkon, svařovací rychlost) dochází k efektu tzv. klíčové dírky. Lze svařovat materiály výrazně rozdílné tloušťky. Svařuje se bodově nebo plynule. [14, 17, 19]

2.4.5 Friction Stir Welding

Svařování třením (FSW – Friction Stir Welding) je proces, který lze použít při spojování hliníkových plechů, aniž by se dosáhlo jejich bodu tavení. Při svařování třením se nástroj s válcovým ramenem a profilovaným kolíkem otáčí a pomalu ponořuje do místa spoje mezi dvěma plechy, které se k sobě svařují, viz obr. 10. Spojované materiály musí být upevněny k podložkám, aby se jejich čela při svařování neoddálila. Teplo, které vzniká třením mezi svařovacím nástrojem odolným na opotřebení a svařencem vyvolává změknutí svařence. V místě spoje vzniká vysoce plastická oblast, v níž dochází k promísení kovu. Změklý materiál je přenesen na vlečný okraj nástroje a je vykován těsným kontaktem ramene nástroje a profilem kolíku. Po přenesení materiálu dochází k ochlazení a vzniku kvalitního spoje s jemnozrnnou strukturou bez pórů, a tedy s výbornými mechanickými vlastnostmi. Je možno svařovat materiály o tloušťce 1,6 až 30 mm při úplném průniku. [14, 17]



Obr. 10 Princip Friction Stir Welding [22]

3. Experimentální část

Tato práce byla řešena v rámci spolupráce s VÚKV a.s., který se zabývá vývojem a testováním kolejových vozidel.

Cílem práce bylo posoudit vliv svařování na degradaci mechanických vlastností v TOO svarů u materiálu AW 6005 a posoudit možnosti využití tepelného zpracování k minimalizaci těchto účinků.

Experiment byl rozdělen na několik na sebe navazujících částí. Nejprve byly popsány vlastnosti výchozího materiálu, na kterém byly provedeny experimenty svařování. V další části byly zdokumentovány jeho mechanické vlastnosti. V poslední části experimentu bylo navrženo a provedeno tepelné zpracování svařenců a byl zjišťován jeho vliv na mechanické vlastnosti ve svarovém kovu, TOO a základního materiálu. Změna mechanických vlastností byla zjišťována pomocí měření tvrdosti dle Vickerse v souladu s normou ČSN EN ISO 6507-1.

3.1 Základní materiál

V rámci experimentu byl, jak již bylo uvedeno výše, použit materiál AW 6005. Materiál byl dodán ve formě protlačovaných L-profilů ve stavu T6. V tab. 6 je uvedeno chemické složení materiálu změřené na spektrometru Q4 Tasman. V tab. 7 jsou uvedeny mechanické vlastnosti dané atestem výrobce. Z dodaného materiálu byly nařezány desky 200 x 250 x 10 mm, na kterých byly provedeny experimenty svařování.

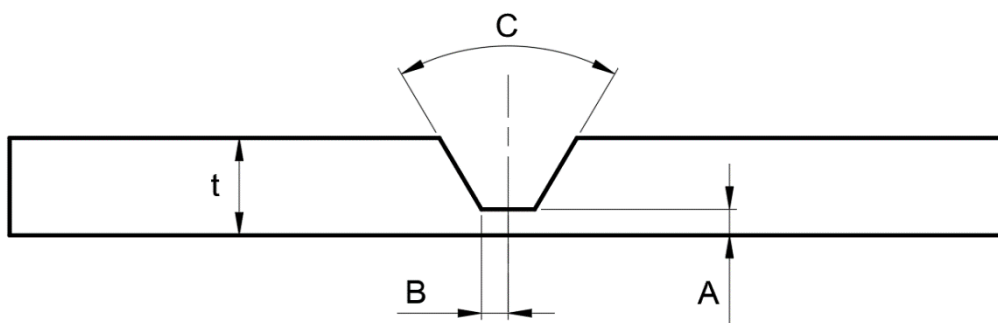
Tab. 6 Naměřené chemické složení slitiny AW 6005 v [%]

Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Ni	Zn	Ti	Al
0,705	0,182	0,098	0,22	0,415	0,074	0,0031	0,015	0,033	98,16

Tab. 7 Mechanické vlastnosti dodaného materiálu AW 6005

Pevnost v tahu R _m [MPa]	Mez kluzu R _{p0,2} [MPa]	Tažnost A [%]
260	215	6

Svařování bylo koncipováno jako svařování s podložkou, přičemž podložka byla součástí geometrie svaru. Geometrie drážky v souladu s normou ČSN EN ISO 9692-3 je uvedena na obr. 11. Zkušební svar byl proveden jako dvouvrstvý.



$$A = 1,5 \text{ mm}, B = 2 \text{ mm}, C = 60^\circ, t = 10 \text{ mm}$$

Obr. 11 Geometrie svarových ploch

3.2 Svařovací experimenty

Svařování bylo provedeno metodou MIG, ručním způsobem. Svařované desky byly umístěny na keramické podložce, která zajišťuje spolehlivé provaření kořene bez výskytu kořenových vad a formuje povrch kořenové housenky do potřebného tvaru pro plynulý přechod do základního materiálu.

Pro svařování byl použit svařovacího zdroje LORCH S Speed Pulse. Nastavené svařovací parametry pro jednotlivé svary a housenky jsou uvedeny níže. Ve všech případech se jednalo o impulsní přenos kovu.

Přídavný materiál byl použit ve formě drátu navinutý na cívce a pomocí dvou párů podávacích kladek s U – profilem drážky byl dodáván do svařovací hubice. Vzhledem k požadavku firmy VÚKV a.s. byl zvolen nevytvrditelný přídavný materiál OK Autrod 5087 od firmy ESAB typu AlMg 4,5 MnZr o průměru 1,2 mm. Nevytvrditelné přídavné materiály se používají ke svařování AW 6005 standardně z důvodu snížení náchylnosti ke vzniku trhlin za horka. Chemické složení přídavného materiálu je uvedeno v tab. 8 a v tab. 9 jsou uvedeny výrobcem doporučené svařovací parametry.

Tab. 8 Chemické složení drátu v %

Si	Mn	Al	Mg	Zn	Zr
< 0,25	0,8	95	4,7	0,2	0,15

Tab. 9 Doporučené svařovací parametry dané výrobcem pro průměr drátu 1,2mm

Průměr drátu [mm]	Proud [A]	Napětí [V]	Rychlost podávání [m.min ⁻¹]	Výkon svařování [kg.h ⁻¹]
1,2	140 - 260	20 - 29	7,0 - 13,0	1,2 - 2,3

Jako ochranná atmosféra byl při svařování použit argon Ar o čistotě 99,9 % o průtoku 15 l.min⁻¹.

Během vlastního svařování byly měřeny svařovací parametry za pomoci systému Weld Monitor, který umožňuje díky použití digitální techniky monitorovat a podrobně dokumentovat celý proces svařování. Systém Weld Monitor propojuje svařovací stroj s externím počítačem, do kterého se zaznamenávají základní, požadované svařovací parametry a lze v reálném čase pozorovat jejich průběh. Monitoruje se zejména svařovací proud a napětí, dále rychlost posuvu drátu s jeho spotřebou, průtok plynu a teplota svařovaného materiálu v průběhu svařování.

3.2.1 Vlastní realizace zkušebních svarů

Aby mohl být vyhodnocen vliv tepelného ovlivnění každou housenkou, byla první housenka provedena v celé délce desky a druhá pouze do cca 3/5 délky.

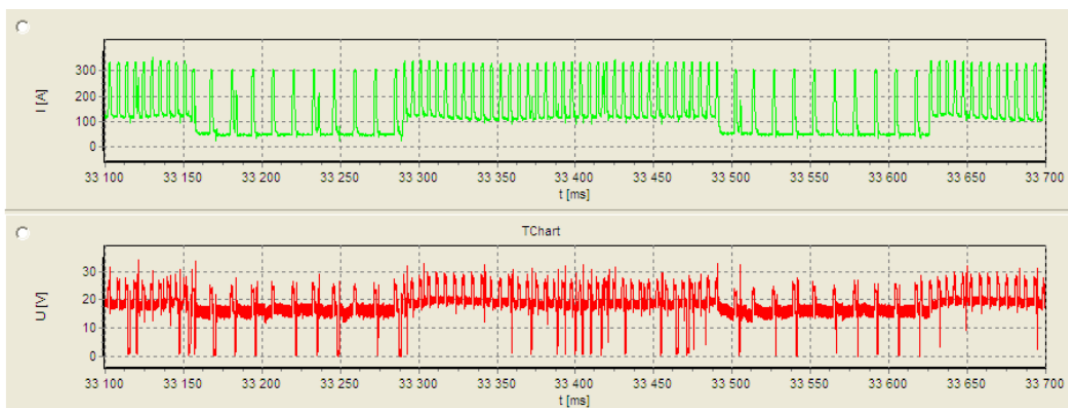
První deska (nadále označována jako svar 1) byla svařována bez počátečního předehřevu. U druhé desky (nadále označována jako svar 2) byl proveden předehřev základního materiálu pomocí plynového hořáku na 80°C. Předehřev se provádí bezprostředně před svařováním a jeho účelem je zmenšení teplotního spádu při svařování, a tím i zamezení praskání svarů.

a) Svar 1 - Housenka 1

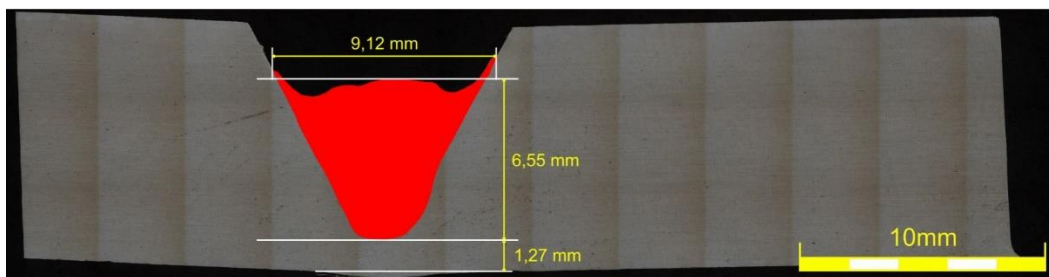
První (kořenová) housenka na prvním zkušebním svaru byla provedena po celé délce svařence s délkou 250 mm. V tab. 10 jsou uvedeny hodnoty svařovacích parametrů, které byly nastavené na svařovacím zdroji a také skutečné hodnoty naměřené systémem Weld Monitor. Tento systém dále zobrazuje grafický signál svařovacího proudu a napětí, který je uveden na obr. 12. Geometrie housenky 1 svaru 1 je znázorněna na obr. 13.

Tab. 10 Hodnoty svařovacích parametrů pro svar 1 a housenku 1

Měřená veličina	Nastavená hodnota	Monitorovaná hodnota
svařovací proud [A]	130	159,8
svařovací napětí [V]	21,4	23,2
rychlost posuvu drátu [m.min ⁻¹]	8,4	8,4
rychlost svařování [m.min ⁻¹]	-	0,416
celkové vnesené teplo [kJ.cm ⁻¹]	-	5,35
průtok plynu [l.min ⁻¹]	-	15
čas [s]	-	33,6



Obr. 12 Grafické zobrazení signálu proudu a napětí programem Weld Monitor – svar 1 a housenka 1



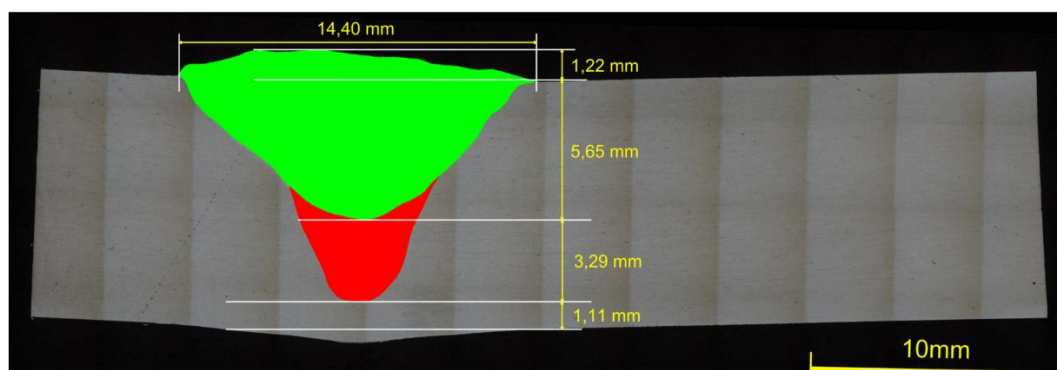
Obr. 13 Výbrus kořenové housenky svaru 1 s rozměry

b) Svar 1 - Housenka 2

Druhá, krycí housenka byla provedena v délce cca 3/5 svařence. Její skutečná délka byla 142 mm. V tabulce 11 jsou uvedeny hodnoty svařovacích parametrů druhé housenky, které byly nastavené na svařovacím zdroji také skutečné hodnoty naměřené systémem Weld Monitor. Grafický signál svařovacího proudu a napětí je zobrazen v příloze 1. Geometrie housenky 2 svaru 1 je znázorněna na obr. 14.

Tab. 11 Hodnoty svařovacích parametrů svar 1 a housenku 2

Měřená veličina	Nastavená hodnota	Monitorovaná hodnota
svařovací proud [A]	158	181,1
svařovací napětí [V]	23	26
rychlost posuvu drátu [m.min ⁻¹]	10,2	10,2
rychlost svařování [m.min ⁻¹]	-	0,186
celkové vnesené teplo [kJ.cm ⁻¹]	-	15,19
průtok plynu [l.min ⁻¹]	-	15
čas [s]	-	40



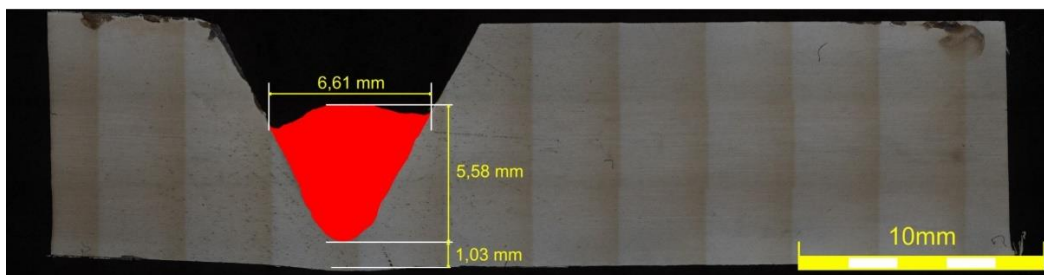
Obr. 14 Výbrus krycí housenky svaru 1 s rozměry

c) Svar 2 - Housenka 1

První, kořenová housenka byla opět provedena v celé délce, tj. v délce 250 mm. Hodnoty svařovacích parametrů, které byly nastavené na svařovacím zdroji a také skutečné hodnoty naměřené systémem Weld Monitor jsou uvedeny níže v tabulce 12. Grafický signál svařovacího proudu a napětí je zobrazen v příloze 2. Geometrie housenky 1 svaru 2 je znázorněna na obr. 15.

Tab. 12 Hodnoty svařovacích parametrů pro svar 2 a housenku 1

Měřená veličina	Nastavená hodnota	Monitorovaná hodnota
svařovací proud [A]	118	150,2
svařovací napětí [V]	20,8	22,8
rychlost posuvu drátu [m.min ⁻¹]	7,6	7,6
rychlost svařování [m.min ⁻¹]	-	0,429
celkové vnesené teplo [kJ.cm ⁻¹]	-	4,79
průtok plynu [l.min ⁻¹]	-	15
čas [s]	-	36,2



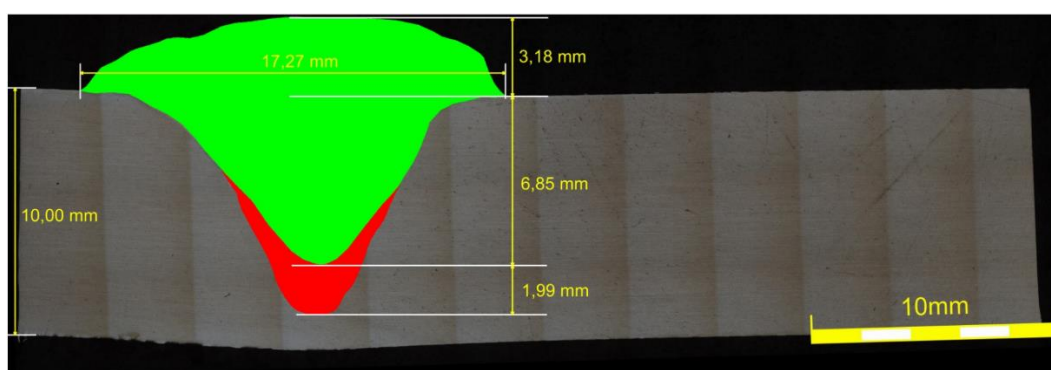
Obr. 15 Výbrus kořenové housenky svaru 2 s rozměry

d) Svar 2 - Housenka 2

Druhá, tj. krycí housenka byla provedena v délce cca 3/5 svařence. Její skutečná délka byla 133 mm. Hodnoty svařovacích parametrů, které byly nastavené na svařovacím zdroji a také skutečné hodnoty naměřené systémem Weld Monitor jsou uvedeny níže v tabulce 13. Grafický signál svařovacího proudu a napětí je zobrazen v příloze 2. Geometrie housenky 2 svaru 2 je znázorněna na obr. 16.

