

Vliv umělého a přirozeného stárnutí na mechanické vlastnosti svarů z vytvrditelných slitin hliníku AW 6061

Diplomová práce

Studijní program:

N2301 Strojní inženýrství

Studijní obor:

Strojírenská technologie a materiály

Autor práce:

Bc. Jan Němec

Vedoucí práce:

Ing. Iva Nováková, Ph.D.

Katedra strojírenské technologie

Konzultant práce:

doc. Ing. Jaromír Moravec, Ph.D.

Katedra strojírenské technologie





Zadání diplomové práce

Vliv umělého a přirozeného stárnutí na mechanické vlastnosti svarů z vytvrditelných slitin hliníku AW 6061

Jméno a příjmení: **Bc. Jan Němec**
Osobní číslo: S19000239
Studijní program: N2301 Strojní inženýrství
Studijní obor: Strojírenská technologie a materiály
Zadávací katedra: Katedra strojírenské technologie
Akademický rok: **2020/2021**

Zásady pro vypracování:

1. Seznamte se teoreticky s metodami využitelnými při svařování hliníku a jeho slitin.
2. Provedte rešerši současného stavu znalostí o svařování a využitelnosti tvářených vytvrditelných slitin Al.
3. Provedte svařovací experimenty na slitině AW 6061.
4. Navrhněte a provedte experimenty zaměřené na posouzení vlivu doby výdrže a teploty výdrže při umělém a přirozeném stárnutí z pohledu mechanických vlastností.
5. Změny mechanických vlastností v základním materiálu, TOO a svarovém kovu vyhodnoťte pomocí tvrdosti HV.
6. Provedte zhodnocení a diskuzi výsledků.

Rozsah grafických prací:
Rozsah pracovní zprávy:
Forma zpracování práce:
Jazyk práce:

tabulky, grafy
cca 50
tištěná/elektronická
Čeština



Seznam odborné literatury:

- [1] HRIVŇÁK, I. *Teória svariteľnosti kovov a zliatin*, Veda, Bratislava, 1989.
- [2] ORSZAGH, V. *Zváranie neželezných kovov*, Weldtech, Bratislava, 1995, *Welding Journal* Dec.1995, 2013; 416 s.
- [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:

15. listopadu 2020

Předpokládaný termín odevzdání:

15. května 2022

prof. Dr. Ing. Petr Lenfeld
děkan

L.S.

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

V Liberci dne 15. listopadu 2020

Prohlášení

Prohlašuji, že svou diplomovou práci jsem vypracoval samostatně jako původní dílo s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím mé diplomové práce a konzultantem.

Jsem si vědom toho, že na mou diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, zejména § 60 – školní dílo.

Beru na vědomí, že Technická univerzita v Liberci nezasahuje do mých autorských práv užitím mé diplomové práce pro vnitřní potřebu Technické univerzity v Liberci.

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

Současně čestně prohlašuji, že text elektronické podoby práce vložený do IS/STAG se shoduje s textem tištěné podoby práce.

Beru na vědomí, že má diplomová práce bude zveřejněna Technickou univerzitou v Liberci v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů.

Jsem si vědom následků, které podle zákona o vysokých školách mohou vyplývat z porušení tohoto prohlášení.

12. května 2022

Bc. Jan Němec

Anotace

Tato diplomová práce se zabývá vlivy umělého a přirozeného stárnutí na mechanické vlastnosti svarů z vytvrzitelných slitin hliníku AW 6061. Tyto slitiny hliníku jsou hned po slitinách železa nejpoužívanějšími konstrukčními materiály současnosti, a to z důvodu jejich vlastností. Mezi tyto pozitivní vlastnosti patří dobrá svařitelnost v inertních plynech, odolnost proti korozi, nízká měrná hmotnost a mechanické vlastnosti.

Tato práce se dělí do dvou částí, na teoretickou a experimentální. V teoretické části byla popsána problematika hliníkových slitin, jejich zpracování a technologie jejich svařování.

V experimentální části byly sledovány vlivy teplotních cyklů při svařování vícevrstevných svarů materiálu AW 6061 na jejich mechanické vlastnosti tepelně ovlivněné zóny. V rámci experimentu byl také sledován vliv teplot přehřevu na šíři tepelně ovlivněné oblasti. Dalším cílem bylo sledovat vliv přirozeného a umělého stárnutí

na změnu mechanických vlastností svarových spojů provedených při různých technologických podmínkách.

Klíčová slova

Slitiny hliníku, slitina AW 6061, vytvrzování, svařování, měření tvrdosti

Annotation

This diploma thesis is based on artificial and natural aging influence of mechanical qualities of welds and heat-treatable aluminium alloys AW 6061. These alloys are right after steel alloys the most used group of construction materials. Qualities of these alloys are very suitable for this kind of operations. Aluminium alloys are very good because of these qualities: weldability in shielding gases, corrosion resistance, low-density and pretty sufficient mechanical properties.

The thesis is divided into two parts – a theoretical study and an experimental study. Theoretical part will be focused on describing aluminium alloys, heat treatment of heat-treatable aluminium alloys and its welding based around used alloy AW 6061.

The experimental part is focused around effects of temperature cycles during multilayer welding of alloy AW 6061 and its affection of mechanical quality by heat treated zones. Preheating of monitored alloy is also part of this research. Another object is monitoring effects of artificial and natural aging on change of mechanical quality of the welds made in different technological environment.

Key words

Aluminium alloys, alloy AW 6061, heat treatment, aging, welding, hardness measurements

Poděkování

Touto formou bych chtěl poděkovat vedoucí své diplomové práce Ing. Ivě Novákové, Ph.D. za její ochotu, trpělivost, odborné vedení a za poskytnutí cenných rad při zpracování. Dále bych chtěl poděkovat své rodině a svým blízkým, kteří mě na této trnité cestě za vysokoškolským vzděláním podporovali a především trpěli.

Obsah

1	Úvod.....	10
2	Teoretická část.....	11
2.1	Hliník a jeho slitiny	11
2.1.1	Tepelné zpracování hliníkových slitin	13
2.2	Svařitelnost a využití vytvrditelných slitin hliníku.....	16
2.2.2	Svařování metodou TIG/WIG	18
2.2.3	Svařování elektronovým paprskem.....	20
2.2.4	Laserové svařování.....	21
2.2.5	Fricton Stir Welding – FSW	22
3	Experimentální část.....	24
3.1	Realizace třívrstevných svarů	24
3.1.1	Vliv svařování na tvrdost svarových spojů.....	27
3.1.2	Vliv tepelného zpracování na tvrdost svarů.....	31
4	Diskuse výsledků	42
5	Závěr	46
6	Literatura	48

Seznam symbolů a zkratk

$R_{p0,2}$	Smluvní mez kluzu [MPa]
Rm	Mez pevnosti [MPa]
ČSN	Česká státní norma
EN	Evropská norma
FSW	Friction stir welding
ISO	International Organization for standardization
MIG	Metoda svařování tavící se elektrodou v ochranné atmosféře
PA	Metoda svařování vodorovná shora
RZ	Rozpouštěcí žíhání
SK	Svarový kov
TOO	Tepelně ovlivněná oblast
TZ	Tepelné zpracování
WIG	Metoda svařování netavící se elektrodou v ochranné atmosféře
ZM	Základní materiál

1 Úvod

Hliník a hliníkové slitiny jsou materiály s širokou škálou využití, disponují nízkou měrnou hmotností doprovázenou dobrými pevnostními charakteristikami. Hliníkové slitiny jsou hojně využívány napříč strojním průmyslem, ať už je to automobilový nebo letecký průmysl, kde se klade důraz na nízkou hmotnost. Tento materiál je dobře svařitelný v ochranných atmosférách, má dobrou tepelnou a elektrickou vodivost.

Každý rok produkce hliníku roste a převyšuje tím produkce ostatních kovů. S touto skutečností jde ruku v ruce rozvoj slitin hliníku, protože je v nich velká perspektiva v podobě konstrukčního materiálu. Výhodou hliníku více než v předchozích letech je skutečnost, že se dá až ze 75 % recyklovat [2]. Mezi nedostatky však patří jeho nízká tvrdost, což má za následek velmi snadné poškození povrchu materiálu [1].

Většina konstrukčních celků z hliníkových slitin je stále častěji doplňována vytvrditelnými slitinami, které v případě zatížení teplotními cykly (např. při svařování), snižují své mechanické vlastnosti a to zejména, pokud se zpracovávají ve vytvrzeném stavu.

Cílem diplomové práce bylo stanovit vliv teplotních cyklů a přehřevu při svařování vícevrstevných svarů materiálu AW 6061 na mechanické vlastnosti tepelně ovlivněné zóny (TOO). Dále byl sledován vliv přirozeného a umělého stárnutí na změnu mechanických vlastností svarových spojů provedených při různých technologických podmínkách.

2 Teoretická část

V teoretické části je popisována problematika hliníkových slitin a jejich vytvrzování, svařitelnost a využití tvářených vytvrzitelných slitin hliníku se zaměřením na slitinu AW 6061 a na závěr byly popsány použitelné technologie pro svařování slitin hliníku (MIG, TIG, elektronový paprsek, laser a FSW).

2.1 Hliník a jeho slitiny

Hliník a hliníkové slitiny jsou vázány na sloučeniny (např. bauxit a kryolit), které jsou zastoupeny v zemské kůře 8 % a jsou jedny z nejpoužívanějších kovů v průmyslové výrobě [3]. Kombinace fyzikálních, mechanických a chemických vlastností pomáhá k širokému využití v technické výrobě. Nejpoužívanější rudou, z které je hliník získáván, je bauxit. Pro získání jedné tuny hliníku je třeba vytěžit cca. 4 tuny bauxitu. Z bauxitu je hliník extrahován elektrolytickým rozkladem roztoku oxidu hlinitého v roztavených fluoridech [4]. Takto získaný hliník má až 99 % čistotu. V tab. 1 jsou uvedeny základní fyzikální vlastnosti hliníku [5].

Tab. 1 Fyzikální vlastnosti

Vlastnost	Hodnota
Atomové číslo	13
Relativní atomová hmotnost	26,982
Krystalová mřížka	FCC
Hustota (při 20 °C)	2 699 kg/m ⁻³
Bod tání	660,4 °C
Teplota varu	2494 °C
Teplná vodivost (při 25 °C)	237 W.m ⁻¹ K ⁻¹

Čistý hliník je sám o sobě jako konstrukční materiál nepoužitelný, proto jsou v technické praxi využívány pouze jeho slitiny, které jak bylo zmíněno výše, mají lepší mechanické vlastnosti. Slitiny hliníku obsahují přísadové prvky, které mají vliv na fyzikální vlastnosti. Při volbě hliníkové slitiny technologové hledí nejvíce na hlavní přísadové prvky, jejich obsah je ten nejvyšší po základním prvku [3]. Hliníkové slitiny obsahují vedlejší přísadové prvky, které pozitivně ovlivňují jejich vlastnosti, jako např. mechanické vlastnosti, obrobiteľnost, nebo umožňují tepelné zpracování. Přísadových prvků může být ve slitině současně několik. Ve slitinách hliníku se vyskytují i doprovodné prvky, které mají svá omezená množství, protože záporně ovlivňují mechanické vlastnosti. Takovýmto zástupcem doprovodného prvku je například Fe [5].

Hliníkové slitiny určené pro tváření se označují dle normy ČSN EN 573. Dle této normy se slitiny označují písmeny EN AW a čtyřmi číslicemi. Číselné označení lze doplnit i chemickým označením, např. EN AW-5052 [AlMg2.5]. Jednotlivé části jsou značeny v pořadí:

- předpona EN následována mezerou,
- písmeno A určuje, že se jedná o hliník,
- písmeno W určuje tvářené výrobky,
- spojovací čárka
- čtyři číslice označují chemické složení

V čtyřmístném číselném označení udává první ze čtyř číslic skupinu slitin podle hlavních slitinových prvků:

řada 1000 - Al minimálně 99,9 % a více

řada 2000 - slitina AlCu

řada 3000 - slitina AlMn

řada 4000 - slitina AlSi

řada 5000 - slitina AlMg

řada 6000 - slitina AlMgSi

řada 7000 - slitina AlZn

řada 8000 - slitina Al s různými prvky

Slitiny hliníku se dále dělí na tepelně vytvrditelné (řada 2000, 4000, 6000 a 7000), tepelně nevytvrditelné, zpevněné tvářením (řada 1000, 3000 a 5000).

Materiál EN AW 6061 (AlMg1SiCu) pochází z řady vytvrditelných hliníkových slitin s hořčíkem a křemíkem. Tyto slitiny se vyznačují velmi dobrou tvářitelností za tepla a za studena (mimo stav T6), velmi dobrou svařitelností prakticky všemi metodami včetně odporové metody. Mají dobrou odolnost proti atmosférické korozi, a to i v podmínkách mořského klima nebo i v ovzduší těžké průmyslové výroby. Obrobitelnost této slitiny je podmíněná stejně jako v případě slitiny EN AW 6060 použitím ostrých řezných nástrojů a vhodných chladicích kapalin. Slitinu EN AW 6061 je možné žíhat, nebo vytvrzovat.