Tab. 13 Hodnoty svařovacích parametrů pro svar 2 a housenku 2

Měřená veličina	Nastavená hodnota	Monitorovaná hodnota
svařovací proud [A]	128	162,4
svařovací napětí [V]	21,3	24,4
rychlost posuvu drátu [m.min ⁻¹]	8,2	8,2
rychlost svařování [m.min ⁻¹]	-	0,17
celkové vnesené teplo [kJ.cm ⁻¹]	-	13,99
průtok plynu [l.min ⁻¹]	-	15
čas [s]	-	50



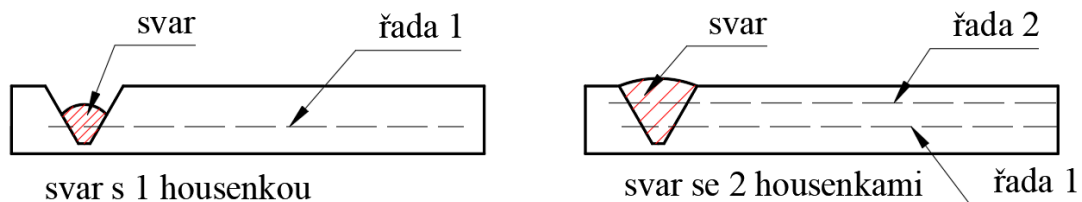
Obr. 16 Výbrus krycí housenky svaru 2 s rozměry.

3.3 Vliv svařovacích procesů na tvrdost základního materiálu

Během svařování dochází k velkému tepelnému ovlivnění základního materiálu, což zapříčiní negativní změny mechanických vlastností. Změna mechanických vlastností byla sledována pomocí měření tvrdosti materiálu. Pro vyhodnocení bylo využito zkoušky tvrdosti dle Vickerse HV 5 dle normy ČSN EN ISO 6507-1.

3.3.1 Postup měření tvrdosti

Vzorky pro měření tvrdosti byly získány rozřezáním desek svar 1 a svar 2. Aby mohl být vyhodnocen vliv tepelného ovlivnění materiálu každou housenkou, byly z každé desky (svar 1 a svar 2) připraveny vzorky jak z oblasti pouze s jednou housenkou, tak z oblasti dvouvrstvého svaru. U housenek 1 byla tvrdost HV 5 měřena ve svarovém kovu, TOO a základním materiálu ve vzdálenosti 4 mm (řada 1) od spodního okraje vzorku, u housenky 2 potom ve dvou řadách ve vzdálenosti 4 mm (řada 1) a 7,5 mm (řada 2), viz obr. 17. Celkově tímto postupem bylo vyhodnoceno 246 vpichů.



Obr. 17 Schéma míst měření tvrdosti (řada 1 a 2)

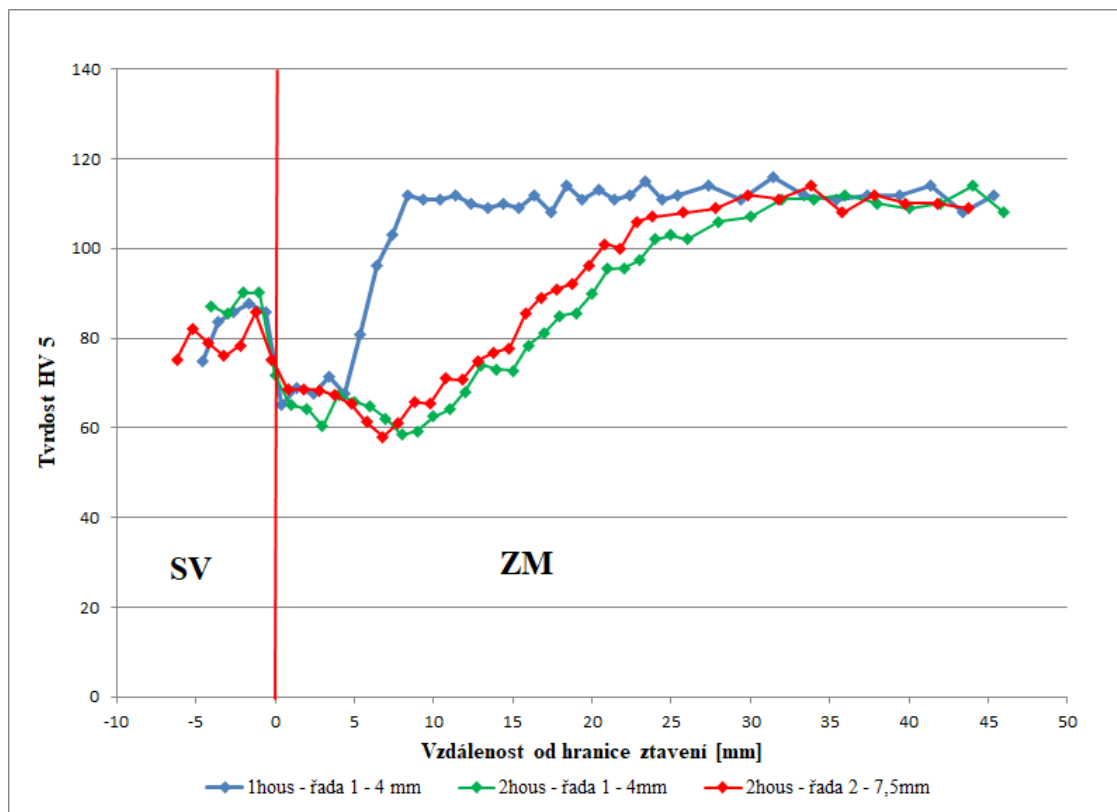
Naměřené hodnoty tvrdosti HV 5 pro vzorek svar 1 – housenka 1- řada 1 jsou pro ukázkou uvedeny v tabulce 14. Hodnoty řady 1 a 2 pro vzorek se dvěma housenkami jsou uvedeny v příloze 3. Naměřené hodnoty tvrdosti pro vzorky druhého zkušební svaru (svar 2) jsou uvedeny v příloze 4.

Tab. 14 Hodnoty tvrdosti HV 5 pro svar 1 –1 housenka – řada 1 – po svaření

Pořadí	Tvrdost HV 5	Souřadnice x [mm]	Souřadnice y [mm]	Oblast umístění vpichu
1	75,00	-4,60	4,00	hranice ztavení
2	83,70	-3,60	4,00	svar
3	85,70	-2,60	4,00	střed svaru
4	87,60	-1,60	4,00	svar
5	85,70	-0,60	4,00	svar
6	65,10	0,40	4,00	TOO
7	68,80	1,40	4,00	TOO
8	67,60	2,40	4,00	TOO
9	71,50	3,40	4,00	TOO
10	67,60	4,40	4,00	TOO
11	80,70	5,40	4,00	TOO
12	96,10	6,40	4,00	TOO
13	103,00	7,40	4,00	TOO
14	112,00	8,40	4,00	ZM
15	111,00	9,40	4,00	ZM
16	111,00	10,40	4,00	ZM
17	112,00	11,40	4,00	ZM
18	110,00	12,40	4,00	ZM
19	109,00	13,40	4,00	ZM
20	110,00	14,40	4,00	ZM
21	109,00	15,40	4,00	ZM
22	112,00	16,40	4,00	ZM
23	108,00	17,40	4,00	ZM
24	114,00	18,40	4,00	ZM
25	111,00	19,40	4,00	ZM
26	113,00	20,40	4,00	ZM
27	111,00	21,40	4,00	ZM
28	112,00	22,40	4,00	ZM
29	115,00	23,40	4,00	ZM
30	111,00	24,40	4,00	ZM
31	112,00	25,40	4,00	ZM
32	114,00	27,40	4,00	ZM
33	111,00	29,40	4,00	ZM
34	116,00	31,40	4,00	ZM
35	112,00	33,40	4,00	ZM
36	111,00	35,40	4,00	ZM
37	112,00	37,40	4,00	ZM
38	112,00	39,40	4,00	ZM
39	114,00	41,40	4,00	ZM
40	108,00	43,40	4,00	ZM
41	112,00	45,40	4,00	ZM

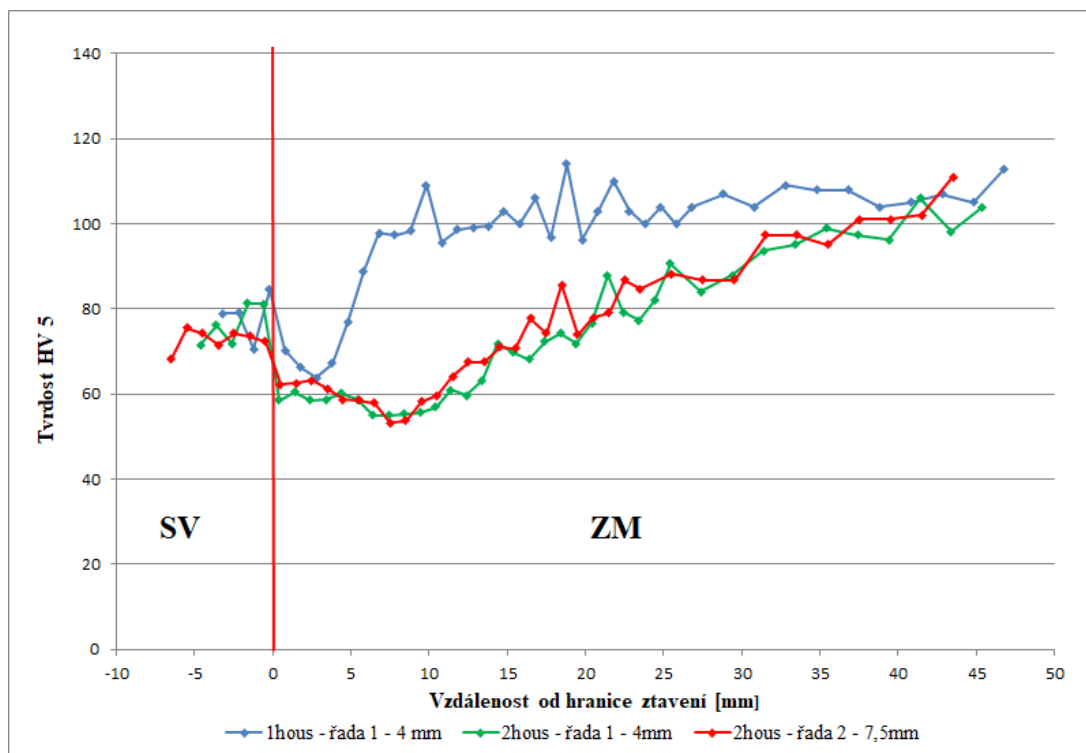
3.3.2 Vyhodnocení měření tvrdosti po svaření

Grafické zobrazení průběhu tvrdosti HV 5 svaru 1 je zobrazeno na obr. 18. Modrou barvou je vyznačen průběh tvrdosti vzorku s jednou housenkou v místě řady 1, zelená společně s červenou barvou určuje průběh vzorku se dvěma housenkami pro řadu 1 a 2. Z průběhu tvrdosti je vidět rozdíl mezi velikostí tepelně ovlivněné oblasti vzorků. TOO vzorku s jednou housenkou dosahuje pouze do cca 8 mm od hranice ztavení, a to z důvodu menšího vneseného tepla oproti vzorku, na kterém byly realizovány dvě housenky. Velikost TOO vzorku se dvěma housenkami je přibližně třikrát větší než u vzorku, který disponuje pouze jednou housenkou. Na obr. 18 je také zřetelně vidět velký pokles tvrdosti v TOO nacházející se nejbližší ke svarovému kovu, to je zapříčiněno množstvím vneseného tepla během svařování a následným hrubnutím precipitátu.



Obr. 18 Graf průběhu tvrdosti HV 5 po svaření pro svar 1

Na obr. 19 je zobrazen grafický průběh tvrdosti HV 5 svaru 2 po svaření. Použitím předehřevu u svaru 2 bylo po svaření dosaženo nižších hodnot ve srovnání se svarem 1. Porovnáním svaru 1 bez předehřevu a svaru 2 s předehřevem lze také vidět rozdíl v šířce TOO. U svaru 2 se šířka TOO vzorku se dvěma housenkami zvětšila o přibližně 25 mm.



Obr. 19 Graf průběhu tvrdosti HV 5 po svaření pro svar 2

3.4 Vliv tepelného zpracování na změnu tvrdosti

Jak již bylo uvedeno, cílem experimentu bylo najít vhodný způsob tepelného zpracování pro zvýšení mechanických vlastností materiálu po svařování, resp. stanovit vliv tepelného zpracování na změnu tvrdosti ve svarovém kovu, tepelně ovlivněné oblasti a základním materiálu. Pro vyhodnocení tohoto vlivu byla opět využita zkouška tvrdosti HV 5 dle normy ČSN EN ISO 6507-1.

Vzorky, na kterých bylo aplikováno rozpouštěcí žíhání a umělé stárnutí, byly vyrobeny obdobným způsobem jako vzorky, u kterých byla měřena tvrdost po svařování.

V této části experimentu byly tedy z každé svařené desky (svar 1 a svar 2) použity 4 vzorky s jednou housenkou a 4 vzorky se dvěma housenkami.

Ohřev vzorků určených k rozpouštěcímu žíhání probíhal v elektrické odporové peci 11016S Clasic s teplotní tolerancí ± 10 °C a ohřev vzorků pro umělé stárnutí probíhal v peci Venticell Standart 404 s teplotní tolerancí ± 3 °C.

Parametry tepelného zpracování byly navrženy na základě výsledků experimentů, které byly prováděny na Katedře strojírenské technologie a které se zabývaly sledováním vlivu tepelného zpracování na vlastnosti materiálu AW 6005. S ohledem na tyto výsledky bylo

naplánováno tepelné zpracování svarů s parametry uvedenými v tab. 15. Za těchto podmínek bylo dosaženo maximálních hodnot mechanických vlastností.

Tab. 15 Hodnoty pro tepelné zpracování

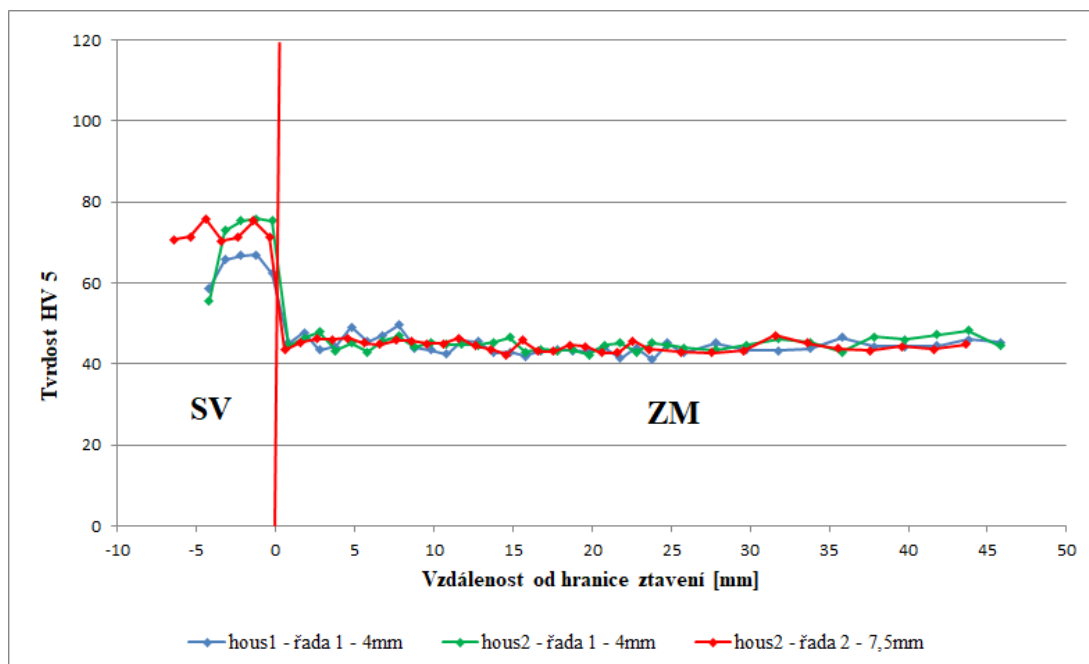
Rozpouštěcí žíhání 1 hodina a 545 °C		
Umělé stárnutí 4 hodiny a 175 °C	Umělé stárnutí 2 hodiny a 190 °C	Umělé stárnutí 8 hodin a 160 °C

Rozpouštěcí žíhání bylo provedeno na všech 16 vzorcích, při teplotě 545 °C a výdrži na teplotě po dobu 1 hodiny. Po rozpouštěcím žíhání následovalo rychlé ochlazení do vody o teplotě 25 °C.