Chemické složení materiálu je uvedeno v tab. 2. Pevnostně je na tom lépe než slitina EN AW 6060, proto se používá při výrobě mechanicky namáhaných, svařovaných konstrukcí, které jsou vystaveny vlivům atmosféry, jako např. výroba

potrubí, výroba kolejových, silničních a lodních prostředků [8]. Mechanické vlastnosti použité slitiny jsou uvedeny v tab. 3.

Tab. 2 Chemické vlastnosti

EN AW 6061 (AlMg1SiCu)	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr
	0.40 - 0.8	0.7	0.15 - 0.40	0.15	0.8 - 1.2	0.04 - 0.35
	Zn	Ti	Pb	Ostatní	Ostatní	Al
	0.25	0.15	x	0.05	0.15	zbytek

Tab. 3 Mechanické vlastnosti

EN AW	Specikovaná tloušťka [mm]		Pevnost v tahu [MPa]	Rp0,2 [MPa]	Tažnost [A50 %]	Tvrдость [HBS]
	nad	do	min.	min.		
6061 T4	≥ 0,1	25	180	110	15	65
6061 T6	≥ 0,1	5	240	240	7	95
	5	25	240	240	8	95

Slitina EN AW 6061 je vhodná k povrchové úpravě, a to především pro anodickou oxidaci, proto se hojně používá k výrobě nosných prvků interiérového vybavení a nábytku. Standardní hutní polotovary vyráběné ze slitiny EN AW 6061 jsou: plechy, pásy, desky, tažené dráty, lisované tyče, trubky a profily.

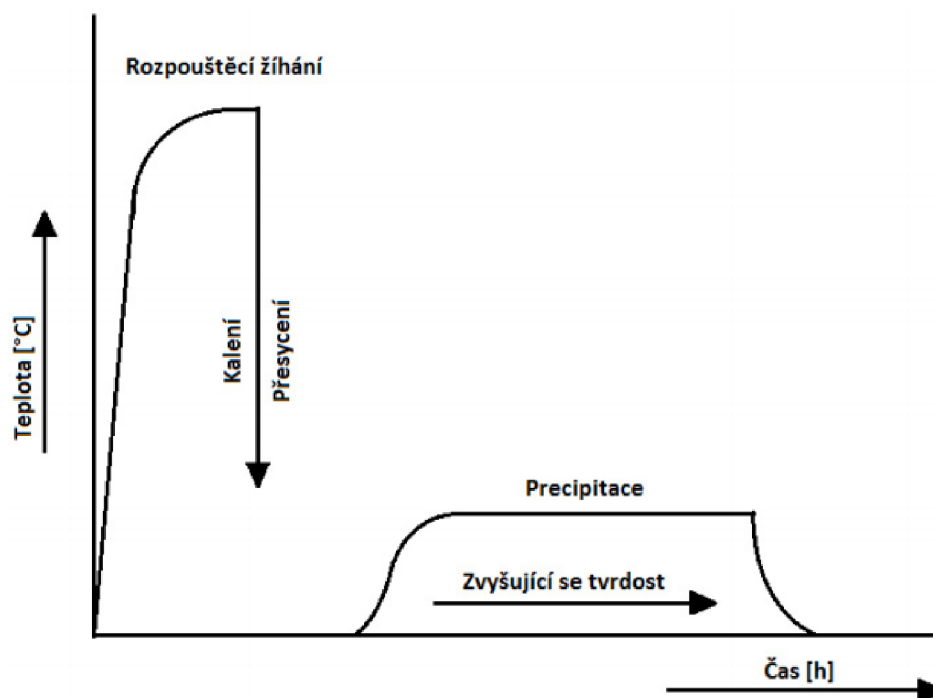
2.1.1 Tepelné zpracování hliníkových slitin

Výhoda vytvrditelných slitin hliníku je v možnosti výrazného zvýšení pevnosti pomocí tepelného zpracování, nevýhodou je však to, že tepelnou úpravou klesá jejich tažnost [7].

Precipitační vytvrzování slitin má následující tři stádia, viz obr. 1:

1. Rozpouštěcí žíhání
2. Rychlé ochlazení
3. Vytvrzování (stárnutí)

Během chladnutí se využívá změny v rozpustnosti některých přísadových prvků v tuhém roztoku α (Al), které mají příznivý vliv na mechanické vlastnosti slitin hliníku.



Obr. 1 Schéma tepelného zpracování [7]

Rozpouštěcím žíháním se materiál ohřívá na teplotu kolem 500 °C, kde je třeba dodržet dostatečnou výdrž. Celý proces vychází z fázového diagramu konkrétní slitiny, kdy nesmí dojít k překročení křivky solidu, protože by došlo k natavení hranic zrn.

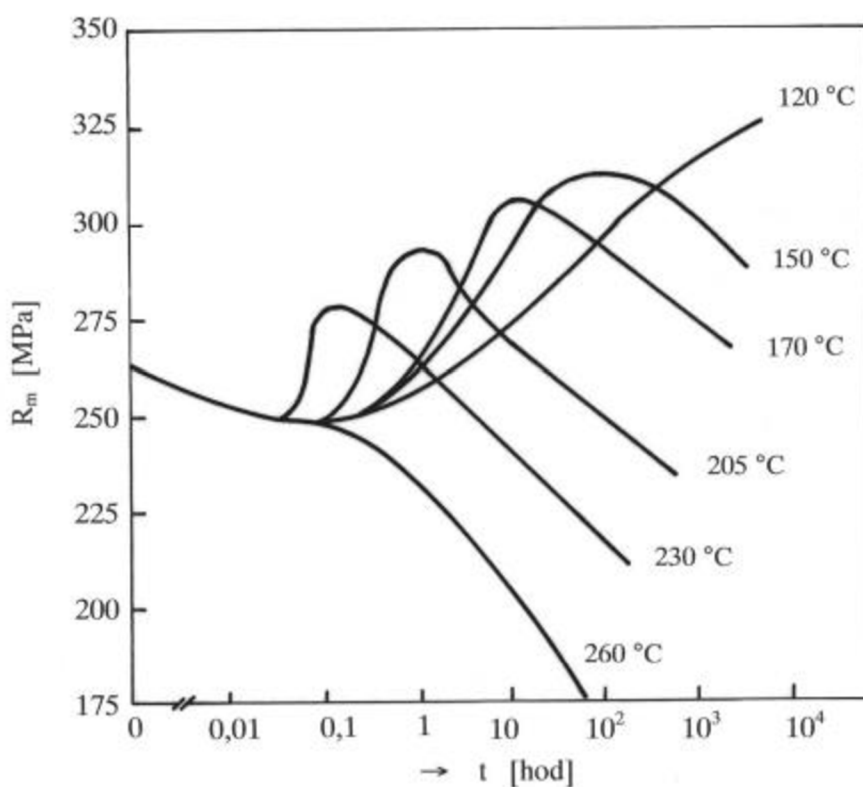
Následuje rychlé ochlazení, které se provádí ponořením do vody, při kterém dojde k vzniku přesyceného tuhého roztoku. Tento přesycený tuhý roztok vykazuje daleko větší obsah rozpuštěné příměsi než při její rovnovážné rozpustnosti při určité teplotě [6].

Jako poslední dochází k vytvrzování, což je proces, při kterém dochází k přirozenému nebo umělému stárnutí materiálu. Dochází k rozpadu přesyceného tuhého roztoku, dalo by se říct, že nastává difúzní proces, který začíná nukleací a vznikem koherentních precipitátů, tzv. Guinier-Prestonových zón. To má za následek pnutí

v mřížce hliníku a v okolí zón, které klade odpor proti pohybu dislokací. Toto pnutí je spojeno s vytvrzovacím efektem, kde se pohybuje na hranici koherentnosti a snažíme se si ji udržet tak, abychom docílili pnutí, které má za následek zlepšení mechanických vlastností. Celý proces končí vznikem nekoherentního rovnovážného precipitátu. Pokud by došlo k delší době výdrže na dané teplotě stárnutí, došlo by nežádoucímu hrubnutí rovnovážného precipitátu, s kterým by klesala tvrdost. Toto stádium je značeno jako přestárnutí [8].

Pro slitiny hliníku literatura [5] obecně uvádí, že pro rozpouštěcí žihání je doporučeno ochlazování v teplé vodě v rozmezí 20 až 40°C, při teplotách materiálu v rozmezí od 450 °C do 575°C. Dále je také možné ochlazovat v roztoku voda-polymer, vodní sprše, nebo nuceným větráním. Následně přichází přirozené stárnutí v okolní teplotě, stabilního stavu je dosaženo po 96 hodinách [5].

Literatura [1] uvádí pro slitinu AW 6061 rozmezí teplot rozpouštěcího žihání od 415 °C (výdrž 2- 3hod.) do 530 °C (výdrž 1hod.) a ochlazování ve vodě v rozmezí teplot od 20 °C do 40°C. Tato literatura také říká, že u slitin tohoto typu nelze dosáhnout vysokých pevnostních vlastností přirozeným stárnutím, proto se u nich vždy aplikuje umělé stárnutí. Kinetika rozpadu přesyceného tuhého roztoku pro umělé stárnutí je znázorněna na obr 2.



Obr. 2 Teploty umělého stárnutí [1]

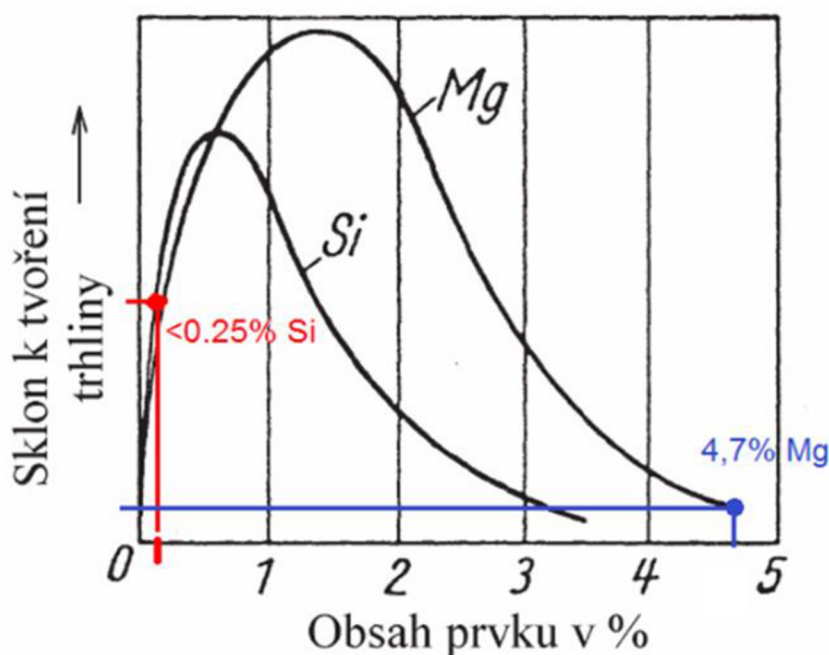
Po rychlém ochlazení z teploty rozpouštěcího žihání se materiál stává měkkým a je možné ho v průběhu následujících několika hodin mírně tvarovat. Materiál v pokojové teplotě začíná přirozeně stárnout a začíná se vytvrzovat.

2.2 Svařitelnost a využití vytvrditelných slitin hliníku

Při svařování hliníkových slitin, je nutno rozlišit, jestli se svařuje vytvrditelná, nebo nevytvrditelná slitina. Při tavném svařování mají výhodu všechny nevytvrditelné slitiny. Z vytvrditelných slitin lze svařovat pouze slitiny AlMgSi a AlZnMg.

Při tavném svařování je důležitá volba přídavného materiálu. Není ovlivněna pouze snahou o maximalizaci pevnostních vlastností svarového spoje, ale zejména snahou

o optimální průběh chladnutí svarového spoje, který nevede ke vzniku trhlin. Volba vhodného přídavného materiálu hraje roli zejména v případech, kdy jsou požadovány velké rychlosti svařování. Sklon k tvorbě trhlin za tepla ve svarovém spoji závisí na chemickém složení slitiny. Citlivé jsou na tvorbu trhlin za tepla zejména vytvrditelné slitiny. Největší sklon k tvorbě trhlin za tepla (viz obr. 3) je při obsahu křemíku kolem 0,75 % a hořčíku okolo 1,5 %. Z tohoto důvodu se pro vytvrditelné slitiny AlMgSi používá přídavný materiál s 5 % Mg nebo s 5 % Si, a proto byl zvolen přídavný materiál, který obsahuje 4,7 % Mg a 0,25 % Si, který zajistí sníženou náchylnost vzniku trhlin za tepla. Obsah hořčíku a křemíku je u slitiny tohoto typu zásadní, neboť tyto prvky jsou schopny vytvořit sloučeniny Mg_xSi_y umožňující v určité fázi vyloučení z přesyceného tuhého roztoku α pozitivně modifikovat mechanické vlastnosti slitiny [1].



Obr. 3 Tvoření trhlin za tepla, vlivem legujících prvků Si a Mg [1]

Svařitelnost hliníku ovlivňují oxidické vrstvy Al_2O_3 na povrchu materiálu z hliníkové slitiny. Tato oxidická vrstva zabraňuje metalickému spojení základního a přídavného materiálu. Odstraňuje se chemicky pomocí moření, oplachování v lázních, nebo použitím vhodných tavidel Al_2O_3 během svařování.

Další problém při svařování hliníku je jeho tepelná vodivost, která je velmi dobrá, což vyžaduje použití vyšších teplot a nákladného předehřevu. Teploty předehřívání se pohybují v rozmezí 150-300°C. S rostoucí teplotou předehřevu materiálu je spjat pokles mechanických vlastností a odolnost proti korozi [10].

Tyto slitiny hliníku se nejčastěji svařují obloukovými metodami typu MIG, WIG, ale i laserovým svařováním a FSW.

2.2.1 Svařování metodou MIG

Svařování metodou MIG (číselné označení 131 dle ISO) patří mezi technologie tavného svařování, to znamená, že k natavení svarových ploch základního materiálu dochází při odtavování elektrody za vzniku svarové lázně. Tato svarová lázeň ihned tuhne, čímž vytváří spojení dvou požadovaných materiálů velmi pevnou a nerozebíratelnou vazbu [12]. Princip této technologie je znázorněn na obr. 4.

Zdrojem tepla je u této metody elektrický oblouk, který hoří mezi kovovou odtavující se elektrodou a svařovaným materiálem v proudu netečného tzv. inertního plynu, např. argonu, helia nebo jejich směsí. Elektroda musí být kontinuálně dodávána do místa svarové lázně v průběhu svařování. Proud, který je pro tento typ svařování používán, je převážně stejnosměrný nebo pulzní, pokud je zachována kladná polarita elektrody.

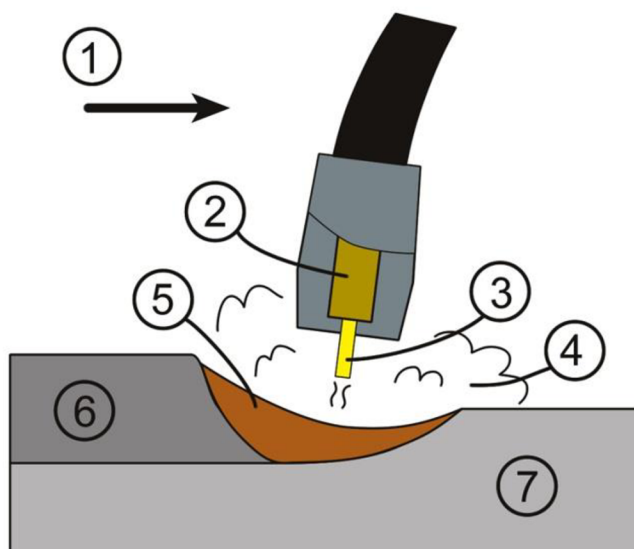
Přídavným materiál pro svařování hliníku a jeho slitin je převážně drát \varnothing 0,8 – 1,6 mm navinutý na cívkách. Základní parametry svařování jsou uvedeny v tab. 4. Úprava svařovaných ploch je nenáročná, postačí očištění drátěným kartáčem před počátkem svařování. Doporučen je také předehřev základního materiálu na teplotu 150–300 °C [13].

Metoda MIG je rozšířena z důvodu širokého výběru přídavných materiálů a ochranných plynů, jednoduché možnosti mechanizace a robotizace a velkého sortimentu svařovacích zařízení a automatů [4].

Vliv na kvalitu svaru má volba ochranného plynu, nejčastěji je používán argon, který díky svým vlastnostem poskytuje minimální rozstřík a rovnoměrné hoření elektrického oblouku. Argon má také nízkou tepelnou vodivost, která umožňuje svařovat materiály o malé tloušťce. Ochranný plyn ale netvoří čistý argon, tvoří ho

tzv. směsné plyny, jako argon-helium s obsahem helia 15–90 %. Přítomnost helia má za následek zvýšení napětí v oblouku, čímž zlepšuje přenos tepla do svařovaného materiálu a urychluje rychlost svařování a hloubky svaru.

Mimo helia se v ochranném plynu uplatňuje i dusík, který stabilizuje elektrický oblouk a zajišťuje lepší přenos energie v oblouku. Optimální obsah dusíku v ochranném plynu byl dle posledních studií stanoven na hodnotu 0,015 %, je používán nejen jako příměs do čistého argonu, ale i do směsi argon-helium [14].



Obr. 4 Svařování metodou MIG [19]

- 1- směr svařování, 2- svařovací hořák, 3 - tavná elektroda, 4 -ochranná atmosféra, 5- svarová lázeň, 6- ztuhlý svarový kov, 7- základní materiál

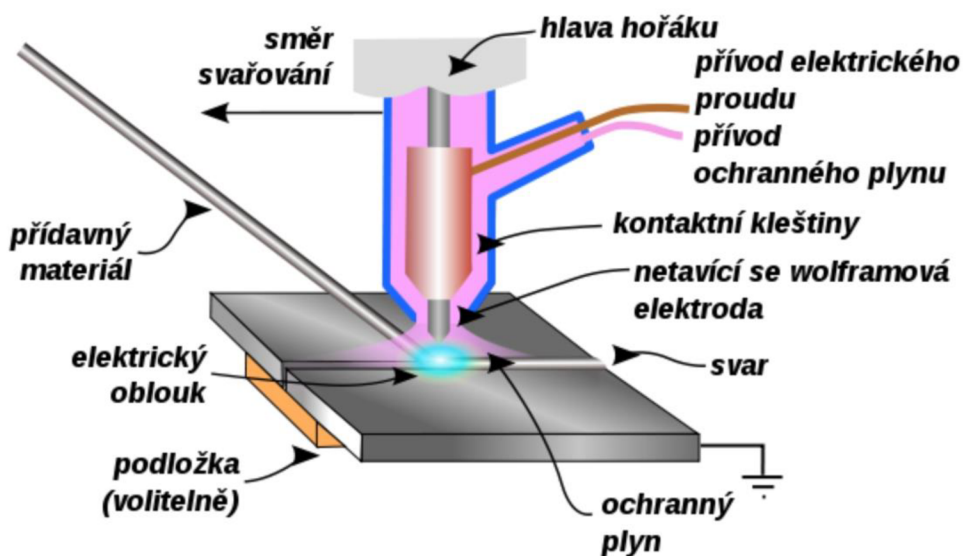
Tab. 4 Parametry pro svařování hliníku a jeho slitin

Přidavný materiál Ø[mm]	Svařovací proud [A]	Napětí na oblouku [V]	Poznámka
0,8 - 1,2	80-150	21 - 24	ručně, koutové spoje
1,2 - 1,6	50-80	18 - 24	tupé a koutové spoje
1,2 - 2,4	180-300	24 - 29	běžný způsob ruční, strojově
2,4 - 3,6	350-650	24 - 30	strojně
4,0 - 6,0	nad 500	28 - 34	strojně

2.2.2 Svařování metodou TIG/WIG

Tato metoda (číselné označení 141) je velmi podobná s výše popsanou metodou až na rozdíl v použité elektrodě, která se v tomto případě neodtavuje. Princip této metody je uveden na obr. 5. Metoda se nejčastěji používá pro svařování

hliníku a jeho slitin o tloušťkách od 1–10 mm. Svařování probíhá s přídavným materiálem, který se přidává do svarové lázně, ale lze svařovat i bez přídavného materiálu. Hrot netavící elektrody je během svařovacího procesu zatěžován elektrickým proudem a namáhán vysokou teplotou, což zapříčiňuje pomalé odpařování. Hrot elektrody se nesmí dostat do svarové lázně a musí být pravidelně zabrušován. Opotřebením elektrody se pozná otupením hrotu [11].



Obr. 5 Princip svařování metodou TIG [20]

Ochranný plyn musí mít z důvodu čistícího účinku minimální čistotu 99,99 hm. % Ar. Výjimečně se používá též helium nebo směs 50 hm. % Ar + 50 hm. % He. Pokud by se svařovalo čistým heliem, umožnilo by to svařovat mechanizovaným způsobem tenké plechy stejnosměrným proudem [11].

Výhodou užití střídavého svařovacího proudu je jev, který se nazývá čistící účinek. Výhoda čistícího účinku spočívá v narušování povrchu svařovaného materiálu ionty

ve chvíli, kdy je základní materiál a elektroda v obrácené polaritě. Základní materiál je připojen na záporný pól zdroje stejnosměrného svařovacího proudu, elektroda je připojena na kladný pól. Záporný pól tak vytváří katodu a kladný pól anodu. Díky pohybu elektronů z katody k anodě je vyvolán tok elektrického proudu a na katodě je vytvořena tzv. katodová skvrna. Tato skvrna je oblast s nejvyšší emisí elektronů, zároveň má velkou snahu hledat na katodě místa s nejvyšším elektrickým potenciálem. U hliníku a jeho slitin jsou místa s nejvyšším potenciálem tvořena vrstvičkou oxidu Al_2O_3 , ale katodová skvrna tento oxid z povrchu jednoduše odpaří. Jednou ze známých nevýhod

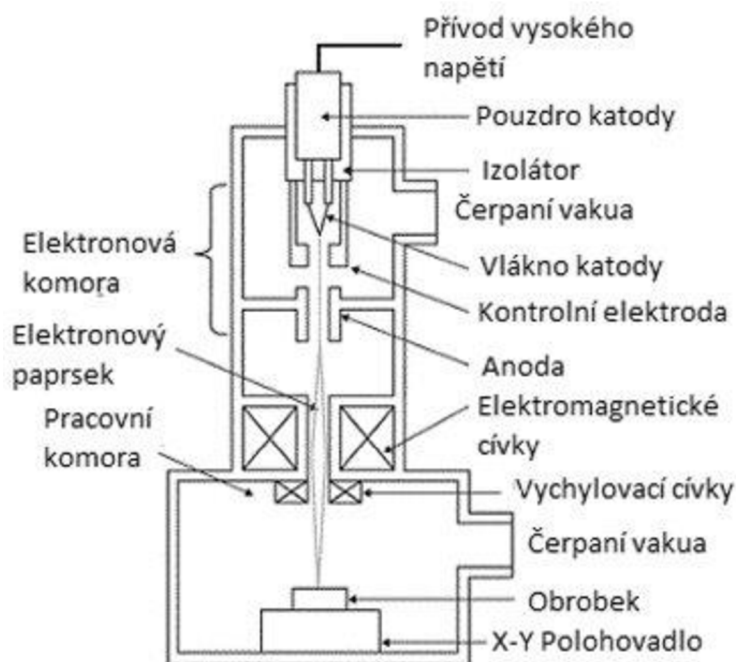
takto obrácené polarity je vysoké tepelné zatížení obzvláště netavící se elektrody, která má kvůli tomuto jevu nižší životnost [11]. Základní parametry TIG/WIG svařování jsou uvedeny v tabulce 5. Příprava základního materiálu je shodná s předešlými metodami svařování elektrickým obloukem [11].

Tab. 5 Parametry svařování TIG/WIG

Tloušťka materiálu v [mm]	Počet vrstev	Přídavný materiál Ø[mm]	Spotřeba argonu [l/min]	Svařovací proud pro polohu svařování [A]		
				PA	PC	PE
1	1	2	7	60	50	40
2	1	2 - 3	7	80	80	75
3	1	3	8	140	135	130
4	1 - 2	3 - 4	9	180	170	160
5	1 - 2	3 - 4	10	200	190	170
6	2	3 - 4	10	280	240	230
8	2	4 - 5	12	320	270	260

2.2.3 Svařování elektronovým paprskem

Princípem této metody je tavný způsob spojení součástí (obr. 6). Zdrojem energie potřebné k roztavení spojovaných dílů v místě styku je kinetická energie elektronů, která v místě spojení přeměňuje pevnou látku v teplo. Díky aplikaci elektronové optiky je možné soustředit vysoký výkon do malého objemu látky, což umožňuje řadu různých aplikací, které byly doposud technologicky nerealizovatelné [15].



Obr. 6 Schéma elektronového svařování [21]

Elektronové svařování paprskem je používáno pro většinu hliníkových slitin, avšak při svařování slitin hliníku s Mg, Cu, nebo Zn vzniká nebezpečí trhlin ve svaru. Tuto náchylnost pro vznik trhlin lze eliminovat užitím vhodného přídavného materiálu. Pokud se užívají vysoké rychlosti svařování, hrozí vznik pórů ve svarovém kovu. Kvalitu spoje ovlivňuje přesné umístění paprsku v místě svarového spoje tak, aby nedošlo k jejich odchýlení [12].

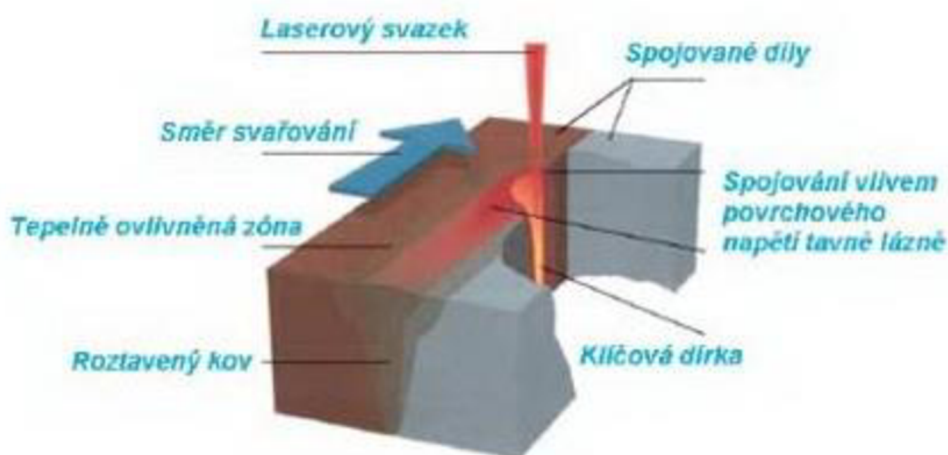
Výhodami použití této technologie je především nízká tepelně ovlivněná oblast svaru, malé deformace, vysoká kvalita svaru, dokonalá ochrana před vzdušnou atmosférou za použití vakua, možnost sváření velkých tloušťek na jeden průchod.