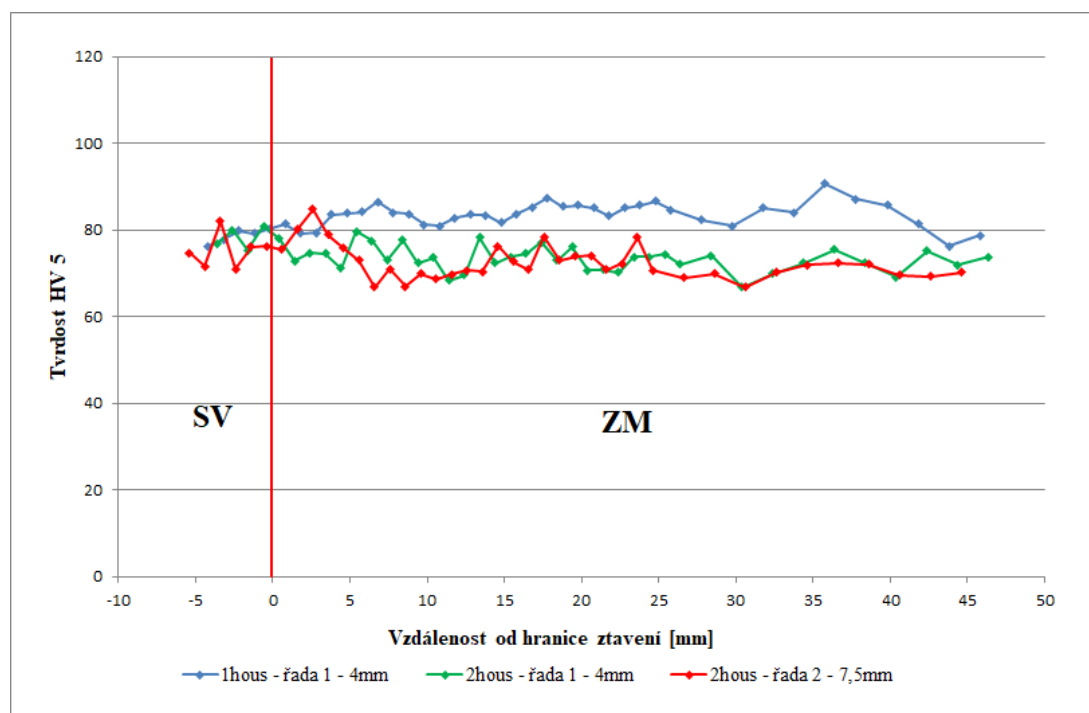
Na vzorku s jednou housenkou a vzorku se dvěma housenkami ze svaru 1 a 2, nebylo dále aplikováno umělé stárnutí, ale byly hned podrobeny měření tvrdosti. Zbylé vzorky byly následně ihned po rozpouštěcím žíhání dále vytvrzovány. Proces umělého stárnutí byl proveden dle podmínek uvedených v tab. 15, tj. při třech různých kombinacích teploty a doby výdrže. První proces umělého stárnutí byl proveden za teploty 175 °C po dobu 4 hodin, druhý proces za teploty 190 °C po dobu 2 hodin a třetí proces za teploty 160 °C po dobu 8 hodin. Na všech těchto vzorcích byla následně měřena tvrdost svarového kovu, tepelně ovlivněné oblasti a základního materiálu.

Měření tvrdosti HV 5 probíhalo stejným způsobem jako u vzorků po svařování, viz obr. 17.

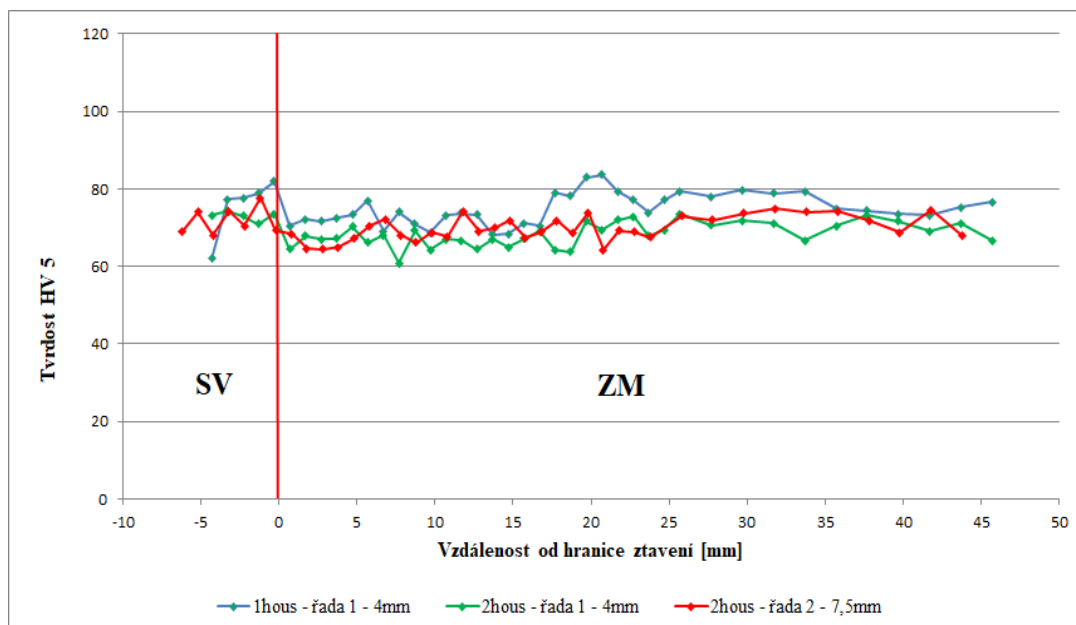
Tabulky naměřených hodnot pro svar 1 po rozpouštěcím žíhání a pro jednotlivé procesy umělého stárnutí jsou uvedeny v příloze 5. Grafický průběh tvrdosti svaru 1 po rozpouštěcím žíhání je na obr. 20, na obr. 21 je zobrazen průběh tvrdosti po umělém stárnutí za teploty 175 °C po dobu 4 h. Na obr. 22 je ukázán průběh tvrdosti po umělém stárnutí za teploty 190 °C po dobu 2 h. a na obr. 23 po umělém stárnutí za teploty 160 °C a po dobu 8 h.



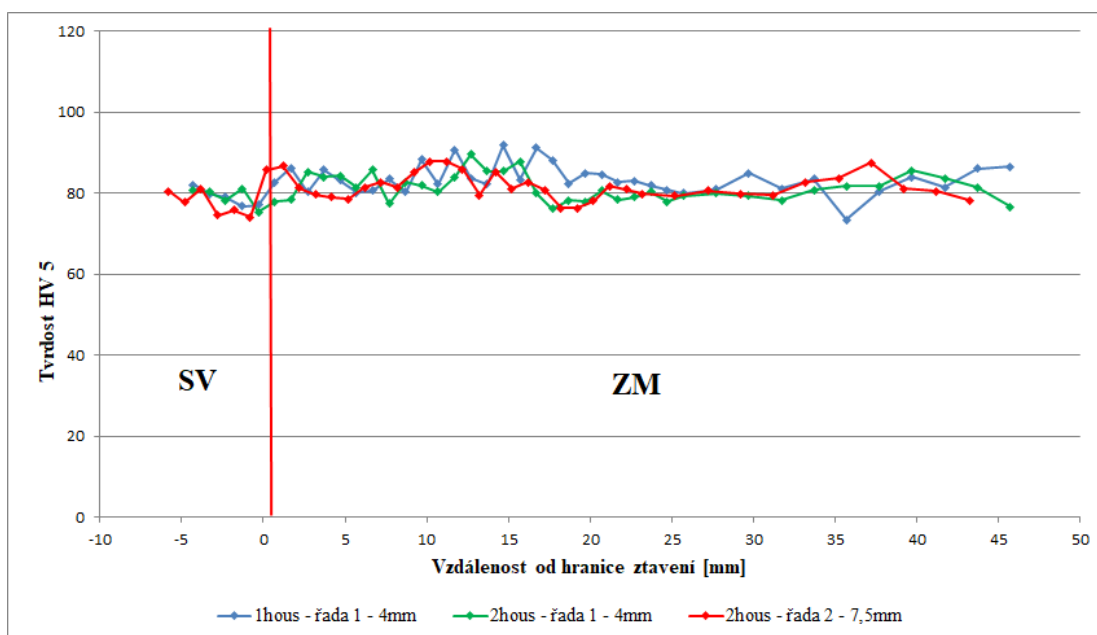
Obr. 20 Graf průběhu tvrdosti HV 5 po RŽ pro svar 1



Obr. 21 Graf průběhu tvrdosti HV 5 po TZ 175°C – 4 h pro svar 1

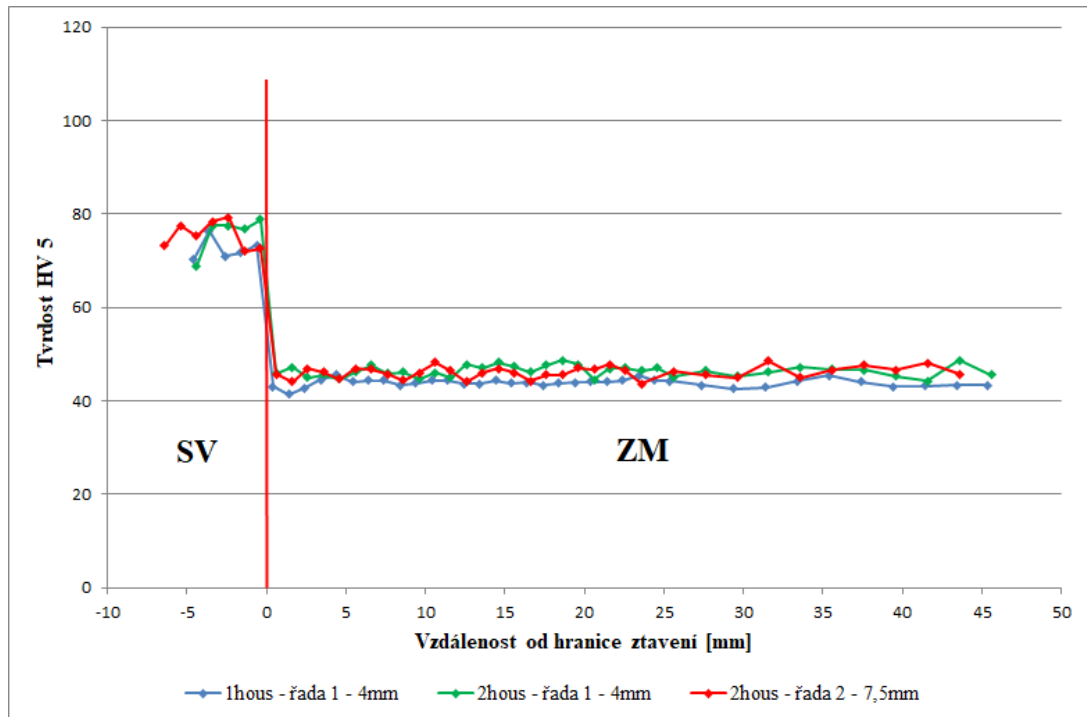


Obr. 22 Graf průběhu tvrdosti HV 5 po TZ 190°C – 2 h pro svar 1

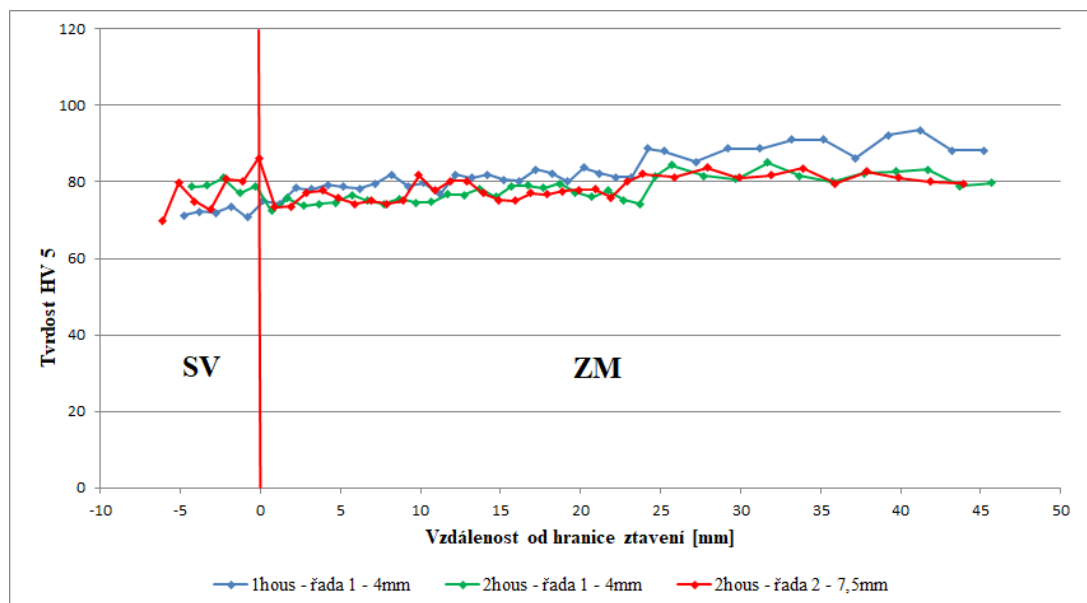


Obr. 23 Graf průběhu tvrdosti HV 5 po TZ 160°C – 8 h pro svar 1

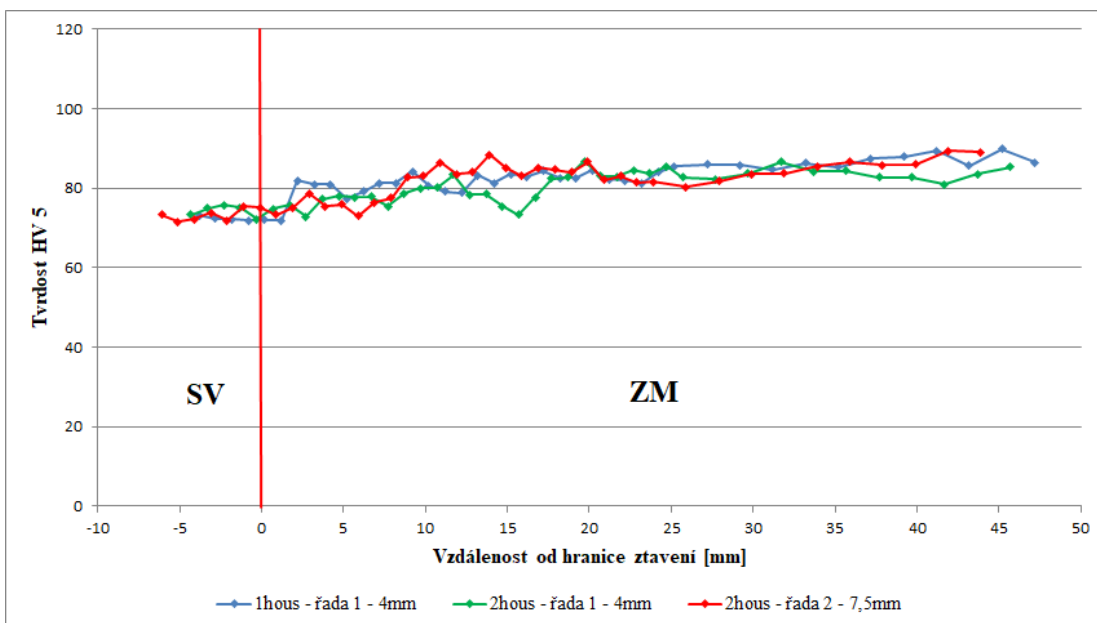
Tabulky naměřených hodnot pro svar 2 po rozpouštěcím žihání a pro jednotlivé procesy umělého stárnutí jsou uvedeny v příloze 6. Grafický průběh tvrdosti svaru 2 po rozpouštěcím žihání je na obr. 24, na obr. 25 je zobrazen průběh tvrdosti po umělém stárnutí za teploty 175 °C po dobu 4 h. Na obr. 26 je ukázán průběh tvrdosti po umělém stárnutí za teploty 190 °C po dobu 2 h a na obr. 27 po umělém stárnutí za teploty 160 °C a po dobu 8 h.



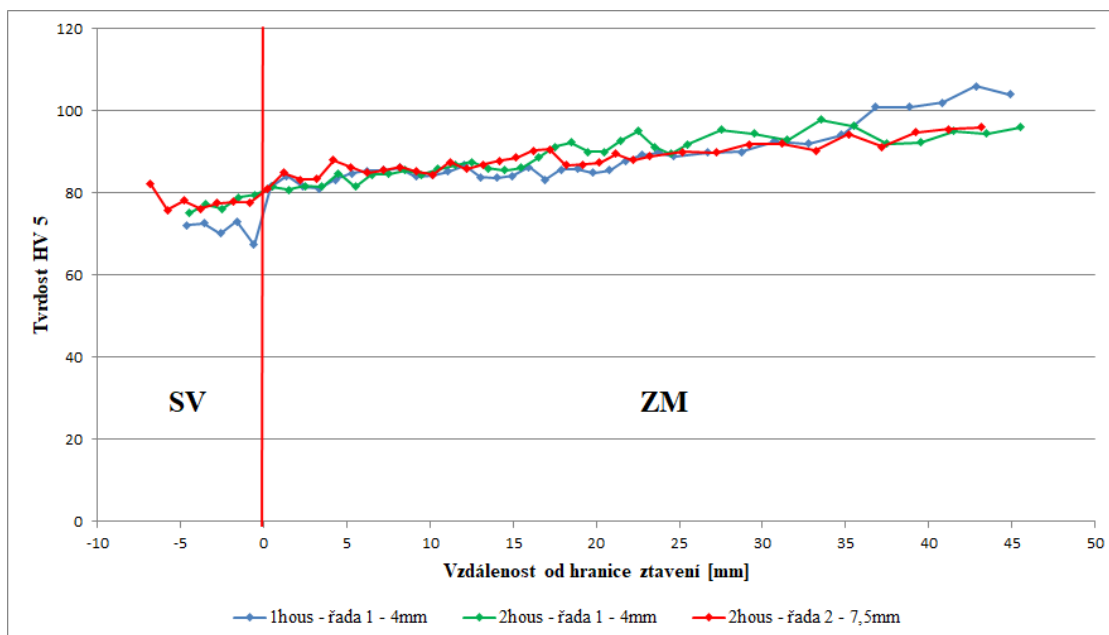
Obr. 24 Graf průběhu tvrdosti HV 5 po RŽ pro svar 2



Obr. 25 Graf průběhu tvrdosti HV 5 po TZ 175 °C – 4 h pro svar 2



Obr. 26 Graf průběhu tvrdosti HV 5 po TZ 190°C – 2 h pro svar 2



Obr. 27 Graf průběhu tvrdosti HV 5 po TZ 160°C – 8 h pro svar 2

4. Diskuze výsledků

Technologie svařování s použitím přídavného materiálu je jedním z nečastějších způsobů nerozebíratelného spojování dvou, nebo více materiálů. Z hlediska pevnostního návrhu svařované konstrukce a predikce jejího chování při následném zatížení je důležitá znalost změny mechanických vlastností v oblasti svarového spoje.

V práci byla řešena problematika změny mechanických vlastností u vzorků svařovaných s jednou, případně se dvěma housenkami v kombinaci s tepelným zpracováním (vytvrzováním). S ohledem na technickou praxi mají největší přínos výsledky stanovené u dvouvrstvého svaru, kdy je pro dané místo svarového spoje zřejmý vliv vícenásobného teplotního cyklu. Při svařování větších tlouštěk hliníkových profilů jsou z důvodu vysoké intenzity odvodu tepla od místa svaru vyžadovány přehřevy. V práci je proto posouzen také vliv přehřevu na velikost TOO.

Z dosažených výsledků je patrné, že v oblasti svarového kovu dochází jen k velmi malým změnám tvrdosti v rozmezí 70 až 80 HV 5. To je dáno použitím nevytvrditelného přídavného materiálu, který je standardně využíván z důvodu eliminace náchylnosti k trhlinám za horka ve svarovém kovu. Intenzita promíšení se základním materiálem pak není dostatečná k tomu, aby bylo možné i v této oblasti dosáhnout mechanických vlastností vytvrditelného základního materiálu.

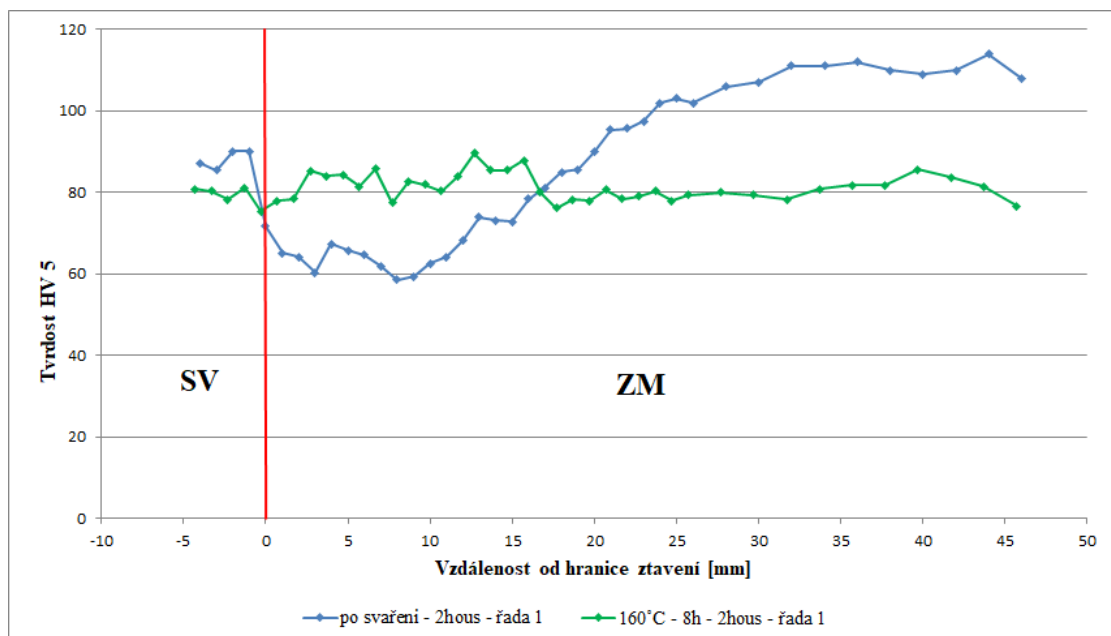
U *svaru 1 bez přehřevu* došlo po svaření první housenky s vneseným teplem $5,35 \text{ kJ.cm}^{-1}$, k poklesu tvrdosti v místě řady 1 na hodnotu 68 HV 5 (tj. cca o 37 % oproti základnímu materiálu) při šířce TOO 8 mm. Po svaření druhé housenky, jejíž vnesené teplo bylo $15,19 \text{ kJ.cm}^{-1}$, došlo ve stejném místě TOO k dalšímu poklesu tvrdosti na hodnotu 60 HV 5 (tj. cca o 43 % oproti základnímu materiálu) a k rozšíření TOO na 25 mm.

U *svaru 2 s přehřevem* došlo po svaření první housenky s vneseným teplem $4,79 \text{ kJ.cm}^{-1}$ k poklesu tvrdosti v místě řady 1 na hodnotu 66 HV 5 (tj. cca o 39 % oproti základnímu materiálu) a šířka TOO byla cca 9 mm. Po svaření druhé housenky, u které vnesené teplo bylo $13,99 \text{ kJ.cm}^{-1}$, došlo k dalšímu poklesu tvrdosti na hodnotu 55 HV 5 (tj. až na polovinu z původní hodnoty 110 HV 5) a TOO se rozšířila na hodnotu 35 mm. Přehřev tedy způsobil snížení hodnoty tvrdosti HV 5 v TOO a zároveň rozšíření této oblasti ve srovnání se svarem bez přehřevu (svar 1).

K obnově vlastností je nutné aplikovat nejprve rozpouštěcí žíhání a následně umělé stárnutí. Po aplikaci rozpouštěcího žíhání ($545 \text{ }^\circ\text{C}$ po dobu 1 hodiny) na *svar 1 bez přehřevu* došlo

k poklesu tvrdosti v TOO a základním materiálu více než o polovinu, hodnota tvrdosti poklesla až na hodnotu 45 HV 5. Vzhledem k tomu, že byl použit nevytvrditelný přídavný materiál, tak ve svarovém kovu k výrazné změně nedošlo. Následným umělým stárnutím bylo docíleno částečného obnovení mechanických vlastností (tvrdosti). K největšímu nárůstu hodnot tvrdosti základního materiálu a TOO došlo během umělého stárnutí při teplotě 160 °C po dobu 8 hodin, viz obr. 23. Hodnoty tvrdosti se pohybují okolo 80 HV 5 (tj. zlepšení o cca 25 % oproti stavu po svaření). Naopak během umělého stárnutí za teploty 190 °C po dobu 2 hodin došlo k nejmenšímu nárůstu hodnot, viz obr 22. Hodnoty tvrdosti se pohybují okolo 68 HV 5 (tj. zlepšení o cca 12 % oproti stavu po svaření).

Vzhledem k tomu, že největší pokles tvrdosti v nejširší TOO byl zjištěn u dvouvrstvého svaru v místě řady 1, je na obr. 28 ukázáno porovnání průběhu tvrdosti mezi vzorkem po svaření a vzorkem, na kterém bylo aplikováno umělé stárnutí s teplotou 160 °C po dobu 8 hodin. Jak již bylo uvedeno, po svaření došlo v TOO k poklesu tvrdosti až na hodnotu 60 HV 5. Po aplikaci umělého stárnutí při teplotě 160 °C po dobu 8 hodin došlo ke zvýšení tvrdosti v TOO a poklesu tvrdosti v základním materiálu, tj. došlo tedy ke zrovnornění tvrdosti mezi TOO a ZM. Tvrdost svařeného vzorku v TOO a ZM se pohybuje okolo 80 HV 5.



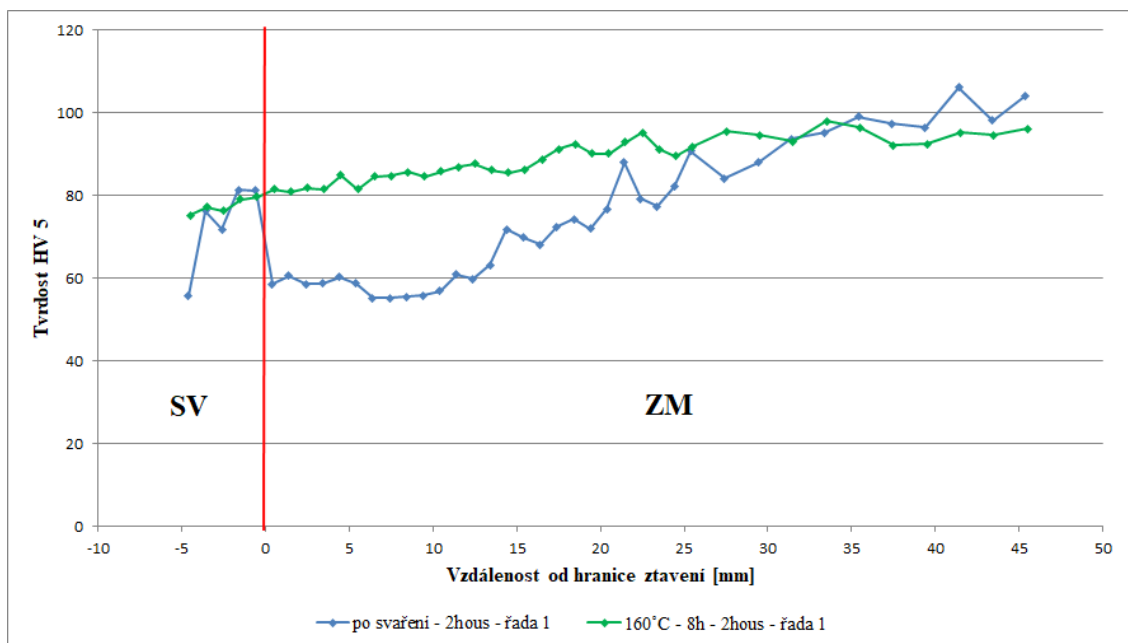
Obr. 28 Graf průběhu tvrdosti HV 5 po svaření a TZ 160 °C – 8h pro svar 1

U svaru 2 s předehřevem po rozpouštěcím žíhání došlo ke stejnému poklesu tvrdosti v TOO a základním materiálu jako u svaru 1 bez předehřevu. Po umělém stárnutí bylo dosaženo vyšších hodnot tvrdosti, než u svaru 1. K největšímu nárůstu hodnot tvrdosti základního

materiálu a TOO došlo za stejných podmínek umělého stárnutí jako u svaru 1, tj. při teplotě 160 °C dobu 8 hodin, viz obr. 27. Během umělého stárnutí za teploty 175 °C po dobu 4 hodin, viz obr. 25, došlo téměř ke stejnému nárůstu hodnot jako za teploty 190 °C po dobu 2 hodin, viz obr. 26. Hodnoty tvrdosti se pohybovaly okolo hodnoty 80 HV 5.

Na obr. 29 je obdobně jako v případě svaru 1 porovnání průběhu tvrdosti mezi vzorkem po svaření a vzorkem, na kterém bylo aplikováno umělé stárnutí s teplotou 160 °C po dobu 8 hodin.

Jak lze z průběhu grafu vidět, v TOO v blízkosti svarového kovu došlo po svaření k významnému poklesu tvrdosti až na hodnotu 55 HV 5. Následně pomocí umělého stárnutí došlo ke zvýšení tvrdosti v TOO o cca 30 HV 5 a mírnému poklesu tvrdosti v základním materiálu. Tím bylo docíleno požadovaného zrovnoměnění mechanických vlastností svaru mezi TOO a ZM.



Obr. 29 Graf průběhu tvrdosti HV 5 po svaření a TZ 160 °C – 8h pro svar 2

5. Závěr

Cílem bakalářské práce bylo posouzení vlivu svařování na degradaci mechanických vlastností v TOO svarů u materiálu AW 6005 a dále posouzení možnosti využití tepelného zpracování k minimalizaci těchto účinků.

Práce je rozdělena do dvou částí na teoretickou a experimentální. Teoretická část se věnuje hliníku a jeho slitinám, tepelnému zpracování za účelem zvýšení mechanických vlastností. Samostatná kapitola se zabývá základními metodami využitelnými pro svařování slitin hliníku.

Experimentální část byla rozdělena do několika částí. V první části byly popsány základní vlastnosti použitého materiálu AW 6005 a jeho mechanické vlastnosti. Ve druhé části byly provedeny samotné svařovací experimenty. Svary byly realizovány jako dvouvrstvé (svar 1 – bez předehřevu, svar 2 s předehřevem) ručně metodou MIG.

Třetí část experimentu se věnovala vlivu svařovacích procesů na změny mechanických vlastností. Změny mechanických vlastností byly určovány pomocí měření tvrdosti dle Vickerse HV 5 v souladu s normou ČSN EN ISO 6507-1. S ohledem na technickou praxi mají největší přínos výsledky stanovené u dvouvrstvého svaru, kdy je pro dané místo svarového spoje zřejmý vliv vícenásobného teplotního cyklu. V práci byl posouzen také vliv předehřevu na velikost TOO.

Poslední část experimentu byla zaměřena na vliv tepelného zpracování na změnu tvrdosti u svarů. Po rozpouštěcím žíhání při teplotě 545 °C po dobu jedné hodiny došlo u svarů k vyrovnání hodnot tvrdosti v TOO a základním materiálu. Hodnota tvrdosti se pohybovala okolo 45 HV u obou svarů. Pouze u hodnot tvrdosti svarového kovu nedošlo k výrazným změnám, protože byl použit nevytvrditelný přídavný materiál AlMg 4,5 MnZr.

Po umělém stárnutí došlo na jedné straně k mírnému poklesu tvrdosti v základním materiálu, ale na straně druhé k částečnému obnovení mechanických vlastností v TOO a tím ke zrovnoměnění tvrdosti mezi TOO a základním materiálem. Nejvyšších tvrdostí bylo dosaženo při umělém stárnutí za teploty 160 °C po dobu 8 hodin.

Na závěr lze konstatovat, že průmyslová praxe vyžaduje s ohledem na intenzitu odvodu tepla z místa svaru předehřevy základního materiálu. Předehřev snižuje pravděpodobnost vzniku vad typu studených spojů atd. Zároveň ale rozšiřuje TOO. Vhodným tepelným zpracováním, však lze mechanické vlastnosti v TOO do jisté míry obnovit.