Mezi nevýhody patří vysoké nároky na přesnost vedení paprsku a čistotu svarových ploch, nutnost použití vakua a vysoké investiční náklady na pořízení zařízení [16].

2.2.4 Laserové svařování

Zdrojem tepla laserového svařování je vysoce koherentní elektromagnetické záření v podobě paprsku. Při svařování laserem (obr. 7) vzniká kapilára vyplněná parami kovu pod vysokým tlakem. Pára je vysokou teplotou ionizována a takto laserem indukovaná plazma tryská vysokou rychlostí z místa svaru, přičemž brání fotonům pronikat

do svarové spáry, pohlcuje část záření svazku a snižuje hloubku průniku fotonů. Plazma se běžně vychyluje ofukováním ochranným plynem Ar, Ar + CO₂, N₂, přičemž nejlepší výsledky vykazuje He. Díky těmto plynům je chráněna tavná lázeň a tuhnoucí svarový kov před negativními vlivy okolního prostředí.



Obr. 7 Princip laserového svařování [22]

Indukovanou plazmu lze ovlivňovat pomocí nastavených parametrů svařování. Tyto parametry by měly klást důraz na to, aby se materiál neodpařil, dokud nedosáhne adekvátního prohřátí v oblasti tavení v podpovrchové vrstvě. Pokud je nízká hustota energie při svařování, teplota povrchu se nedostane na teplotu varu dříve, než se teplota pod povrchem dostane na teplotu tavení, což má za následek tvorbu svarového kráteru.

Ve většině případů se svařuje bez přídavných materiálů, ale směr dnešní doby umožňuje použití přídavného materiálu v podobě drátu. Laserové stroje disponují velmi rychlým ohřevem a svařováním s vysokou tepelnou vodivostí (Cu, Ag, Al) a to i materiálů s vysokou teplotou tavení W, Mo, Ta, Zr atd. Nestabilitu hustoty výkonu v ploše dopadu ovlivňuje rozměr a geometrie svarové lázně. Pro spojování tenkých plechů jsou vhodné malé hustoty výkonu do $106 \text{ W} \cdot \text{cm}^2$, při kterých dochází k přenosu a formování svarové lázně vedením [17].

Problém nastává s vysokou odrazivostí hliníku (cca 90 %), kterou lze eliminovat použitím laseru s vysokou energií, zdrsněním povrchu svařovaných materiálů a pokud je potřeba nanést na povrch matný lak [11].

2.2.5 Friction Stir Welding – FSW

Tento typ frikčního svařování vznikl postupným vývojem třecího svařování pro potřebu svařování hliníku a jeho slitin.

Princip metody je založen ve spojení dvou součástí za vysokých teplot, které ale nesmějí přesáhnout své body tavení. Zdroj tepla je v této metodě válcový nástroj s profilovaným kolíkem, který je vnořen do materiálu, kde se pohybuje podél spáry mezi dvěma materiály. Svařované materiály je třeba správně upnout tak, aby se jejich čela neoddálila. Teplo vznikající mezi svařovacím nástrojem a svařovanými díly má za následek, že se materiál v místě spojení dostane do plastického stavu. Nástroj vykonává svůj pohyb po linii svaru a materiál, který je v plastickém stavu, přenáší a míchá hrotem. Svařovat lze bez přídavného materiálu o tloušťkách 1,6 až 30 mm na jeden průchod.

Pokud porovnáme ostatní metody svařování, spoj spojený metodou FSW má velmi dobré únavové vlastnosti, protože neobsahuje nečistoty a vměstky. Takto vytvořené spoje jsou vytvořeny rychle, během svařování nedochází k velkým deformacím z důvodu pevného upnutí, ale i z důvodu velmi malého vneseného tepla. Touto novou technologií lze nahradit výrobu svařování součástí z hliníkových slitin,

jejichž svařování může být obtížné. Tyto slitiny se používají v oblasti leteckého průmyslu, automobilového průmyslu, stavby lodí a železničních vagónů [16].

3 Experimentální část

Cílem experimentální části bylo stanovit vliv teplotních cyklů při svařování vícevrstevných svarů materiálu AW 6061 na mechanické vlastnosti tepelně ovlivněné zóny (TOO). V této souvislosti byl také brán v potaz vliv hodnoty předehřevu (75 °C a 150 °C). Dalším cílem bylo sledování vlivu umělého a přirozeného stárnutí na změnu mechanických vlastností svarových spojů provedených při různých technologických podmínkách. Změna mechanických vlastností byla vyjádřena měřením tvrdosti.

Základní materiál byl dodán ve formě desek o rozměrech 250 x 150 x 15 mm ve stavu T651. Jeho chemické složení stanovené pomocí spektrometru Q4 Tasman je uvedeno v tab. 6 a mechanické vlastnosti v tab. 7.

Tab. 6 Naměřené chemické složení vzorku slitiny AW 6061 v [%]

Materiál	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Ni	Zn	Ti	Al	Ostatní
AW 6061	0,57	0,41	0,21	0,09	0,88	0,21	<0,002	0,01	0,02	97,5	0,1

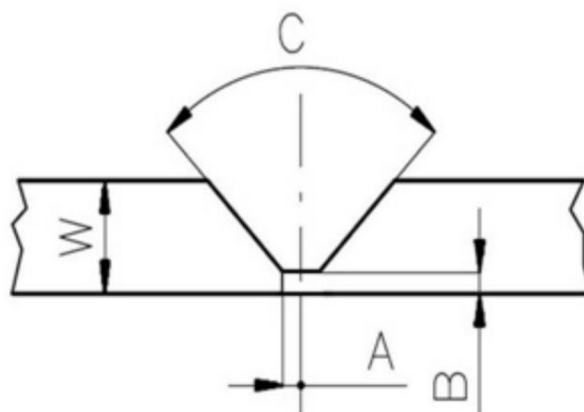
Tab. 7 Mechanické vlastnosti slitiny AW 6061

	Tvrdost s předehřevem 75 °C [HBW]	Tvrdost s předehřevem 150 °C [HBW]	$R_{p0,2}$ [MPa]	R_m [MPa]	Ag [%]
Měření	107 ± 5	115 ± 7	281 ± 0,8	303,2 ± 0,9	12,6 ± 0,2

3.1 Realizace třívrstevných svarů

Svařování bylo navrženo jako svařování s podložkou, přičemž podložka byla součástí geometrie svaru. Geometrie drážky byla vyrobena v souladu s normou ČSN EN ISO 9692-3 a je uvedena na obr. 8.

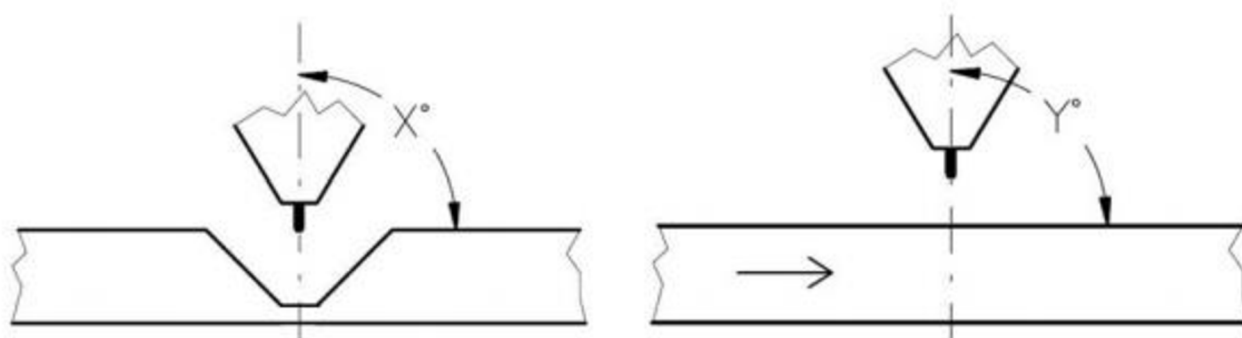
Zkušební svar byl navržen jako třívrstevný. S ohledem na možnost vyhodnocení vlivu vneseného tepla každou housenkou na mechanické vlastnosti svaru, byla první (kořenová) housenka provedena v celé délce desky, následující druhá housenka byla svařena do přibližně $\frac{2}{3}$ délky svařence, třetí krycí housenka byla svařena do $\frac{1}{3}$ délky svařence.



A= 1 mm (šířka spodní drážky), B= 2 mm (velikost otupení), C= 60° (úhel rozevření),
W= 15 mm (tloušťka materiálu)

Obr. 8 Geometrie frézování svarových ploch

Svary byly realizovány ručně metodou MIG. Pro svařování byl použit svařovací zdroj Lorch S Speed Pulse. Samotný svařovací proces byl proveden v poloze PA tak, jak je značeno na obr. 9.



Úhel X je v kolmý na směr svařování, tj. 90°

Úhel Y je ve směru svařování, tj. 90°

Obr. 9 Pohyb svařovací hubice

Nastavené svařovací parametry pro jednotlivé housenky jsou uvedeny v tab. 8. Jako ochranná atmosféra byl použit argon Ar o čistotě 99,9 % o průtoku 15 l.min⁻¹. Přídavný materiál AW 5083 byl použit ve formě drátu o průměru 1 mm navinutém na cívce. Jeho chemické složení je uvedeno v tab. 9.

Tab. 8 Nastavené svařovací parametry

Ø drátu [mm]	proud [A]	napětí [V]	rychlost podávání	frekvence [Hz] při 60% pulzech
1	157	23,9	11,3	3

Tab. 9 Chemické složení přídavného materiálu v [%]

Materiál	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	Ti	ostatní
AW 5083	0,4	0,4	0,1	0,1-0,4	4-4,9	0,05-0,25	0,25	x	0,35

Svařování probíhalo na dvou deskách, které se lišily teplotou předehřevu, první deska byla přehřáta na 75°C, dále jako D75. Druhá deska byla předehřáta na 150°C, dále jako D150. Z hlediska svařování byly nastaveny stejné parametry a ve všech případech šlo o impulzní přenos kovu.

Jak již bylo zmíněno v teoretické části, během svařování dochází k velkému tepelnému ovlivnění svařence. V ovlivněných oblastech dochází k rozpouštění precipitátů, které zpevňují materiál, díky němuž dochází ke snížení mechanických vlastností v dané oblasti.

Výpočtem specifického vneseného tepla Q_s , při svařování lze určit dle následujícího rovnice (1). Svařovací napětí U , proud I a rychlost svařování v_s , jsou uvedeny v tab. 8. Vypočtené vnesené teplo pro jednotlivé housenky D75 je uvedeno v tab. 10 a pro D150 v tab. 11.

$$Q_s = \frac{U \cdot I}{10^3 \cdot v_s} \text{ (kJ} \cdot \text{cm}^{-1}\text{)} \quad (1)$$

Tab. 10 Svařovací parametry D75.

Housenka	Délka svaru [mm]	Doba svařování [s]	Vnesené teplo [kJ.cm ⁻¹]
1	250	42	0,048
2	166	45	0,07
3	83	31	0,1

Tab. 11 Svařovací parametry D150.

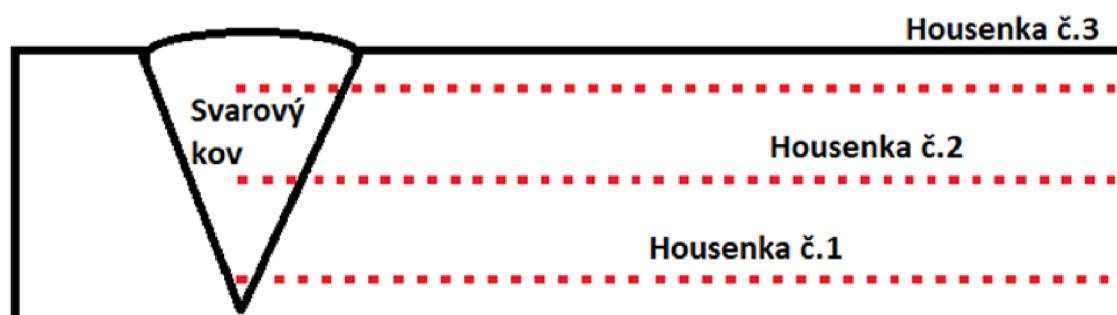
Housenka	Délka svaru [mm]	Doba svařování [s]	Vnesené teplo [kJ.cm ⁻¹]
1	250	43	0,046
2	166	43	0,07
3	83	32	0,1

3.1.1 Vliv svařování na tvrdost svarových spojů

Jak již bylo uvedeno, svařováním dochází k tepelnému ovlivnění materiálu, které způsobuje nepříznivé změny mechanických vlastností. Změna mechanických vlastností byla sledována pomocí měření tvrdosti metodou dle Vickerse HV 5 dle normy ČSN EN ISO 6507-1.

Vzorky pro hodnocení byly rozřezány. S ohledem na možnost vyhodnocení tepelného ovlivnění materiálu každou housenkou bylo z každé desky vytvořeno 8 vzorků, jak z oblasti pouze s jednou housenkou, tak se dvěma i třemi housenkami.

Na těchto vzorcích byly zvoleny jednotně řady, ve kterých byla měřena tvrdost, první řada byla vzdálena 3 mm od dolního okraje vzorku, druhá řada byla ve vzdálenosti 8,5 mm od spodního okraje a třetí řada byla vzdálena 12,5 mm od spodního okraje (viz obr. 10). Vzdálenost mezi jednotlivými vpichy indentoru byla 1 mm. V každé řadě bylo provedeno 54 zkušebních vpichů. Tvrdost byla vždy měřena v jedné řadě napříč svarovým kovem, přes hranici ztavení (dále jako HZ), do tepelně ovlivněné oblasti (dále jako TOO) a základním materiálem (dále jako ZM).



Obr. 10 Schéma řad měření

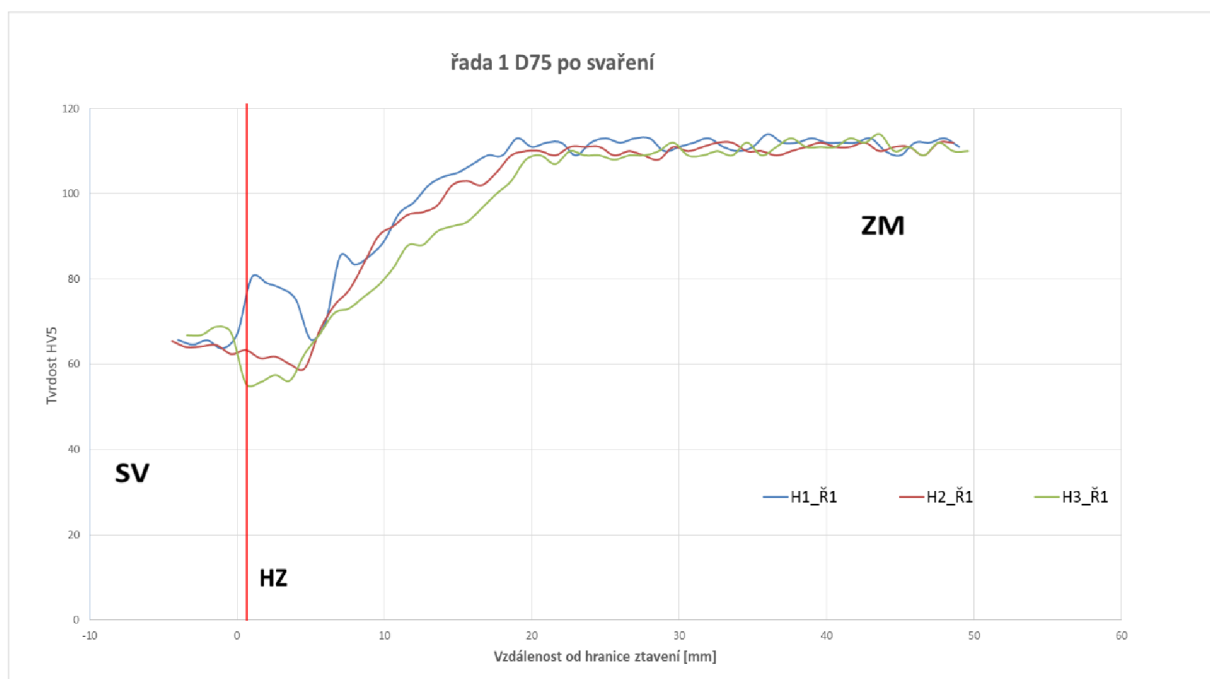
Nejprve byly hodnoceny svary s předehřevem 75 °C po svaření, naměřené hodnoty jsou v příloze 1. Vyhodnocení probíhalo chronologicky tak, jak byly jednotlivé housenky svařovány v jednotlivých řadách, to znamená, že v první řadě byla měřena tvrdost

po nanesení 1, 2 a 3 housenky. V druhé řadě byla měřena tvrdost po nanesení 2 a 3 housenky. Grafické zpracování naměřených tvrdostí HV 5 v řadě 1 ve svarovém kovu, TOO a v základním materiálu vzorku D75 po svaření je na obr. 11. Pro možnost porovnání jsou níže uvedeny průběhy tvrdostí v řadě 1 (3mm od spodního okraje vzorku) po svaření housenky 1 (H1_Ř1), 2 (H2_Ř1) a 3 (H3_Ř1). Naměřené hodnoty tvrdostí v řadě 2 (8,5 mm od spodního okraje vzorku) jsou uvedeny na obr. 12, kde jsou

znázorněny výsledky měření po nanesení housenky 2 (H2_Ř2) a housenky 3 (H3_Ř2) a také poslední řady 3 (12,5 mm od spodního okraje) s housenkou 3 (H3_Ř3).

Zpracovaná data měření na vzorku s předehřevem 75 °C, která jsou zobrazena na obr. 11, dosáhla šíře TOO v místě řady 1 po nanesení první housenky 19 mm (H1_Ř1). Teplo vnesené druhou (H2_Ř1) a třetí housenkou (H3_Ř1) neovlivnilo TOO v místě řady 1.

Tvrdość ZM měřená metodou HV5 je 115. Pro jednovrstvý svar byla nejnižší naměřená tvrdość v TOO 66 HV 5, ve vzdálenosti 5 mm od HZ. Po svaření druhé housenky v místě řady 1, klesla tvrdość na 60 HV 5, ve vzdálenosti 4,6 mm od HZ. Po svaření třetí housenky byla naměřena nejnižší tvrdość 56 HV 5, ve vzdálenosti 3,6 mm od HZ.



Obr. 11 Hodnoty tvrdości naměřené u vzorku D75 po svaření v místě řady 1

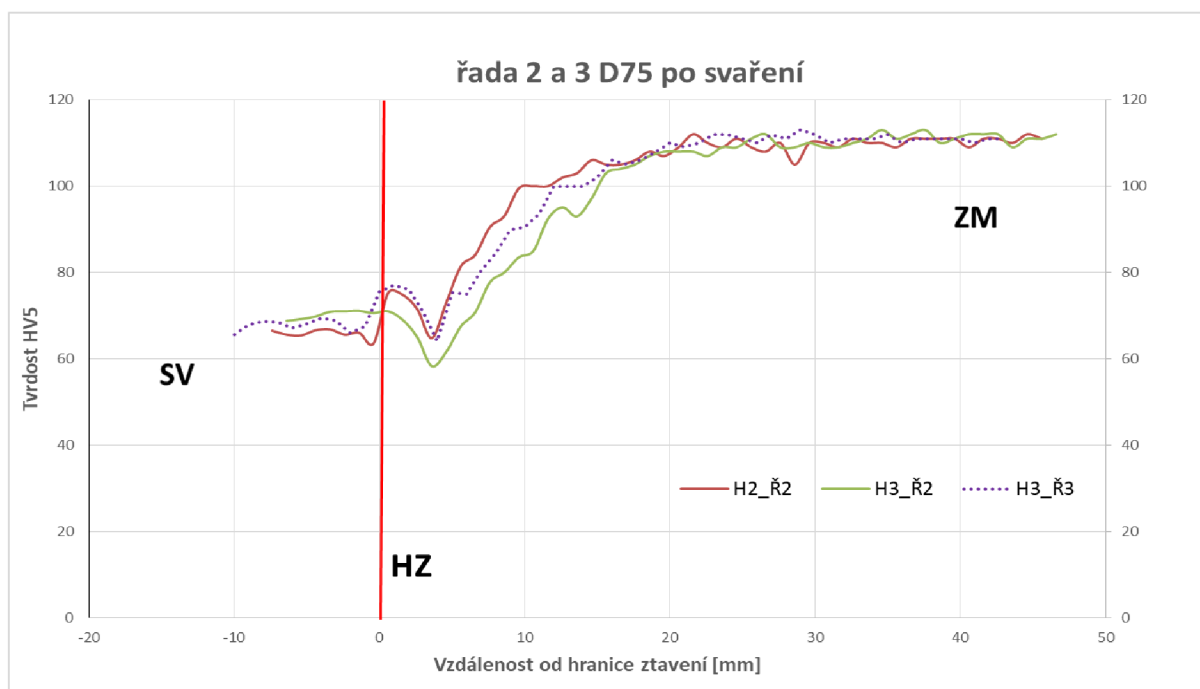
Na obr. 12 je znázorněno, že vnesené teplo v místě řady 2 housenkou 2 (H2_Ř2) vede ke vzniku TOO v šířce 22 mm a stejná šíře TOO byla naměřena u třetí housenky (H3_Ř2) v místě řady 2. Šíře TOO u třetí housenky (H3_Ř3), v místě řady 3, je 23 mm.

U dvouvrstvého svaru v místě řady 2 byla naměřena nejnižší tvrdość 64 HV 5, ve vzdálenosti 3,6 mm od HZ a po svaření třetí housenky ve stejné vzdálenosti 58 HV 5. Třívrstvý svar v místě řady 3 zaznamenal nejnižší tvrdość 64 HV 5, ve vzdálenosti 4 mm od HZ.

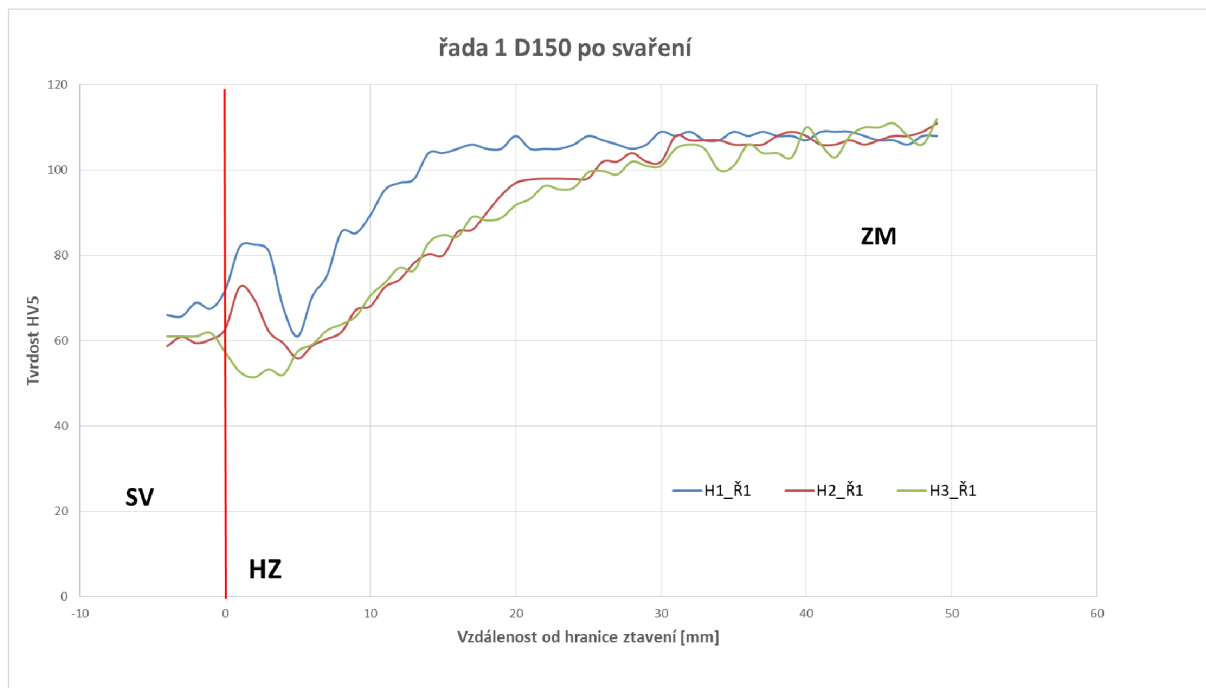
Jako následující byly hodnoceny tvrdości u svarů s předehřevem 150 °C a naměřené hodnoty jsou v příloze 2. Výsledky měření tvrdości HV 5 ve svarovém kovu,

TOO a ZM v místě řady 1, jsou na obr. 13 a v místě řady 2, jsou na obr. 14. V porovnání s D75 po svaření se díky vyššímu přehřevu hodnoty TOO zvětšily. Šíře TOO v místě řady 1 po nanesení housenky 1 (H1_Ř1) je 20 mm. Teplo vnesené housenkou 2 (H2_Ř1) v místě řady 1, rozšířilo TOO na 31 mm a po nanesení housenky 3 (H3_Ř1), v místě řady 1 vzrostla TOO na 32 mm.

Pro jednovrstvý svar byla nejnižší naměřená tvrdost v TOO 61 HV 5 ve vzdálenosti 5 mm od HZ. Po svaření druhé housenky v místě řady 1 klesla tvrdost na 56 HV 5 ve vzdálenosti 5 mm od HZ. Po svaření třetí housenky byla naměřena nejnižší tvrdost 51 HV 5, ve vzdálenosti 2 mm od HZ.