6. Použitá literatura

- [1] MICHNA, Š. a kol. *Encyklopedie hliníku*. Prešov: ADIN, 2005. ISBN 80-89041-88-4.
- [2] Periodická tabulka Hliník. [2019-03-19]. Dostupné z WWW: <http://www.prvky.com/13.html#vlastnosti>
- [3] Global demand for semi-finished aluminum products in 2017, by sector. [2019-06-11]. Dostupné z WWW: <https://www.statista.com/statistics/280983/share-of-aluminum-consumption-by-sector/>
- [4] RIEDL, L. Vliv umělého a přirozeného stárnutí na mechanické vlastnosti svarů u vytvrditelných slitin hliníku AW 6082. [Diplomová práce]. Liberec: Technická univerzita v Liberci – Fakulta strojní, 2015.
- [5] ROUČKA, J. *Metalurgie neželezných slitin*. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2004. ISBN 80-214-2790-6.
- [6] PTÁČEK, L. *Nauka o materiálu II*. [1. vyd.]. Brno: CERM, 1999. ISBN 80-7204-130-4.
- [7] Hliník a slitiny hliníku. [2019-03-19]. Dostupné z WWW: <http://docplayer.cz/12907143-Hlinik-a-slitiny-hliniku.html>
- [8] Technické údaje o hliníku. [2019-03-20]. Dostupné z WWW: <https://proal.cz/info/slitiny-hliniku/en-aw-6005A/>
- [9] SLAVÍČEK, J. Hliník a jeho slitiny v automobilovém průmyslu. [Bakalářská práce]. Brno: Vysoké učení technické v Brně – Fakulta strojního inženýrství, 2011.
- [10] Tepelné zpracování. [2019-03-21]. Dostupné z WWW: <http://www.alunet.cz/tepelne-zpracovani>
- [11] KOLÁŘ, V. Svařitelnost hliníkových slitin. [2019-03-21]. Dostupné z WWW: <http://www.cws-anb.cz/t.py?t=2&i=502>
- [12] KOUTNÝ, J. Hliníkové materiály a možnosti jejich svařování. [cit. 2019-03-21]. Dostupné z WWW: <http://www.svarbazar.cz/phprs/storage/hlinik.pdf>
- [13] Svařitelnost hliníkových slitin. [2019-03-21]. Dostupné z WWW: <https://www.mmspektrum.com/clanek/svaritelnost-hlinikovych-slitin.html>
- [14] Kolektiv autorů. *Technologie. Část 1., Slévání, svařování*. Liberec: TUL, 2006. ISBN 80-7372-052-3.
- [15] Kolektiv autorů. *Materiály a jejich svařitelnost*. Ostrava: Český svářečský ústav, 2009. ISBN 978-80-248-2025-5.

- [16] MORAVEC, J. *Vliv procesních parametrů na geometrii svarové lázně při svařování v ochranných atmosférách*. Liberec: TUL, 2011. ISBN 978-80-7372-805-2.
- [17] KUBÍČEK, J. Speciální metody tavného svařování. [2019-03-22]. Dostupné z WWW: <http://ust.fme.vutbr.cz/svarovani/img/opory/5te_technologie_2_specialni_metody_svarovani_kubicek.pdf>
- [18] SKALKA, J. Technologie svařování svazkem elektronů. [Bakalářská práce]. Brno: Vysoké učení technické v Brně – Fakulta strojního inženýrství, 2014.
- [19] ROUBÍČEK, M. Laserové svařování. [2019-03-23]. Dostupné z WWW: <<http://www.konstrukce.cz/clanek/laserove-svarovani-ekonomika-a-kvalita/>>
- [20] Kolektiv autorů. *Materiály a jejich svařitelnost*. Ostrava: ZEROSS 2001. ISBN 80-85771-85-3.
- [21] KUNCIPÁL, J. *Svařování pro konstruktéry a technology*. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1980.
- [22] ŠEBESTOVÁ, H. Přehled metod svařování. [2019-03-23]. Dostupné z WWW: <https://fyzika.upol.cz/cs/system/files/download/vujtek/granty/sebestova_prehled_metod_svarovani.pdf>
- [23] MORAVEC, J. *Teorie svařování a pájení II – Speciální metody svařování*. Liberec: TUL, 2009. ISBN 978-80-7372-439-9
- [24] Svařování metodou MIG. [2019-03-23]. Dostupné z WWW: <<https://docplayer.cz/12817760-Metoda-mig-mig-svarovani-mig-svarovani-mig-svarovani-plnenou-elektrodou-s-vlastni-ochranou-mig-mag-svarecky.html>>
- [25] Obloukové svařování wolframovou elektrodou v inertním plynu WIG (TIG) – 141. [2019-03-23]. Dostupné z WWW: <<http://homen.vsb.cz/~hla80/2009Svarovani/09-141.pdf>>
- [26] NOVOTNÝ, J. *Zváranie a rezanie hliníka*. Bratislava: Slov. vydav. techn. lit., 1964.

Přílohy

Seznam příloh

Příloha 1: Průběh proudu a napětí při svařování svaru 1

Příloha 2: Průběh proudu a napětí při svařování svaru 2

Příloha 3: Tabulky naměřených hodnot tvrdosti HV 5 po svaření pro svar 1

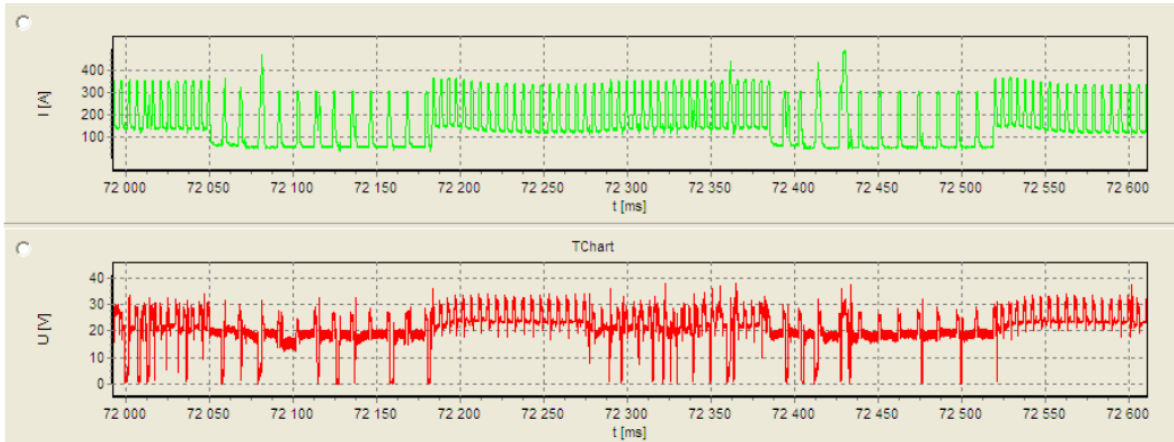
Příloha 4: Tabulky naměřených hodnot tvrdosti HV 5 po svaření pro svar 2

Příloha 5: Tabulky naměřených hodnot tvrdosti HV 5 po tepelném zpracování pro svar 1

Příloha 6: Tabulky naměřených hodnot tvrdosti HV 5 po tepelném zpracování pro svar 2

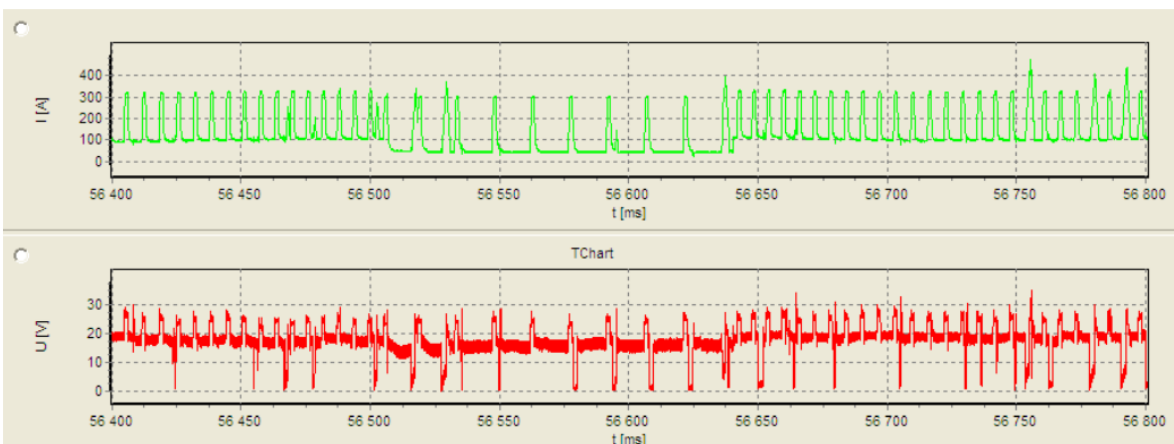
Příloha 1: Průběh proudu a napětí při svařování svaru 1

Grafické zobrazení signálu proudu a napětí programem Weld Monitor svar 1 - housenka 2

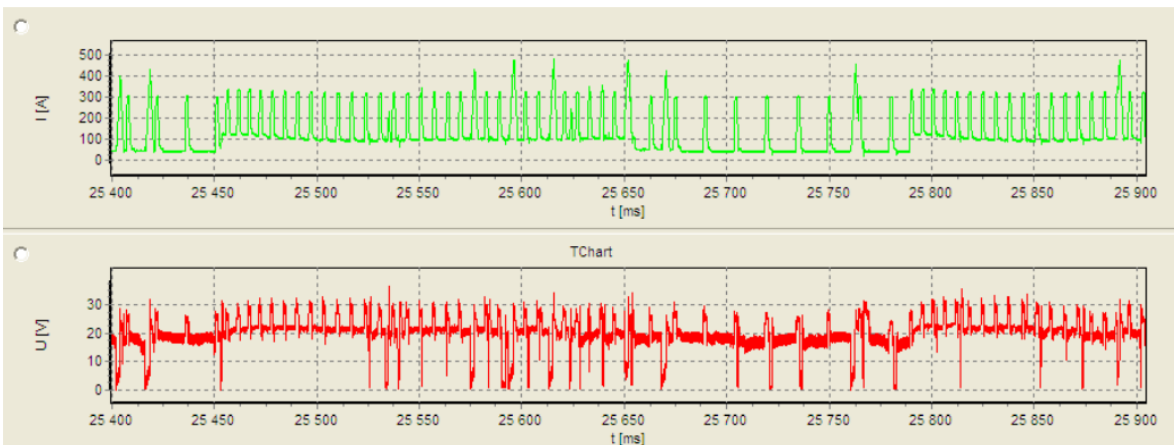


Příloha 2: Průběh proudu a napětí při svařování svaru 2

Grafické zobrazení signálu proudu a napětí programem Weld Monitor svar 2 – housenka 1



Grafické zobrazení signálu proudu a napětí programem Weld Monitor svar 2 – housenka 2



Příloha 3: Tabulky naměřených hodnot tvrdosti HV 5 po svaření svaru 1

Tab. Hodnoty tvrdosti HV 5 pro svar 1 – 2 housenky – řada 1 a 2 – po svaření

Pořadí	ŘADA 1				ŘADA 2			
	Tvrđost HV 5	Souřadnice x [mm]	Souřadnice y [mm]	Oblast vpichu	Tvrđost HV 5	Souřadnice x [mm]	Souřadnice y [mm]	Oblast vpichu
1	87,2	-4	4	svar	75,2	-6,2	7,5	svar
2	85,5	-3	4	svar	82,1	-5,2	7,5	svar
3	90,1	-2	4	svar	78,9	-4,2	7,5	svar
4	90,1	-1	4	svar	76,1	-3,2	7,5	svar
5	71,7	0	4	hranice	78,4	-2,2	7,5	svar
6	65,1	1	4	TOO	85,7	-1,2	7,5	svar
7	64,2	2	4	TOO	75,3	-0,2	7,5	svar
8	60,3	3	4	TOO	68,5	0,8	7,5	TOO
9	67,4	4	4	TOO	68,7	1,8	7,5	TOO
10	65,8	5	4	TOO	68,3	2,8	7,5	TOO
11	64,7	6	4	TOO	67,3	3,8	7,5	TOO
12	62	7	4	TOO	65,4	4,8	7,5	TOO
13	58,5	8	4	TOO	61,3	5,8	7,5	TOO
14	59,3	9	4	TOO	58	6,8	7,5	TOO
15	62,6	10	4	TOO	61,1	7,8	7,5	TOO
16	64,1	11	4	TOO	65,9	8,8	7,5	TOO
17	68,1	12	4	TOO	65,4	9,8	7,5	TOO
18	74	13	4	TOO	71	10,8	7,5	TOO
19	73,1	14	4	TOO	70,7	11,8	7,5	TOO
20	72,8	15	4	TOO	74,9	12,8	7,5	TOO
21	78,4	16	4	TOO	76,8	13,8	7,5	TOO
22	81,2	17	4	TOO	77,7	14,8	7,5	TOO
23	85	18	4	TOO	85,5	15,8	7,5	TOO
24	85,6	19	4	TOO	89,1	16,8	7,5	TOO
25	90	20	4	TOO	90,9	17,8	7,5	TOO
26	95,4	21	4	TOO	92,1	18,8	7,5	TOO
27	95,7	22	4	TOO	96,3	19,8	7,5	TOO
28	97,4	23	4	TOO	101	20,8	7,5	TOO
29	102	24	4	ZM	100	21,8	7,5	TOO
30	103	25	4	ZM	106	22,8	7,5	TOO
31	102	26	4	ZM	107	23,8	7,5	TOO
32	106	28	4	ZM	108	25,8	7,5	ZM
33	107	30	4	ZM	109	27,8	7,5	ZM
34	111	32	4	ZM	112	29,8	7,5	ZM
35	111	34	4	ZM	111	31,8	7,5	ZM
36	112	36	4	ZM	114	33,8	7,5	ZM
37	110	38	4	ZM	108	35,8	7,5	ZM
38	109	40	4	ZM	112	37,8	7,5	ZM
39	110	42	4	ZM	110	39,8	7,5	ZM
40	114	44	4	ZM	110	41,8	7,5	ZM
41	108	46	4	ZM	109	43,8	7,5	ZM

Příloha 4: Tabulky naměřených hodnot tvrdosti HV 5 po svaření svaru 2Tab. *Hodnoty tvrdosti HV 5 pro svar 2 – 1 housenka – řada 1 – po svaření*

Pořadí	Tvrdost HV 5	Souřadnice x [mm]	Souřadnice y [mm]	Oblast umístění vpichu
1	78,9	-3,2	4,0	svar
2	79,1	-2,2	4,0	svar
3	70,6	-1,2	4,0	svar
4	84,5	-0,2	4,0	svar
5	70,2	0,8	4,0	TOO
6	66,3	1,8	4,0	TOO
7	63,9	2,8	4,0	TOO
8	67,2	3,8	4,0	TOO
9	76,9	4,8	4,0	TOO
10	88,9	5,8	4,0	TOO
11	97,9	6,8	4,0	TOO
12	97,4	7,8	4,0	TOO
13	98,3	8,8	4,0	TOO
14	109,0	9,8	4,0	TOO
15	95,6	10,8	4,0	TOO
16	98,7	11,8	4,0	TOO
17	99,1	12,8	4,0	TOO
18	99,5	13,8	4,0	TOO
19	103,0	14,8	4,0	TOO
20	100,0	15,8	4,0	TOO
21	106,0	16,8	4,0	TOO
22	96,7	17,8	4,0	TOO
23	114,0	18,8	4,0	TOO
24	96,3	19,8	4,0	TOO
25	103,0	20,8	4,0	ZM
26	110,0	21,8	4,0	ZM
27	103,0	22,8	4,0	ZM
28	100,0	23,8	4,0	ZM
29	104,0	24,8	4,0	ZM
30	100,0	25,8	4,0	ZM
31	104,0	26,8	4,0	ZM
32	107,0	28,8	4,0	ZM
33	104,0	30,8	4,0	ZM
34	109,0	32,8	4,0	ZM
35	108,0	34,8	4,0	ZM
36	108,0	36,8	4,0	ZM
37	104,0	38,8	4,0	ZM
38	105,0	40,8	4,0	ZM
39	107,0	42,8	4,0	ZM
40	105,0	44,8	4,0	ZM
41	113,0	46,8	4,0	ZM

Tab. Hodnoty tvrdosti HV 5 pro svar 2 – 2 housenky – řada 1 a 2 – po svaření

Pořadí	ŘADA 1				ŘADA 2			
	Tvrđost HV 5	Souřadnice x [mm]	Souřadnice y [mm]	Oblast vpichu	Tvrđost HV 5	Souřadnice x [mm]	Souřadnice y [mm]	Oblast vpichu
1	71,6	-4,6	4,0	svar	68,3	-6,5	7,5	svar
2	76,2	-3,6	4,0	svar	75,5	-5,5	7,5	svar
3	71,8	-2,6	4,0	svar	74,3	-4,5	7,5	svar
4	81,3	-1,6	4,0	svar	71,6	-3,5	7,5	svar
5	81,2	-0,6	4,0	svar	74,2	-2,5	7,5	svar
6	58,5	0,4	4,0	TOO	73,7	-1,5	7,5	svar
7	60,5	1,4	4,0	TOO	72,3	-0,5	7,5	svar
8	58,5	2,4	4,0	TOO	62,2	0,5	7,5	TOO
9	58,7	3,4	4,0	TOO	62,6	1,5	7,5	TOO
10	60,2	4,4	4,0	TOO	63,2	2,5	7,5	TOO
11	58,7	5,4	4,0	TOO	61,3	3,5	7,5	TOO
12	55,1	6,4	4,0	TOO	58,7	4,5	7,5	TOO
13	55,1	7,4	4,0	TOO	58,5	5,5	7,5	TOO
14	55,4	8,4	4,0	TOO	57,9	6,5	7,5	TOO
15	55,7	9,4	4,0	TOO	53,2	7,5	7,5	TOO
16	56,9	10,4	4,0	TOO	53,8	8,5	7,5	TOO
17	60,9	11,4	4,0	TOO	58,2	9,5	7,5	TOO
18	59,7	12,4	4,0	TOO	59,6	10,5	7,5	TOO
19	63,2	13,4	4,0	TOO	64,2	11,5	7,5	TOO
20	71,8	14,4	4,0	TOO	67,6	12,5	7,5	TOO
21	69,7	15,4	4,0	TOO	67,5	13,5	7,5	TOO
22	68,1	16,4	4,0	TOO	71,1	14,5	7,5	TOO
23	72,3	17,4	4,0	TOO	70,8	15,5	7,5	TOO
24	74,2	18,4	4,0	TOO	77,8	16,5	7,5	TOO
25	71,9	19,4	4,0	TOO	74,3	17,5	7,5	TOO
26	76,6	20,4	4,0	TOO	85,7	18,5	7,5	TOO
27	87,9	21,4	4,0	TOO	74,0	19,5	7,5	TOO
28	79,2	22,4	4,0	TOO	78,0	20,5	7,5	TOO
29	77,3	23,4	4,0	TOO	79,1	21,5	7,5	TOO
30	82,0	24,4	4,0	TOO	86,8	22,5	7,5	TOO
31	90,7	25,4	4,0	TOO	84,7	23,5	7,5	TOO
32	84,0	27,4	4,0	TOO	88,2	25,5	7,5	TOO
33	87,9	29,4	4,0	TOO	86,7	27,5	7,5	TOO
34	93,6	31,4	4,0	TOO	86,8	29,5	7,5	TOO
35	95,1	33,4	4,0	TOO	97,3	31,5	7,5	TOO
36	98,9	35,4	4,0	ZM	97,3	33,5	7,5	TOO
37	97,3	37,4	4,0	ZM	95,1	35,5	7,5	TOO
38	96,3	39,4	4,0	ZM	101,0	37,5	7,5	ZM
39	106,0	41,4	4,0	ZM	101,0	39,5	7,5	ZM
40	98,1	43,4	4,0	ZM	102,0	41,5	7,5	ZM
41	104,0	45,4	4,0	ZM	111,0	43,5	7,5	ZM

Příloha 5: Tabulky naměřených hodnot tvrdosti HV 5 po tepelném zpracování pro svar 1

Tab. Hodnoty tvrdosti HV 5 po RŽ – svar 1 – 1 housenka – řada 1

Pořadí	Tvrdość HV 5	Souřadnice x [mm]	Souřadnice y [mm]	Oblast vpichu
1	58,7	-4,2	4,0	svar
2	65,8	-3,2	4,0	svar
3	66,7	-2,2	4,0	svar
4	67,0	-1,2	4,0	svar
5	62,4	-0,2	4,0	svar
6	45,2	0,8	4,0	TOO
7	47,8	1,8	4,0	TOO
8	43,4	2,8	4,0	TOO
9	44,3	3,8	4,0	TOO
10	49,1	4,8	4,0	TOO
11	45,6	5,8	4,0	TOO
12	47,1	6,8	4,0	TOO
13	49,6	7,8	4,0	TOO
14	43,9	8,8	4,0	ZM
15	43,4	9,8	4,0	ZM
16	42,5	10,8	4,0	ZM
17	45,7	11,8	4,0	ZM
18	45,5	12,8	4,0	ZM
19	42,8	13,8	4,0	ZM
20	42,9	14,8	4,0	ZM
21	42,0	15,8	4,0	ZM
22	43,3	16,8	4,0	ZM
23	43,5	17,8	4,0	ZM
24	43,3	18,8	4,0	ZM
25	43,2	19,8	4,0	ZM
26	44,1	20,8	4,0	ZM
27	41,4	21,8	4,0	ZM
28	44,0	22,8	4,0	ZM
29	41,1	23,8	4,0	ZM
30	45,2	24,8	4,0	ZM
31	42,8	25,8	4,0	ZM
32	45,2	27,8	4,0	ZM
33	43,5	29,8	4,0	ZM
34	43,3	31,8	4,0	ZM
35	43,8	33,8	4,0	ZM
36	46,5	35,8	4,0	ZM
37	44,4	37,8	4,0	ZM
38	44,4	39,8	4,0	ZM
39	44,5	41,8	4,0	ZM
40	46,1	43,8	4,0	ZM
41	45,3	45,8	4,0	ZM

Tab. Hodnoty tvrdosti HV 5 po RŽ – svar 1 – 2 housenky – řada 1 a 2

Pořadí	ŘADA 1				ŘADA 2			
	Tvrđost HV 5	Souřadnice x [mm]	Souřadnice y [mm]	Oblast vpichu	Tvrđost HV 5	Souřadnice x [mm]	Souřadnice y [mm]	Oblast vpichu
1	73,6	-4,2	4	svar	70,8	-6,4	7,5	svar
2	73	-3,2	4	svar	71,4	-5,4	7,5	svar
3	75,3	-2,2	4	svar	75,8	-4,4	7,5	svar
4	75,8	-1,2	4	svar	70,4	-3,4	7,5	svar
5	75,3	-0,2	4	svar	71,2	-2,4	7,5	svar
6	44,5	0,8	4	TOO	75,4	-1,4	7,5	svar
7	46,3	1,8	4	TOO	71,4	-0,4	7,5	svar
8	47,9	2,8	4	TOO	43,5	0,6	7,5	TOO
9	43,3	3,8	4	TOO	45,4	1,6	7,5	TOO
10	45,2	4,8	4	TOO	46,2	2,6	7,5	TOO
11	42,9	5,8	4	TOO	46	3,6	7,5	TOO
12	45,7	6,8	4	TOO	46,4	4,6	7,5	TOO
13	46,9	7,8	4	TOO	45,2	5,6	7,5	TOO
14	44,2	8,8	4	TOO	44,9	6,6	7,5	TOO
15	45,4	9,8	4	TOO	45,8	7,6	7,5	TOO
16	44,9	10,8	4	TOO	45,7	8,6	7,5	TOO
17	44,8	11,8	4	TOO	45	9,6	7,5	TOO
18	44,6	12,8	4	TOO	45	10,6	7,5	TOO
19	45,4	13,8	4	TOO	46,4	11,6	7,5	TOO
20	46,5	14,8	4	TOO	44,5	12,6	7,5	TOO
21	43	15,8	4	TOO	43,7	13,6	7,5	TOO
22	43,7	16,8	4	TOO	42,3	14,6	7,5	TOO
23	43,3	17,8	4	TOO	45,8	15,6	7,5	TOO
24	43,5	18,8	4	TOO	43,1	16,6	7,5	TOO
25	42,3	19,8	4	TOO	43,1	17,6	7,5	TOO
26	44,7	20,8	4	TOO	44,6	18,6	7,5	TOO
27	45,2	21,8	4	TOO	44,3	19,6	7,5	TOO
28	43	22,8	4	TOO	42,7	20,6	7,5	TOO
29	45,2	23,8	4	ZM	42,8	21,6	7,5	TOO
30	44,7	24,8	4	ZM	45,7	22,6	7,5	TOO
31	43,9	25,8	4	ZM	43,7	23,6	7,5	ZM
32	43,4	27,8	4	ZM	42,9	25,6	7,5	ZM
33	44,7	29,8	4	ZM	42,8	27,6	7,5	ZM
34	46,2	31,8	4	ZM	43,3	29,6	7,5	ZM
35	45,3	33,8	4	ZM	47,1	31,6	7,5	ZM
36	42,9	35,8	4	ZM	45,2	33,6	7,5	ZM
37	46,7	37,8	4	ZM	43,8	35,6	7,5	ZM
38	46	39,8	4	ZM	43,3	37,6	7,5	ZM
39	47,3	41,8	4	ZM	44,3	39,6	7,5	ZM
40	48,3	43,8	4	ZM	43,6	41,6	7,5	ZM
41	44,5	45,8	4	ZM	44,8	43,6	7,5	ZM

Tab. Hodnoty tvrdosti HV 5 TZ 175°C – 4h – svar 1 – 1 housenka – řada 1

Pořadí	Tvrđost HV 5	Souřadnice x [mm]	Souřadnice y [mm]	Oblast vpichu
1	76,2	-4,2	4,0	SV
2	77,7	-3,2	4,0	SV
3	79,8	-2,2	4,0	SV
4	79,2	-1,2	4,0	SV
5	80,3	-0,2	4,0	SV
6	81,3	0,8	4,0	TOO
7	79,2	1,8	4,0	TOO
8	79,3	2,8	4,0	TOO
9	83,5	3,8	4,0	TOO
10	83,8	4,8	4,0	TOO
11	84,2	5,8	4,0	TOO
12	86,4	6,8	4,0	TOO
13	83,9	7,8	4,0	TOO
14	83,7	8,8	4,0	ZM
15	81,2	9,8	4,0	ZM
16	80,9	10,8	4,0	ZM
17	82,7	11,8	4,0	ZM
18	83,5	12,8	4,0	ZM
19	83,4	13,8	4,0	ZM
20	81,7	14,8	4,0	ZM
21	83,7	15,8	4,0	ZM
22	85,2	16,8	4,0	ZM
23	87,4	17,8	4,0	ZM
24	85,3	18,8	4,0	ZM
25	85,7	19,8	4,0	ZM
26	85,0	20,8	4,0	ZM
27	83,2	21,8	4,0	ZM
28	85,0	22,8	4,0	ZM
29	85,7	23,8	4,0	ZM
30	86,6	24,8	4,0	ZM
31	84,6	25,8	4,0	ZM
32	82,2	27,8	4,0	ZM
33	80,9	29,8	4,0	ZM
34	85,0	31,8	4,0	ZM
35	84,0	33,8	4,0	ZM
36	90,7	35,8	4,0	ZM
37	87,1	37,8	4,0	ZM
38	85,7	39,8	4,0	ZM
39	81,4	41,8	4,0	ZM
40	76,3	43,8	4,0	ZM
41	78,7	45,8	4,0	ZM

Tab. Hodnoty tvrdosti HV 5 TZ 175°C – 4h – svar 1 – 2 housenky - řada 1 a 2

Pořadí	ŘADA 1				ŘADA 2			
	Tvrdost HV 5	Souřadnice x [mm]	Souřadnice y [mm]	Oblast vpichu	Tvrdost HV 5	Souřadnice x [mm]	Souřadnice y [mm]	Oblast vpichu
1	76,7	-3,6	4,0	svar	74,7	-5,4	7,5	svar
2	80,0	-2,6	4,0	svar	71,6	-4,4	7,5	svar
3	75,3	-1,6	4,0	svar	81,9	-3,4	7,5	svar
4	80,8	-0,6	4,0	svar	71,0	-2,4	7,5	svar
5	78,0	0,4	4,0	TOO	76,0	-1,4	7,5	svar
6	72,8	1,4	4,0	TOO	76,2	-0,4	7,5	svar
7	74,6	2,4	4,0	TOO	75,5	0,6	7,5	TOO
8	74,5	3,4	4,0	TOO	80,1	1,6	7,5	TOO
9	71,1	4,4	4,0	TOO	84,7	2,6	7,5	TOO
10	79,6	5,4	4,0	TOO	78,8	3,6	7,5	TOO
11	77,5	6,4	4,0	TOO	75,7	4,6	7,5	TOO
12	73,0	7,4	4,0	TOO	73,0	5,6	7,5	TOO
13	77,6	8,4	4,0	TOO	66,7	6,6	7,5	TOO
14	72,4	9,4	4,0	TOO	70,9	7,6	7,5	TOO
15	73,6	10,4	4,0	TOO	66,9	8,6	7,5	TOO
16	68,3	11,4	4,0	TOO	69,8	9,6	7,5	TOO
17	69,6	12,4	4,0	TOO	68,7	10,6	7,5	TOO
18	78,2	13,4	4,0	TOO	69,7	11,6	7,5	TOO
19	72,4	14,4	4,0	TOO	70,6	12,6	7,5	TOO
20	73,8	15,4	4,0	TOO	70,4	13,6	7,5	TOO
21	74,5	16,4	4,0	TOO	76,2	14,6	7,5	TOO
22	77,1	17,4	4,0	TOO	72,7	15,6	7,5	TOO
23	73,0	18,4	4,0	TOO	70,8	16,6	7,5	TOO
24	76,0	19,4	4,0	TOO	78,4	17,6	7,5	TOO
25	70,6	20,4	4,0	TOO	73,0	18,6	7,5	TOO
26	70,8	21,4	4,0	TOO	73,9	19,6	7,5	TOO
27	70,2	22,4	4,0	TOO	74,0	20,6	7,5	TOO
28	73,8	23,4	4,0	TOO	70,8	21,6	7,5	TOO
29	73,8	24,4	4,0	ZM	72,2	22,6	7,5	TOO
30	74,3	25,4	4,0	ZM	78,2	23,6	7,5	TOO
31	72,0	26,4	4,0	ZM	70,6	24,6	7,5	ZM
32	74,0	28,4	4,0	ZM	68,9	26,6	7,5	ZM
33	66,7	30,4	4,0	ZM	69,8	28,6	7,5	ZM
34	69,8	32,4	4,0	ZM	66,8	30,6	7,5	ZM
35	72,4	34,4	4,0	ZM	70,2	32,6	7,5	ZM
36	75,4	36,4	4,0	ZM	71,9	34,6	7,5	ZM
37	72,3	38,4	4,0	ZM	72,4	36,6	7,5	ZM
38	69,1	40,4	4,0	ZM	72,0	38,6	7,5	ZM
39	75,1	42,4	4,0	ZM	69,6	40,6	7,5	ZM
40	71,9	44,4	4,0	ZM	69,2	42,6	7,5	ZM
41	73,8	46,4	4,0	ZM	70,2	44,6	7,5	ZM

Tab. Hodnoty tvrdosti HV 5 TZ 190°C – 2h – svar 1 – 1 housenka – řada 1

Pořadí	Tvrdost HV 5	Souřadnice x [mm]	Souřadnice y [mm]	Oblast vpichu
1	62,0	-4,3	4,0	svar
2	77,3	-3,3	4,0	svar
3	77,7	-2,3	4,0	svar
4	78,9	-1,3	4,0	svar
5	81,9	-0,3	4,0	svar
6	70,5	0,7	4,0	TOO
7	72,1	1,7	4,0	TOO
8	71,6	2,7	4,0	TOO
9	72,6	3,7	4,0	TOO
10	73,4	4,7	4,0	TOO
11	77,0	5,7	4,0	TOO
12	69,1	6,7	4,0	TOO
13	74,1	7,7	4,0	TOO
14	71,0	8,7	4,0	ZM
15	68,7	9,7	4,0	ZM
16	73,2	10,7	4,0	ZM
17	73,8	11,7	4,0	ZM
18	73,4	12,7	4,0	ZM
19	68,3	13,7	4,0	ZM
20	68,4	14,7	4,0	ZM
21	71,2	15,7	4,0	ZM
22	70,5	16,7	4,0	ZM
23	79,1	17,7	4,0	ZM
24	78,2	18,7	4,0	ZM
25	83,0	19,7	4,0	ZM
26	83,7	20,7	4,0	ZM
27	79,3	21,7	4,0	ZM
28	77,1	22,7	4,0	ZM
29	73,9	23,7	4,0	ZM
30	77,1	24,7	4,0	ZM
31	79,3	25,7	4,0	ZM
32	78,0	27,7	4,0	ZM
33	79,8	29,7	4,0	ZM
34	78,9	31,7	4,0	ZM
35	79,3	33,7	4,0	ZM
36	74,9	35,7	4,0	ZM
37	74,4	37,7	4,0	ZM
38	73,5	39,7	4,0	ZM
39	73,2	41,7	4,0	ZM
40	75,2	43,7	4,0	ZM
41	76,6	45,7	4,0	ZM