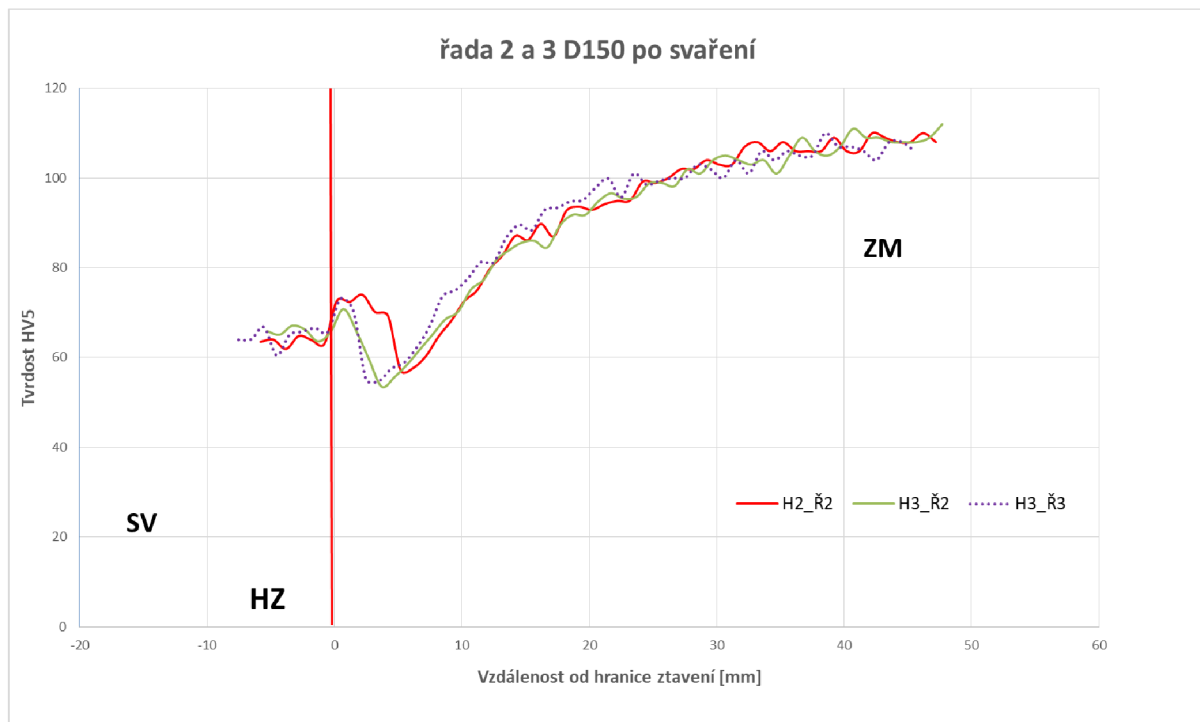
Obr. 12 Hodnoty tvrdosti naměřené u vzorku D75 po svaření v místě řady 2



Obr. 13 Hodnoty tvrdosti naměřené u vzorku D150 po svaření v místě řady 1

Na obr. 14 je graficky znázorněn průběh tvrdosti v místě řady 2 D150 po nanesení housenky 2 (H2_ř2) a 3 (H3_ř2), doplňkově jsou znázorněny i tvrdosti naměřené v místě řady 3, po nanesení housenky 3 (H3_ř3). Z důvodu vyššího přehřevu dosahuje TOO housenky 2 v místě řady 2 hodnoty 33 mm. Po vnesení tepla housenkou 3 v místě řady 2 vzrostla hodnota TOO na 37 mm. Po nanesení housenky 3 v řadě 3 TOO vzrostla na 38 mm.

U dvouvrstvého svaru v místě řady 2 housenky 2 byla naměřena nejnižší tvrdost 57 HV 5 ve vzdálenosti 5,2 mm od HZ. Po svaření třetí housenky v místě řady 2 byla naměřena nejnižší tvrdost 54 HV 5 ve vzdálenosti 3,7 mm od HZ. Třívrstvý svar v místě řady 3 zaznamenal nejnižší tvrdost 55 HV 5 ve vzdálenosti 3,5 mm od HZ.



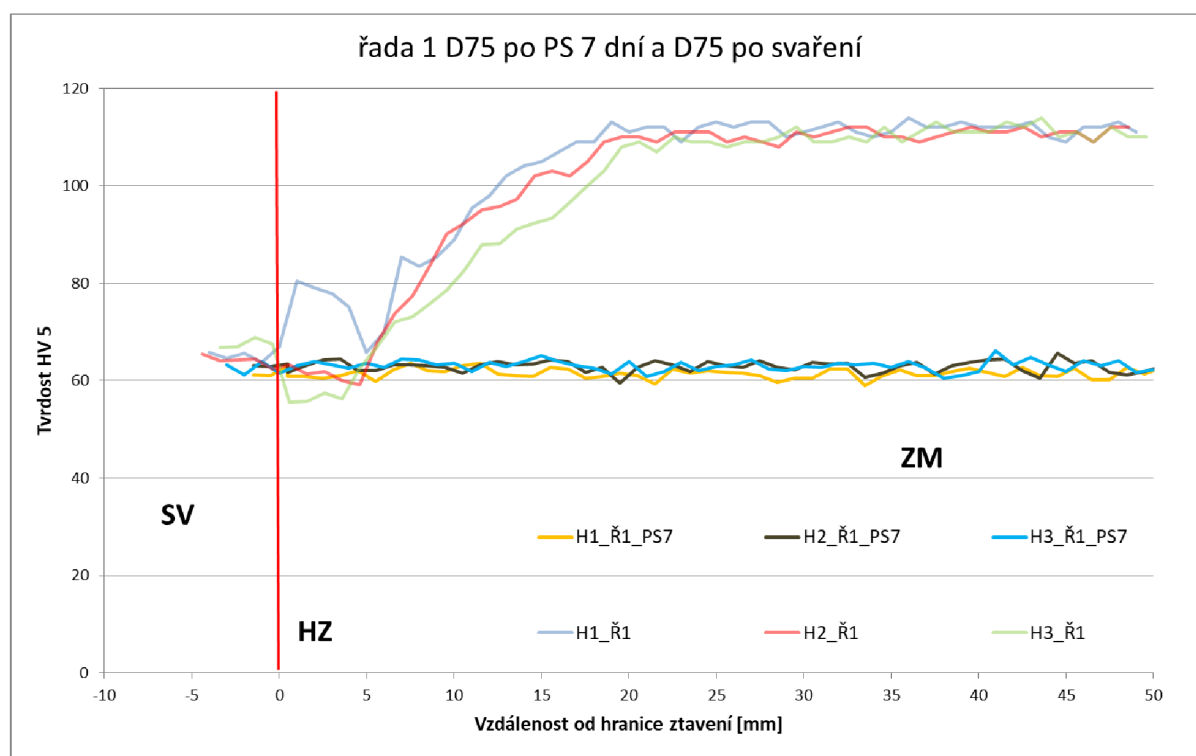
Obr. 14 Hodnoty tvrdosti naměřené u vzorku D150 po svaření v místě řady 2 a 3

Předehřev D75 neovlivnil TOO do takové míry jako předehřev D150. Hodnoty TOO u D75 byla v místě řady 1 po svaření housenky 1, 2 a 3, 19 mm. V místě řady 2, po nanesení housenky 2 a 3 bylo naměřeno 22 mm a v místě řady 3, po nanesení housenky 3, 23 mm. Hodnoty tvrdosti HV 5 se snižovaly vlivem vneseného tepla jednotlivými housenkami. V místě řady 1, zaznamenala nejvyšší tvrdost první nanesená housenka, po nanesení druhé a třetí housenky, se tvrdost sestupně snižovala. Stejná situace nastala i v místě řady 2, kde nejvyšší tvrdost zaznamenala housenka 2. Po nanesení další housenky v této řadě, tvrdost HV 5 klesala. Totožný pokles tvrdostí vlivem nanášení housenek se opakoval i u D150, která byla oproti D75 ještě ovlivněna vyšší teplotou předehřevu, která vedla k větším šířkám TOO. Experimenty s předehřevem 75 °C a 150 °C, ukázaly, že teplota předehřevu se projevuje poklesem tvrdosti v TOO a tuto zároveň rozšiřuje.

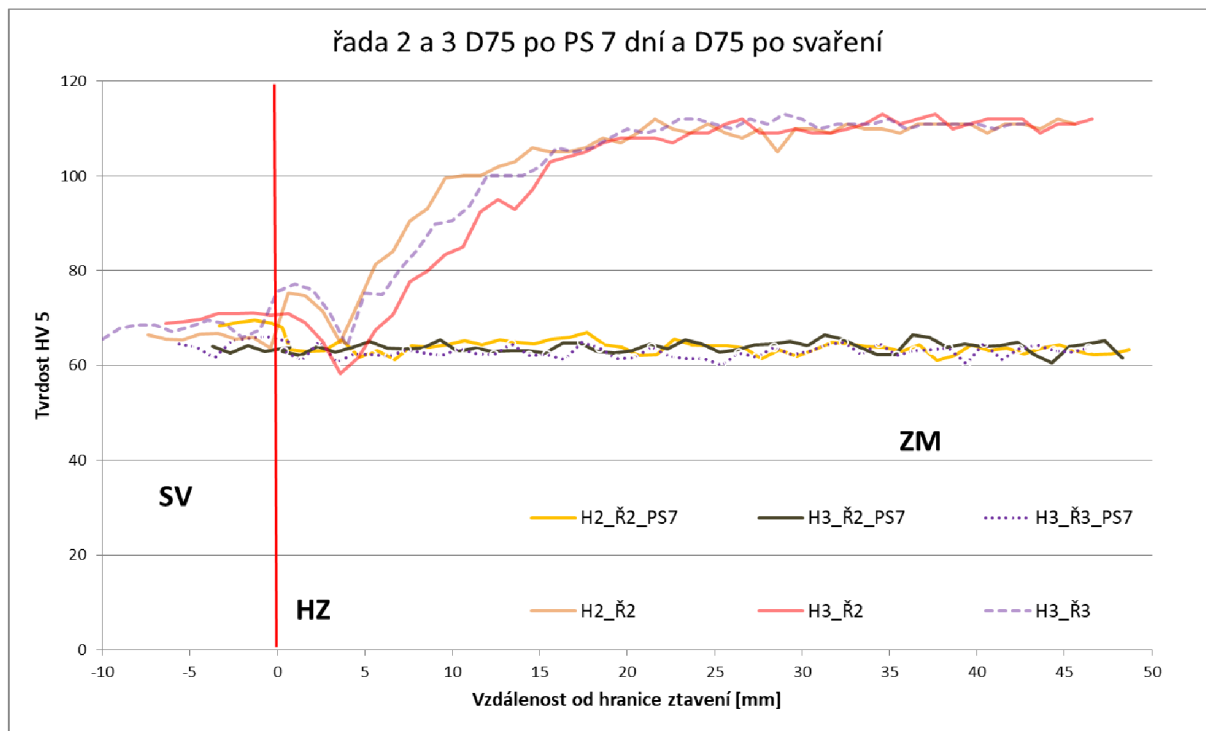
3.1.2 Vliv tepelného zpracování na tvrdost svarů

Materiál byl ve výchozím vytvrzeném stavu, a po jeho svaření došlo k poklesu mechanických vlastností respektive tvrdosti v TOO. Proto bylo dalším cílem obnovit mechanické vlastnosti materiálu na co nejvyšší míru. Na základě rešerše byly zvoleny parametry rozpouštěcího žíhání 530 °C po dobu jedné hodiny. Vzorky k rozpouštěcímu žíhání byly ohřívány v elektrické odporové peci 11016S Classic s teplotní tolerancí ± 10 °C. Vzorky byly poté prudce ochlazeny ve vodě o teplotě 25°C.

Po ochlazení ve vodě následoval proces 7 denního přirozeného stárnutí (dále jako PS7). Tvrdosti naměřené po 7 dnech přirozeného stárnutí pro D75 a D150 jsou znázorněny na obr. 15 - 18. Zde je možné vidět hodnoty tvrdostí po rozpouštěcím žíhání a 7 dnech přirozeného stárnutí v jednotlivých řadách po nanesení 1, 2 a 3 housenky, vyšly jako zcela konstantní. Pro porovnání jsou v grafickém znázornění také uvedeny hodnoty měření vzorků s předehevem 75 °C a 150 °C po svaření. Z těchto měření vyplývá, že přirozené stárnutí nevede ke zvýšení tvrdosti v TOO a nepodařilo se dosáhnout hodnot ZM. Tvrdosti u třívrstvého svaru (viz obr. 15) v místě řady 1 po nanesení housenky 1, 2 a 3 jsou stejné a jejich hodnoty jsou cca 63 HV 5. Totožné hodnoty tvrdosti vykazovala i řada 2 (viz obr. 16) po nanesení housenky 2 a 3, jsou jejich hodnoty cca 64 HV 5.