Tab. Hodnoty tvrdosti HV 5 TZ 190°C – 2h – svar 1 – 2 housenky – řada 1 a 2

Pořadí	ŘADA 1				ŘADA 2			
	Tvrđost HV 5	Souřadnice x [mm]	Souřadnice y [mm]	Oblast vpichu	Tvrđost HV 5	Souřadnice x [mm]	Souřadnice y [mm]	Oblast vpichu
1	73,2	-4,3	4,0	svar	69,1	-6,2	7,5	svar
2	74,4	-3,3	4,0	svar	74,0	-5,2	7,5	svar
3	73,0	-2,3	4,0	svar	68,1	-4,2	7,5	svar
4	71,0	-1,3	4,0	svar	74,2	-3,2	7,5	svar
5	73,6	-0,3	4,0	svar	70,4	-2,2	7,5	svar
6	64,5	0,7	4,0	TOO	77,6	-1,2	7,5	svar
7	67,8	1,7	4,0	TOO	69,2	-0,2	7,5	svar
8	67,0	2,7	4,0	TOO	68,4	0,8	7,5	TOO
9	67,2	3,7	4,0	TOO	64,7	1,8	7,5	TOO
10	70,2	4,7	4,0	TOO	64,4	2,8	7,5	TOO
11	66,1	5,7	4,0	TOO	64,9	3,8	7,5	TOO
12	68,1	6,7	4,0	TOO	67,2	4,8	7,5	TOO
13	60,8	7,7	4,0	TOO	70,4	5,8	7,5	TOO
14	69,2	8,7	4,0	TOO	72,1	6,8	7,5	TOO
15	64,2	9,7	4,0	TOO	68,1	7,8	7,5	TOO
16	67,1	10,7	4,0	TOO	66,1	8,8	7,5	TOO
17	66,7	11,7	4,0	TOO	68,7	9,8	7,5	TOO
18	64,5	12,7	4,0	TOO	67,7	10,8	7,5	TOO
19	67,0	13,7	4,0	TOO	74,3	11,8	7,5	TOO
20	64,9	14,7	4,0	TOO	69,0	12,8	7,5	TOO
21	67,2	15,7	4,0	TOO	70,0	13,8	7,5	TOO
22	69,0	16,7	4,0	TOO	71,9	14,8	7,5	TOO
23	64,2	17,7	4,0	TOO	67,4	15,8	7,5	TOO
24	63,7	18,7	4,0	TOO	68,9	16,8	7,5	TOO
25	71,6	19,7	4,0	TOO	71,8	17,8	7,5	TOO
26	69,4	20,7	4,0	TOO	68,5	18,8	7,5	TOO
27	72,0	21,7	4,0	TOO	73,9	19,8	7,5	TOO
28	72,8	22,7	4,0	TOO	64,3	20,8	7,5	TOO
29	67,8	23,7	4,0	TOO	69,3	21,8	7,5	TOO
30	69,5	24,7	4,0	ZM	68,9	22,8	7,5	TOO
31	73,6	25,7	4,0	ZM	67,5	23,8	7,5	TOO
32	70,6	27,7	4,0	ZM	73,1	25,8	7,5	ZM
33	71,9	29,7	4,0	ZM	72,0	27,8	7,5	ZM
34	71,2	31,7	4,0	ZM	73,8	29,8	7,5	ZM
35	66,6	33,7	4,0	ZM	74,9	31,8	7,5	ZM
36	70,4	35,7	4,0	ZM	74,0	33,8	7,5	ZM
37	73,2	37,7	4,0	ZM	74,2	35,8	7,5	ZM
38	71,6	39,7	4,0	ZM	71,8	37,8	7,5	ZM
39	69,1	41,7	4,0	ZM	68,7	39,8	7,5	ZM
40	71,2	43,7	4,0	ZM	74,5	41,8	7,5	ZM
41	66,7	45,7	4,0	ZM	67,9	43,8	7,5	ZM

Tab. Hodnoty tvrdosti HV 5 TZ 160°C – 8h – svar 1 – 1 housenka – řada 1

Pořadí	Tvrdost HV 5	Souřadnice x [mm]	Souřadnice y [mm]	Oblast vpichu
1	82,1	-4,3	4,0	svar
2	79,8	-3,3	4,0	svar
3	79,1	-2,3	4,0	svar
4	76,8	-1,3	4,0	svar
5	77,2	-0,3	4,0	svar
6	82,8	0,7	4,0	TOO
7	86,3	1,7	4,0	TOO
8	80,3	2,7	4,0	TOO
9	85,8	3,7	4,0	TOO
10	83,2	4,7	4,0	TOO
11	80,1	5,7	4,0	TOO
12	80,7	6,7	4,0	TOO
13	83,5	7,7	4,0	TOO
14	80,3	8,7	4,0	ZM
15	88,4	9,7	4,0	ZM
16	82,2	10,7	4,0	ZM
17	90,7	11,7	4,0	ZM
18	83,7	12,7	4,0	ZM
19	82,2	13,7	4,0	ZM
20	91,8	14,7	4,0	ZM
21	83,4	15,7	4,0	ZM
22	91,2	16,7	4,0	ZM
23	88,2	17,7	4,0	ZM
24	82,4	18,7	4,0	ZM
25	85,0	19,7	4,0	ZM
26	84,7	20,7	4,0	ZM
27	82,7	21,7	4,0	ZM
28	83,0	22,7	4,0	ZM
29	82,0	23,7	4,0	ZM
30	80,8	24,7	4,0	ZM
31	80,0	25,7	4,0	ZM
32	81,0	27,7	4,0	ZM
33	85,0	29,7	4,0	ZM
34	81,2	31,7	4,0	ZM
35	83,5	33,7	4,0	ZM
36	73,4	35,7	4,0	ZM
37	80,5	37,7	4,0	ZM
38	84,0	39,7	4,0	ZM
39	81,5	41,7	4,0	ZM
40	86,1	43,7	4,0	ZM
41	86,5	45,7	4,0	ZM

Tab. Hodnoty tvrdosti HV 5 TZ 160°C – 8 h – svar 1 – 2 housenky – řada 1 a 2

Pořadí	ŘADA 1				ŘADA 2			
	Tvrđost HV 5	Souřadnice x [mm]	Souřadnice y [mm]	Oblast vpichu	Tvrđost HV 5	Souřadnice x [mm]	Souřadnice y [mm]	Oblast vpichu
1	80,8	-4,3	4,0	svar	72,2	-6,8	7,5	svar
2	80,3	-3,3	4,0	svar	80,5	-5,8	7,5	svar
3	78,2	-2,3	4,0	svar	77,7	-4,8	7,5	svar
4	81,2	-1,3	4,0	svar	81,2	-3,8	7,5	svar
5	75,3	-0,3	4,0	svar	74,5	-2,8	7,5	svar
6	77,9	0,7	4,0	TOO	75,8	-1,8	7,5	svar
7	78,4	1,7	4,0	TOO	74,1	-0,8	7,5	svar
8	85,3	2,7	4,0	TOO	85,8	0,2	7,5	TOO
9	84,0	3,7	4,0	TOO	86,8	1,2	7,5	TOO
10	84,4	4,7	4,0	TOO	81,3	2,2	7,5	TOO
11	81,5	5,7	4,0	TOO	79,7	3,2	7,5	TOO
12	85,7	6,7	4,0	TOO	79,1	4,2	7,5	TOO
13	77,5	7,7	4,0	TOO	78,6	5,2	7,5	TOO
14	82,7	8,7	4,0	TOO	81,5	6,2	7,5	TOO
15	82,0	9,7	4,0	TOO	82,7	7,2	7,5	TOO
16	80,3	10,7	4,0	TOO	81,5	8,2	7,5	TOO
17	84,0	11,7	4,0	TOO	85,2	9,2	7,5	TOO
18	89,6	12,7	4,0	TOO	87,9	10,2	7,5	TOO
19	85,5	13,7	4,0	TOO	87,9	11,2	7,5	TOO
20	85,5	14,7	4,0	TOO	86,0	12,2	7,5	TOO
21	87,9	15,7	4,0	TOO	79,6	13,2	7,5	TOO
22	80,0	16,7	4,0	TOO	85,3	14,2	7,5	TOO
23	76,2	17,7	4,0	TOO	81,2	15,2	7,5	TOO
24	78,2	18,7	4,0	TOO	82,7	16,2	7,5	TOO
25	78,0	19,7	4,0	TOO	80,8	17,2	7,5	TOO
26	80,7	20,7	4,0	TOO	76,4	18,2	7,5	TOO
27	78,4	21,7	4,0	TOO	76,4	19,2	7,5	TOO
28	79,1	22,7	4,0	TOO	78,1	20,2	7,5	TOO
29	80,3	23,7	4,0	TOO	81,7	21,2	7,5	TOO
30	78,0	24,7	4,0	ZM	81,0	22,2	7,5	TOO
31	79,4	25,7	4,0	ZM	79,8	23,2	7,5	TOO
32	80,0	27,7	4,0	ZM	79,3	25,2	7,5	ZM
33	79,4	29,7	4,0	ZM	80,6	27,2	7,5	ZM
34	78,2	31,7	4,0	ZM	79,8	29,2	7,5	ZM
35	80,8	33,7	4,0	ZM	79,6	31,2	7,5	ZM
36	81,7	35,7	4,0	ZM	82,7	33,2	7,5	ZM
37	81,7	37,7	4,0	ZM	83,7	35,2	7,5	ZM
38	85,6	39,7	4,0	ZM	87,6	37,2	7,5	ZM
39	83,7	41,7	4,0	ZM	81,2	39,2	7,5	ZM
40	81,4	43,7	4,0	ZM	80,5	41,2	7,5	ZM
41	76,6	45,7	4,0	ZM	78,2	43,2	7,5	ZM

Příloha 6: Tabulky naměřených hodnot tvrdosti HV 5 po tepelném zpracování pro svar 2

Tab. Hodnoty tvrdosti HV 5 po RŽ – svar 2 – 1houseska – řada 1

Pořadí	Tvrdost HV 5	Souřadnice x [mm]	Souřadnice y [mm]	Oblast vpichu
1	70,40	-4,60	4,00	svar
2	76,30	-3,60	4,00	svar
3	71,00	-2,60	4,00	svar
4	71,70	-1,60	4,00	svar
5	73,30	-0,60	4,00	svar
6	43,10	0,40	4,00	TOO
7	41,40	1,40	4,00	TOO
8	42,80	2,40	4,00	TOO
9	44,50	3,40	4,00	TOO
10	45,50	4,40	4,00	TOO
11	44,10	5,40	4,00	TOO
12	44,30	6,40	4,00	TOO
13	44,30	7,40	4,00	TOO
14	43,30	8,40	4,00	TOO
15	43,70	9,40	4,00	ZM
16	44,30	10,40	4,00	ZM
17	44,40	11,40	4,00	ZM
18	43,60	12,40	4,00	ZM
19	43,60	13,40	4,00	ZM
20	44,30	14,40	4,00	ZM
21	43,70	15,40	4,00	ZM
22	43,90	16,40	4,00	ZM
23	43,30	17,40	4,00	ZM
24	43,80	18,40	4,00	ZM
25	43,90	19,40	4,00	ZM
26	44,10	20,40	4,00	ZM
27	44,00	21,40	4,00	ZM
28	44,40	22,40	4,00	ZM
29	45,40	23,40	4,00	ZM
30	44,30	24,40	4,00	ZM
31	44,20	25,40	4,00	ZM
32	43,40	27,40	4,00	ZM
33	42,60	29,40	4,00	ZM
34	42,90	31,40	4,00	ZM
35	44,20	33,40	4,00	ZM
36	45,40	35,40	4,00	ZM
37	44,10	37,40	4,00	ZM
38	43,00	39,40	4,00	ZM
39	43,20	41,40	4,00	ZM
40	43,40	43,40	4,00	ZM
41	43,40	45,40	4,00	ZM

Tab. Hodnoty tvrdosti HV 5 po RŽ – svar 2 – 2housesky – řada 1 a 2

Pořadí	ŘADA 1				ŘADA 2			
	Tvrđost HV 5	Souřadnice x [mm]	Souřadnice y [mm]	Oblast vpichu	Tvrđost HV 5	Souřadnice x [mm]	Souřadnice y [mm]	Oblast vpichu
1	68,8	-4,4	4,0	svar	73,2	-6,4	7,5	svar
2	77,5	-3,4	4,0	svar	77,4	-5,4	7,5	svar
3	77,5	-2,4	4,0	svar	75,3	-4,4	7,5	svar
4	76,8	-1,4	4,0	svar	78,4	-3,4	7,5	svar
5	78,8	-0,4	4,0	svar	79,3	-2,4	7,5	svar
6	45,9	0,6	4,0	TOO	72,0	-1,4	7,5	svar
7	47,2	1,6	4,0	TOO	72,6	-0,4	7,5	svar
8	45,0	2,6	4,0	TOO	45,7	0,6	7,5	TOO
9	45,6	3,6	4,0	TOO	44,1	1,6	7,5	TOO
10	44,7	4,6	4,0	TOO	46,9	2,6	7,5	TOO
11	46,2	5,6	4,0	TOO	46,2	3,6	7,5	TOO
12	47,6	6,6	4,0	TOO	44,6	4,6	7,5	TOO
13	45,8	7,6	4,0	TOO	46,9	5,6	7,5	TOO
14	46,1	8,6	4,0	TOO	46,8	6,6	7,5	TOO
15	44,7	9,6	4,0	TOO	45,7	7,6	7,5	TOO
16	46,0	10,6	4,0	TOO	44,3	8,6	7,5	TOO
17	44,9	11,6	4,0	TOO	46,0	9,6	7,5	TOO
18	47,8	12,6	4,0	TOO	48,2	10,6	7,5	TOO
19	47,0	13,6	4,0	TOO	46,4	11,6	7,5	TOO
20	48,2	14,6	4,0	TOO	44,0	12,6	7,5	TOO
21	47,3	15,6	4,0	TOO	46,0	13,6	7,5	TOO
22	46,1	16,6	4,0	TOO	46,9	14,6	7,5	TOO
23	47,7	17,6	4,0	TOO	46,0	15,6	7,5	TOO
24	48,6	18,6	4,0	TOO	44,2	16,6	7,5	TOO
25	47,8	19,6	4,0	TOO	45,5	17,6	7,5	TOO
26	44,5	20,6	4,0	TOO	45,5	18,6	7,5	TOO
27	46,9	21,6	4,0	TOO	47,0	19,6	7,5	TOO
28	47,1	22,6	4,0	TOO	46,7	20,6	7,5	TOO
29	46,5	23,6	4,0	TOO	47,8	21,6	7,5	TOO
30	47,0	24,6	4,0	TOO	46,4	22,6	7,5	TOO
31	45,1	25,6	4,0	TOO	43,6	23,6	7,5	TOO
32	46,4	27,6	4,0	TOO	46,3	25,6	7,5	TOO
33	45,2	29,6	4,0	TOO	45,6	27,6	7,5	TOO
34	46,1	31,6	4,0	TOO	44,9	29,6	7,5	TOO
35	47,2	33,6	4,0	TOO	48,5	31,6	7,5	TOO
36	46,7	35,6	4,0	ZM	45,0	33,6	7,5	TOO
37	46,6	37,6	4,0	ZM	46,6	35,6	7,5	ZM
38	45,3	39,6	4,0	ZM	47,6	37,6	7,5	ZM
39	44,2	41,6	4,0	ZM	46,6	39,6	7,5	ZM
40	48,6	43,6	4,0	ZM	48,1	41,6	7,5	ZM
41	45,5	45,6	4,0	ZM	45,7	43,6	7,5	ZM

Tab. Hodnoty tvrdosti HV 5 TZ 175°C – 4h – svar 2 – 1houseska – řada 1

Pořadí	Tvrđost HV 5	Souřadnice x [mm]	Souřadnice y [mm]	Oblast vpichu
1	71,3	-4,8	4,0	svar
2	72,3	-3,8	4,0	svar
3	72,0	-2,8	4,0	svar
4	73,6	-1,8	4,0	svar
5	70,8	-0,8	4,0	svar
6	75,1	0,2	4,0	TOO
7	74,2	1,2	4,0	TOO
8	78,4	2,2	4,0	TOO
9	78,0	3,2	4,0	TOO
10	79,3	4,2	4,0	TOO
11	78,7	5,2	4,0	TOO
12	78,2	6,2	4,0	TOO
13	79,6	7,2	4,0	TOO
14	81,9	8,2	4,0	TOO
15	78,9	9,2	4,0	TOO
16	79,8	10,2	4,0	ZM
17	76,8	11,2	4,0	ZM
18	81,9	12,2	4,0	ZM
19	81,0	13,2	4,0	ZM
20	81,9	14,2	4,0	ZM
21	80,5	15,2	4,0	ZM
22	80,3	16,2	4,0	ZM
23	83,2	17,2	4,0	ZM
24	82,2	18,2	4,0	ZM
25	80,1	19,2	4,0	ZM
26	83,7	20,2	4,0	ZM
27	82,2	21,2	4,0	ZM
28	81,2	22,2	4,0	ZM
29	81,3	23,2	4,0	ZM
30	88,7	24,2	4,0	ZM
31	88,1	25,2	4,0	ZM
32	85,2	27,2	4,0	ZM
33	88,7	29,2	4,0	ZM
34	88,7	31,2	4,0	ZM
35	91,0	33,2	4,0	ZM
36	91,0	35,2	4,0	ZM
37	86,3	37,2	4,0	ZM
38	92,3	39,2	4,0	ZM
39	93,6	41,2	4,0	ZM
40	88,2	43,2	4,0	ZM
41	88,2	45,2	4,0	ZM

Tab. Hodnoty tvrdosti HV 5 TZ 175°C – 4h – svar 1 – 2housesky- řada 1 a 2

Pořadí	ŘADA 1				ŘADA 2			
	Tvrđost HV 5	Souřadnice x [mm]	Souřadnice y [mm]	Oblast vpichu	Tvrđost HV 5	Souřadnice x [mm]	Souřadnice y [mm]	Oblast vpichu
1	78,7	-4,3	4,0	svar	70,0	-6,1	7,5	svar
2	79,1	-3,3	4,0	svar	79,7	-5,1	7,5	svar
3	81,0	-2,3	4,0	svar	74,9	-4,1	7,5	svar
4	77,1	-1,3	4,0	svar	72,8	-3,1	7,5	svar
5	78,9	-0,3	4,0	svar	80,7	-2,1	7,5	svar
6	72,4	0,7	4,0	TOO	80,3	-1,1	7,5	svar
7	75,7	1,7	4,0	TOO	86,2	-0,1	7,5	svar
8	73,8	2,7	4,0	TOO	73,4	0,9	7,5	TOO
9	74,3	3,7	4,0	TOO	73,6	1,9	7,5	TOO
10	74,5	4,7	4,0	TOO	77,2	2,9	7,5	TOO
11	76,6	5,7	4,0	TOO	77,7	3,9	7,5	TOO
12	75,0	6,7	4,0	TOO	75,7	4,9	7,5	TOO
13	74,2	7,7	4,0	TOO	74,2	5,9	7,5	TOO
14	75,5	8,7	4,0	TOO	75,1	6,9	7,5	TOO
15	74,5	9,7	4,0	TOO	74,2	7,9	7,5	TOO
16	74,8	10,7	4,0	TOO	75,1	8,9	7,5	TOO
17	76,8	11,7	4,0	TOO	81,7	9,9	7,5	TOO
18	76,5	12,7	4,0	TOO	77,7	10,9	7,5	TOO
19	78,3	13,7	4,0	TOO	80,3	11,9	7,5	TOO
20	76,1	14,7	4,0	TOO	80,3	12,9	7,5	TOO
21	78,9	15,7	4,0	TOO	77,0	13,9	7,5	TOO
22	79,1	16,7	4,0	TOO	75,3	14,9	7,5	TOO
23	78,4	17,7	4,0	TOO	75,0	15,9	7,5	TOO
24	79,6	18,7	4,0	TOO	77,0	16,9	7,5	TOO
25	77,3	19,7	4,0	TOO	76,8	17,9	7,5	TOO
26	76,0	20,7	4,0	TOO	77,5	18,9	7,5	TOO
27	77,7	21,7	4,0	TOO	77,9	19,9	7,5	TOO
28	75,2	22,7	4,0	TOO	78,0	20,9	7,5	TOO
29	74,2	23,7	4,0	TOO	75,9	21,9	7,5	TOO
30	81,5	24,7	4,0	TOO	80,0	22,9	7,5	TOO
31	84,4	25,7	4,0	TOO	82,0	23,9	7,5	TOO
32	81,5	27,7	4,0	TOO	81,2	25,9	7,5	TOO
33	80,8	29,7	4,0	TOO	83,7	27,9	7,5	TOO
34	85,0	31,7	4,0	TOO	81,0	29,9	7,5	TOO
35	81,5	33,7	4,0	TOO	81,7	31,9	7,5	TOO
36	80,1	35,7	4,0	ZM	83,5	33,9	7,5	TOO
37	82,2	37,7	4,0	ZM	79,6	35,9	7,5	ZM
38	82,8	39,7	4,0	ZM	82,7	37,9	7,5	ZM
39	83,2	41,7	4,0	ZM	81,0	39,9	7,5	ZM
40	78,9	43,7	4,0	ZM	80,0	41,9	7,5	ZM
41	79,8	45,7	4,0	ZM	79,5	43,9	7,5	ZM

Tab. Hodnoty tvrdosti HV 5 TZ 190°C – 2h – svar 2 – 1 housenka – řada 1

Pořadí	Tvrdość HV 5	Souřadnice x [mm]	Souřadnice y [mm]	Oblast vpichu
1	73,2	-3,8	4,0	svar
2	72,3	-2,8	4,0	svar
3	72,2	-1,8	4,0	svar
4	71,9	-0,8	4,0	svar
5	72,0	0,2	4,0	TOO
6	71,8	1,2	4,0	TOO
7	81,9	2,2	4,0	TOO
8	81,0	3,2	4,0	TOO
9	81,0	4,2	4,0	TOO
10	77,4	5,2	4,0	TOO
11	79,1	6,2	4,0	TOO
12	81,3	7,2	4,0	TOO
13	81,2	8,2	4,0	TOO
14	84,2	9,2	4,0	ZM
15	80,7	10,2	4,0	ZM
16	79,1	11,2	4,0	ZM
17	78,9	12,2	4,0	ZM
18	83,2	13,2	4,0	ZM
19	81,3	14,2	4,0	ZM
20	83,5	15,2	4,0	ZM
21	82,9	16,2	4,0	ZM
22	84,4	17,2	4,0	ZM
23	82,5	18,2	4,0	ZM
24	82,5	19,2	4,0	ZM
25	84,5	20,2	4,0	ZM
26	82,3	21,2	4,0	ZM
27	82,0	22,2	4,0	ZM
28	81,2	23,2	4,0	ZM
29	84,0	24,2	4,0	ZM
30	85,5	25,2	4,0	ZM
31	86,0	27,2	4,0	ZM
32	85,8	29,2	4,0	ZM
33	84,7	31,2	4,0	ZM
34	86,3	33,2	4,0	ZM
35	85,3	35,2	4,0	ZM
36	87,5	37,2	4,0	ZM
37	87,9	39,2	4,0	ZM
38	89,3	41,2	4,0	ZM
39	85,7	43,2	4,0	ZM
40	89,9	45,2	4,0	ZM
41	86,5	47,2	4,0	ZM

Tab. Hodnoty tvrdosti HV 5 TZ 190°C – 2h – svar 1 – 2 housenky – řada 1 a 2

Pořadí	ŘADA 1				ŘADA 2			
	Tvrđost HV 5	Souřadnice x [mm]	Souřadnice y [mm]	Oblast vpichu	Tvrđost HV 5	Souřadnice x [mm]	Souřadnice y [mm]	Oblast vpichu
1	73,4	-4,3	4,0	svar	73,4	-6,1	7,5	svar
2	74,9	-3,3	4,0	svar	71,6	-5,1	7,5	svar
3	75,7	-2,3	4,0	svar	72,2	-4,1	7,5	svar
4	75,1	-1,3	4,0	svar	73,8	-3,1	7,5	svar
5	72,2	-0,3	4,0	svar	71,8	-2,1	7,5	svar
6	74,8	0,7	4,0	TOO	75,5	-1,1	7,5	svar
7	75,8	1,7	4,0	TOO	75,1	-0,1	7,5	svar
8	72,8	2,7	4,0	TOO	73,3	0,9	7,5	TOO
9	77,3	3,7	4,0	TOO	75,1	1,9	7,5	TOO
10	78,0	4,7	4,0	TOO	78,6	2,9	7,5	TOO
11	77,7	5,7	4,0	TOO	75,5	3,9	7,5	TOO
12	77,9	6,7	4,0	TOO	76,0	4,9	7,5	TOO
13	75,5	7,7	4,0	TOO	73,0	5,9	7,5	TOO
14	78,6	8,7	4,0	TOO	76,4	6,9	7,5	TOO
15	80,0	9,7	4,0	TOO	77,6	7,9	7,5	TOO
16	80,1	10,7	4,0	TOO	82,7	8,9	7,5	TOO
17	83,4	11,7	4,0	TOO	83,1	9,9	7,5	TOO
18	78,3	12,7	4,0	TOO	86,4	10,9	7,5	TOO
19	78,5	13,7	4,0	TOO	83,5	11,9	7,5	TOO
20	75,5	14,7	4,0	TOO	84,0	12,9	7,5	TOO
21	73,4	15,7	4,0	TOO	88,4	13,9	7,5	TOO
22	77,7	16,7	4,0	TOO	85,2	14,9	7,5	TOO
23	82,4	17,7	4,0	TOO	83,1	15,9	7,5	TOO
24	82,7	18,7	4,0	TOO	85,2	16,9	7,5	TOO
25	86,8	19,7	4,0	TOO	84,7	17,9	7,5	TOO
26	83,0	20,7	4,0	TOO	84,0	18,9	7,5	TOO
27	82,9	21,7	4,0	TOO	86,7	19,9	7,5	TOO
28	84,5	22,7	4,0	TOO	82,1	20,9	7,5	TOO
29	83,7	23,7	4,0	TOO	83,1	21,9	7,5	TOO
30	85,5	24,7	4,0	TOO	81,5	22,9	7,5	TOO
31	82,7	25,7	4,0	TOO	81,6	23,9	7,5	TOO
32	82,2	27,7	4,0	TOO	80,3	25,9	7,5	TOO
33	83,7	29,7	4,0	TOO	81,7	27,9	7,5	TOO
34	86,6	31,7	4,0	TOO	83,5	29,9	7,5	TOO
35	84,2	33,7	4,0	TOO	83,7	31,9	7,5	TOO
36	84,4	35,7	4,0	ZM	85,5	33,9	7,5	TOO
37	82,8	37,7	4,0	ZM	86,6	35,9	7,5	ZM
38	82,7	39,7	4,0	ZM	85,8	37,9	7,5	ZM
39	81,0	41,7	4,0	ZM	86,0	39,9	7,5	ZM
40	83,5	43,7	4,0	ZM	89,4	41,9	7,5	ZM
41	85,4	45,7	4,0	ZM	89,0	43,9	7,5	ZM

Tab. Hodnoty tvrdosti HV 5 TZ 160°C – 8h – svar 2 – 1 housenka – řada 1

Pořadí	Tvrdość HV 5	Souřadnice x [mm]	Souřadnice y [mm]	Oblast vpichu
1	72,2	-4,6	4,0	svar
2	72,7	-3,6	4,0	svar
3	70,2	-2,6	4,0	svar
4	73,1	-1,6	4,0	svar
5	67,4	-0,6	4,0	svar
6	81,5	0,4	4,0	TOO
7	84,2	1,4	4,0	TOO
8	81,5	2,4	4,0	TOO
9	81,1	3,3	4,0	TOO
10	83,3	4,3	4,0	TOO
11	84,8	5,3	4,0	TOO
12	85,4	6,3	4,0	TOO
13	85,6	7,2	4,0	TOO
14	86,2	8,2	4,0	TOO
15	84,1	9,2	4,0	TOO
16	84,4	10,1	4,0	ZM
17	85,2	11,1	4,0	ZM
18	86,8	12,1	4,0	ZM
19	83,9	13,0	4,0	ZM
20	83,7	14,0	4,0	ZM
21	84,2	15,0	4,0	ZM
22	86,3	16,0	4,0	ZM
23	83,2	16,9	4,0	ZM
24	85,7	17,9	4,0	ZM
25	85,8	18,9	4,0	ZM
26	85,0	19,8	4,0	ZM
27	85,5	20,8	4,0	ZM
28	87,9	21,8	4,0	ZM
29	89,3	22,7	4,0	ZM
30	89,9	23,7	4,0	ZM
31	89,0	24,7	4,0	ZM
32	89,8	26,7	4,0	ZM
33	90,1	28,7	4,0	ZM
34	92,6	30,7	4,0	ZM
35	92,1	32,8	4,0	ZM
36	94,2	34,8	4,0	ZM
37	101,0	36,8	4,0	ZM
38	101,0	38,8	4,0	ZM
39	102,0	40,8	4,0	ZM
40	106,0	42,9	4,0	ZM
41	104,0	44,9	4,0	ZM

Tab. Hodnoty tvrdosti HV 5 TZ 160°C – 8h – svar 2 – 2 housenky – řada 1 a 2

Pořadí	ŘADA 1				ŘADA 2			
	Tvrđost HV 5	Souřadnice x [mm]	Souřadnice y [mm]	Oblast vpichu	Tvrđost HV 5	Souřadnice x [mm]	Souřadnice y [mm]	Oblast vpichu
1	75,1	-4,5	4,0	svar	82,2	-6,8	7,5	svar
2	77,2	-3,5	4,0	svar	75,9	-5,8	7,5	svar
3	76,2	-2,5	4,0	svar	78,2	-4,8	7,5	svar
4	79,0	-1,5	4,0	svar	76,2	-3,8	7,5	svar
5	79,6	-0,5	4,0	svar	77,5	-2,8	7,5	svar
6	81,5	0,5	4,0	TOO	77,9	-1,8	7,5	svar
7	80,8	1,5	4,0	TOO	77,7	-0,8	7,5	svar
8	81,7	2,5	4,0	TOO	81,0	0,2	7,5	TOO
9	81,5	3,5	4,0	TOO	84,9	1,2	7,5	TOO
10	84,8	4,5	4,0	TOO	83,2	2,2	7,5	TOO
11	81,5	5,5	4,0	TOO	83,4	3,2	7,5	TOO
12	84,5	6,5	4,0	TOO	88,1	4,2	7,5	TOO
13	84,7	7,5	4,0	TOO	86,3	5,2	7,5	TOO
14	85,6	8,5	4,0	TOO	85,0	6,2	7,5	TOO
15	84,5	9,5	4,0	TOO	85,5	7,2	7,5	TOO
16	85,8	10,5	4,0	TOO	86,3	8,2	7,5	TOO
17	86,8	11,5	4,0	TOO	85,2	9,2	7,5	TOO
18	87,6	12,5	4,0	TOO	84,5	10,2	7,5	TOO
19	86,0	13,5	4,0	TOO	87,6	11,2	7,5	TOO
20	85,5	14,5	4,0	TOO	85,8	12,2	7,5	TOO
21	86,2	15,5	4,0	TOO	86,9	13,2	7,5	TOO
22	88,7	16,5	4,0	TOO	87,9	14,2	7,5	TOO
23	91,2	17,5	4,0	TOO	88,7	15,2	7,5	TOO
24	92,4	18,5	4,0	TOO	90,4	16,2	7,5	TOO
25	90,1	19,5	4,0	TOO	90,7	17,2	7,5	TOO
26	90,1	20,5	4,0	TOO	86,8	18,2	7,5	TOO
27	92,8	21,5	4,0	TOO	86,9	19,2	7,5	TOO
28	95,1	22,5	4,0	TOO	87,4	20,2	7,5	TOO
29	91,2	23,5	4,0	TOO	89,6	21,2	7,5	TOO
30	89,5	24,5	4,0	TOO	88,1	22,2	7,5	TOO
31	91,8	25,5	4,0	TOO	89,0	23,2	7,5	TOO
32	95,4	27,5	4,0	TOO	90,1	25,2	7,5	TOO
33	94,5	29,5	4,0	TOO	89,8	27,2	7,5	TOO
34	93,0	31,5	4,0	TOO	91,9	29,2	7,5	TOO
35	97,9	33,5	4,0	TOO	92,1	31,2	7,5	TOO
36	96,4	35,5	4,0	ZM	90,4	33,2	7,5	TOO
37	92,1	37,5	4,0	ZM	94,3	35,2	7,5	ZM
38	92,4	39,5	4,0	ZM	91,2	37,2	7,5	ZM
39	95,1	41,5	4,0	ZM	94,8	39,2	7,5	ZM
40	94,5	43,5	4,0	ZM	95,5	41,2	7,5	ZM
41	96,1	45,5	4,0	ZM	96,1	43,2	7,5	ZM