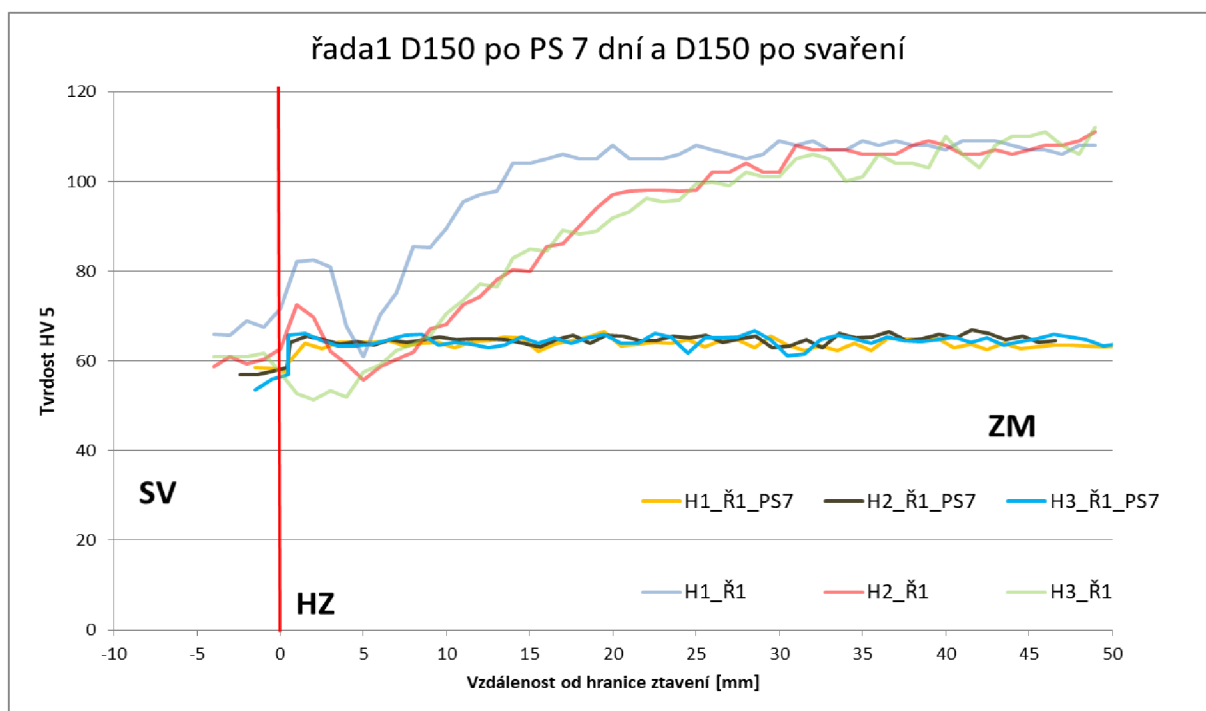


Obr. 15 Hodnoty tvrdosti naměřené u vzorku D75 po přirozeném stárnutí v místě řady 1

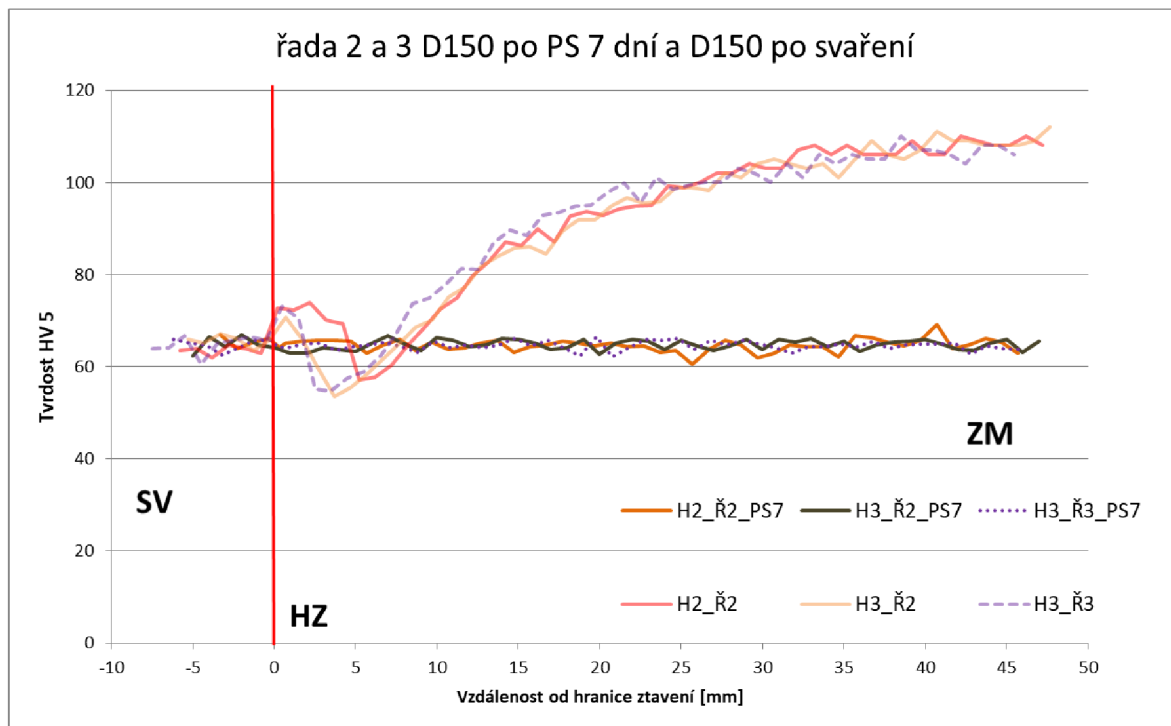


Obr. 16 Hodnoty tvrdosti naměřené u vzorku D75 po přirozeném stárnutí v místě řady 2 a 3

Na obr. 17 jsou graficky znázorněny naměřené hodnoty pro předehřev 150 °C, pro řadu 1 a na obr. 18, pro řadu 2. Tvrdosti u třívrstvého svaru v místě řady 1 po nanesení housenky 1, 2 a 3 jsou stejné a jejich hodnoty jsou cca 64 HV 5. Totožné hodnoty tvrdosti vykazovala i řada 2 po nanesení housenky 2 a 3, jsou jejich hodnoty cca 65 HV 5.



Obr. 17 Hodnoty tvrdosti naměřené u vzorku D150 po přirozeném stárnutí v místě řady 1



Obr. 18 Hodnoty tvrdosti naměřené u vzorku D150 po přirozeném stárnutí v místě řady 2 a 3

Experiment ukázal, že mechanické vlastnosti se vlivem přirozeného stárnutí nepřiblížily původním hodnotám materiálu. Výchozí hodnoty základního materiálu byly 115 HV 5, naměřené hodnoty po rozpouštěcím žíhání a přirozeném 7 denním stárnutí, u vzorků s předehřevem 75 °C a 150 °C, ve všech měřených oblastech (svarovém kovu, TOO i základním materiálu) jsou cca 64 HV 5 po nanesení všech housenek. Tyto zjištěné hodnoty tvrdosti jsou výrazně nižší než u výchozího materiálu. Z tohoto důvodu byly hledány parametry umělého vytvrzování. Na základě rešerše a experimentů na Katedře strojírenské technologie, které měly za cíl určit vhodné technologické parametry pro umělé vytvrzování, byly zvoleny následující parametry pro docílení nejvyšších mechanických vlastností materiálu, pomocí umělého stárnutí (dále jako US):

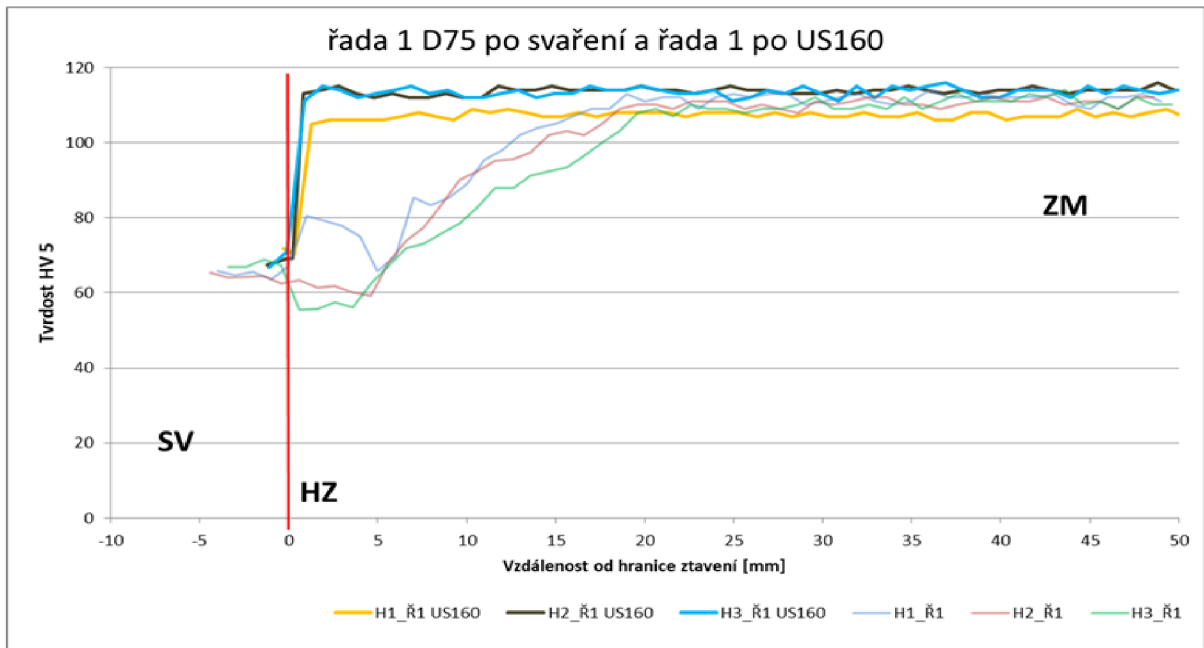
1. 160 °C po dobu 12 hodin
2. 175 °C po dobu 8 hodin
3. 190°C po dobu 4 hodin

Ohřev pro US probíhal v peci Venticell Standart 404, u které byla teplotní tolerance ± 3 °C. Hodnocení tvrdosti svarových spojů probíhalo obdobně jako u vzorků po svaření D75 a D150 a naměřené hodnoty jsou v přílohách 3- 8 .

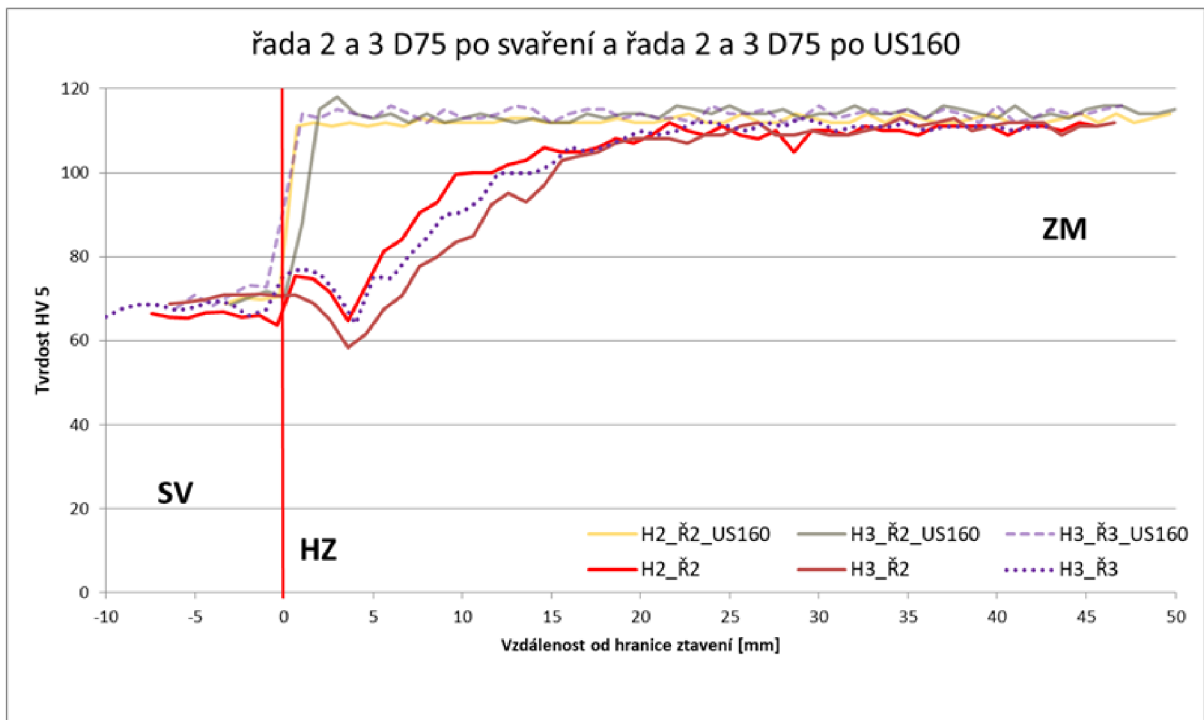
Hodnoty tvrdosti naměřené v místě řady 1 desky D75 po svařování a po umělém stárnutí na teplotě 160 °C po dobu 12 h (dále jako US160) jsou uvedeny na obr. 19 a

na obr. 20 jsou uvedeny hodnoty tvrdosti naměřené u vzorků v místě řady 2 a 3. Je patrné, že umělé stárnutí vedlo k zúžení šířky TOO.

Po tepelném zpracování, tedy rozpouštěcím žíhání a vytvrzování při 160 °C po dobu 12h, došlo k zúžení TOO na cca 1 mm a tvrdost v TOO a základním materiálu se vyrovnala výchozímu stavu, tj. bylo dosaženo 115 HV 5.



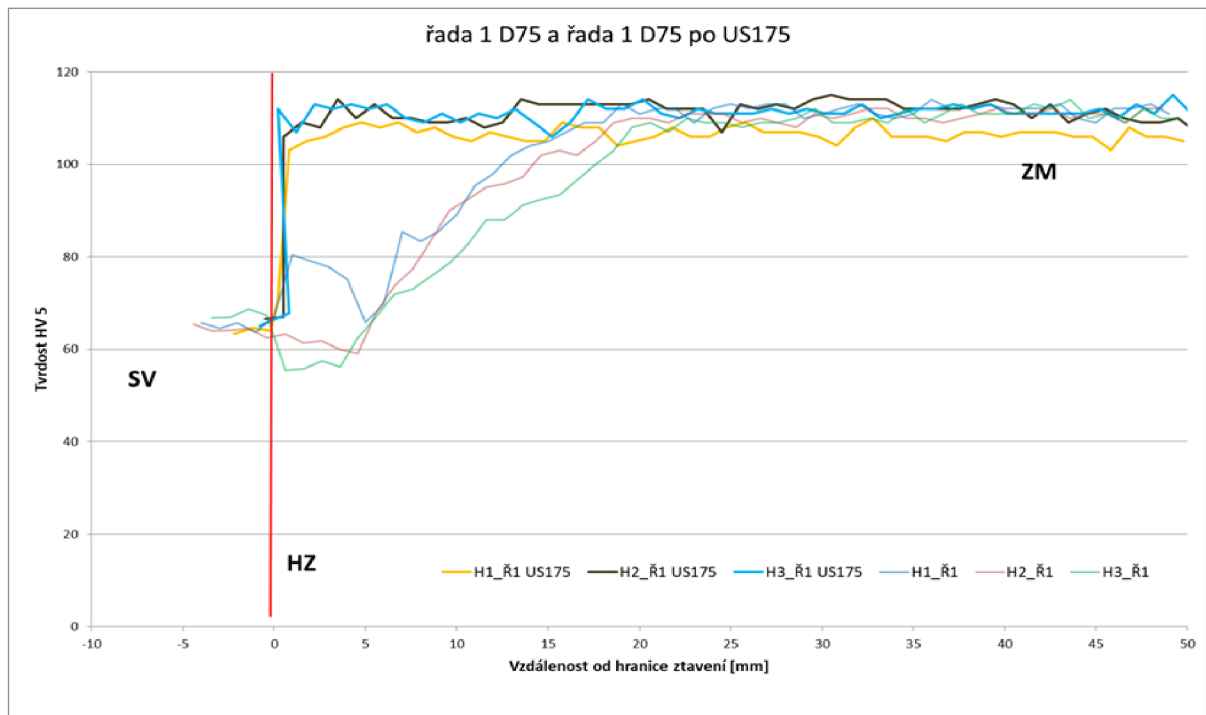
Obr. 19 Hodnoty tvrdosti naměřené u vzorku D75 po umělém stárnutí na teplotě 160°C v místě řady 1



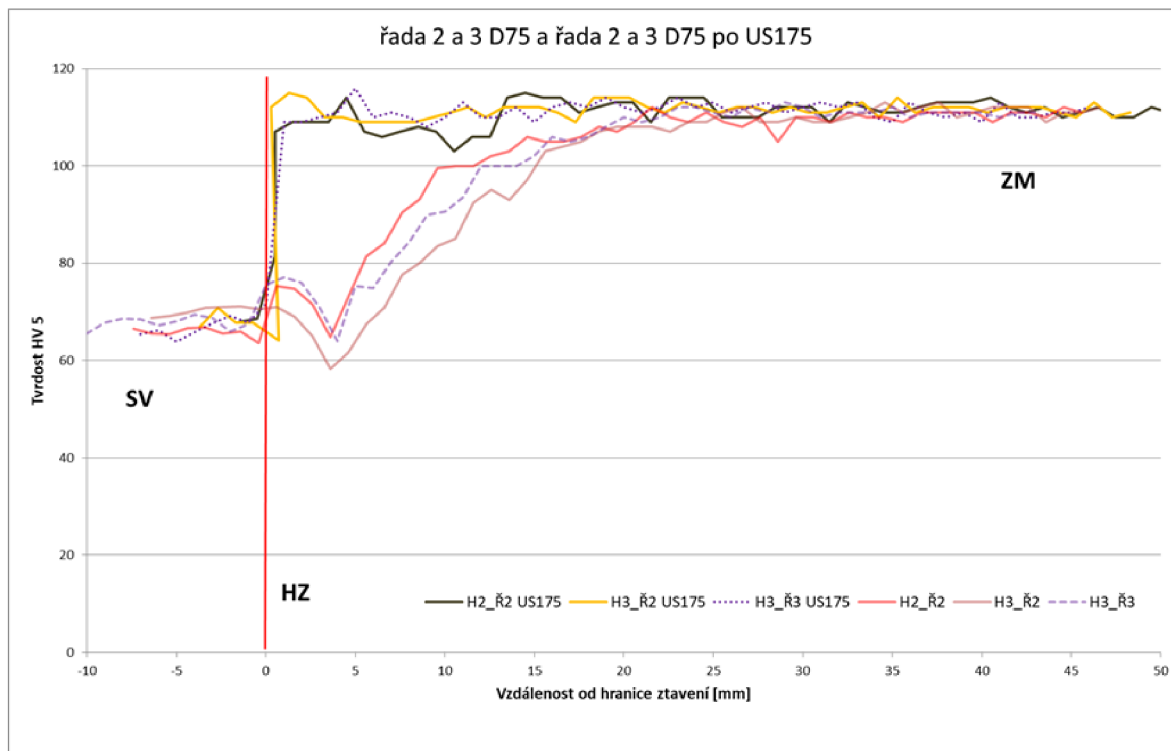
Obr. 20 Hodnoty tvrdosti naměřené u vzorku D75 po umělém stárnutí na teplotě 160°C v místě řady 2 a 3

Na obr. 21 jsou zobrazeny tvrdosti neměřené v místě řady 1 a na obr. 22 v místě řady 2 a 3 u desky D75 po svaření a po umělém stárnutí na teplotě 175 °C po dobu 8 hodin. Je patrné, že tento způsob tepelného zpracování, obdobně jako předchozí vedl k zúžení TOO.

Po rozpouštěcím žihání a vytvrzování při teplotě 175 °C po dobu 8h, došlo k zúžení TOO opět na cca 1 mm a tvrdost v TOO a v základním materiálu byla cca 110 HV 5. Tímto tepelným zpracováním se nepodařilo zcela dosáhnout tvrdosti výchozího materiálu.

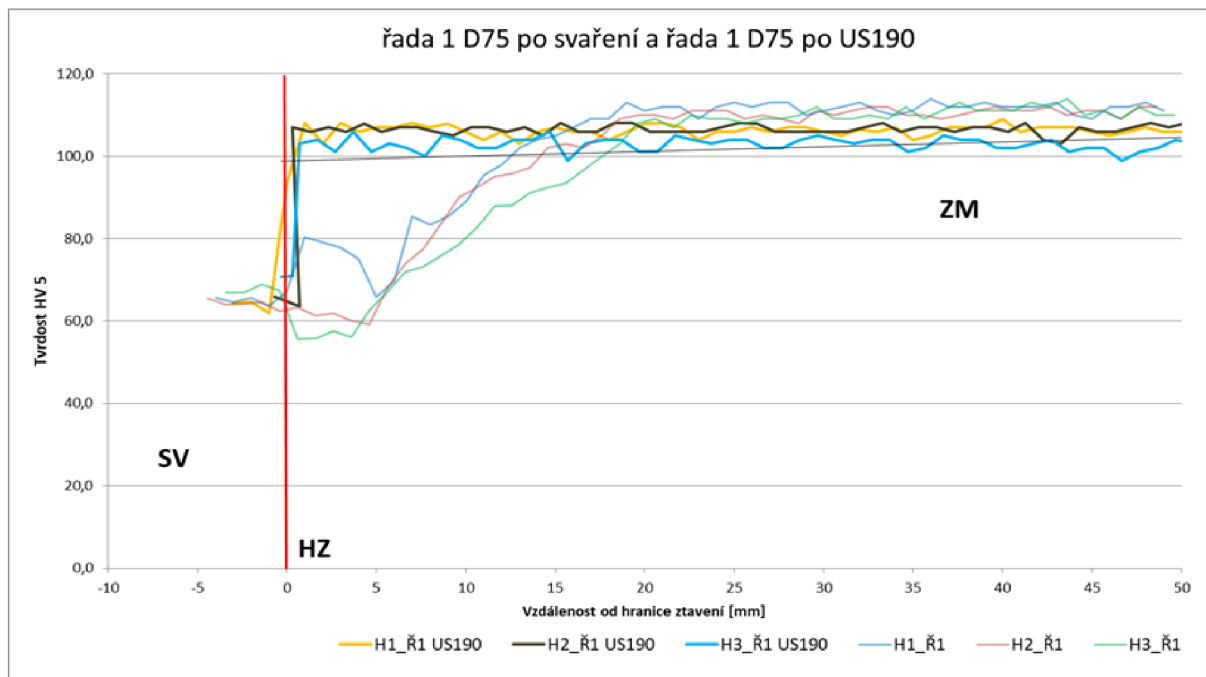


Obr. 21 Hodnoty tvrdosti naměřené u vzorku D75 po umělém stárnutí na teplotě 175°C v místě řady 1

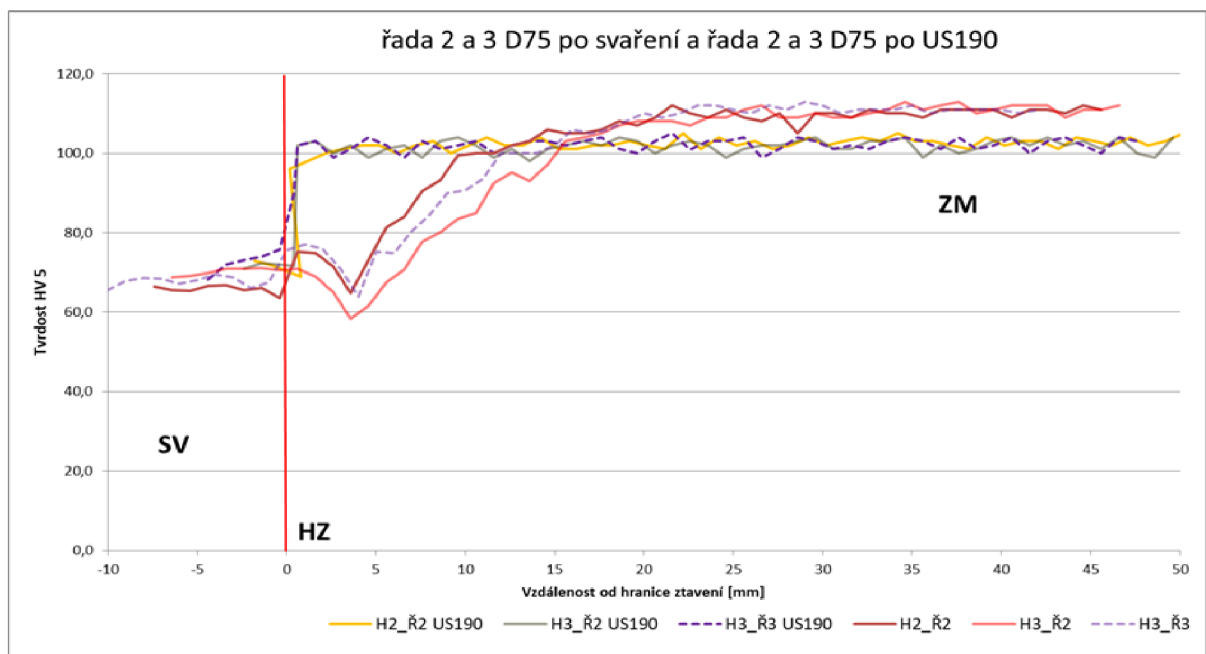


Obr. 22 Hodnoty tvrdosti naměřené u vzorku D75 po umělém stárnutí na teplotě 175°C v místě řady 2 a 3

Hodnoty na obr. 23 zobrazují tvrdosti v místě řady 1 u desky D75 po svaření a po umělém stárnutí na teplotě 190 °C po dobu 4 hodin. Na obr. 24 jsou potom zobrazeny tvrdosti naměřené v místě řady 2 a 3. Z těchto obrázků je patrné, že toto tepelné zpracování (rozpouštěcí žihání a US při 190°C po dobu 4h) opět vedlo k zúžení TOO na cca 1 mm. Díky tomuto tepelnému zpracování bylo dosaženo tvrdosti v TOO a v základním materiálu cca 108 HV 5 (v místě řady 1), resp. 102 HV 5 (v místě řady 2 a 3), což je nižší hodnota ve srovnání s výchozím stavem (115 HV 5).



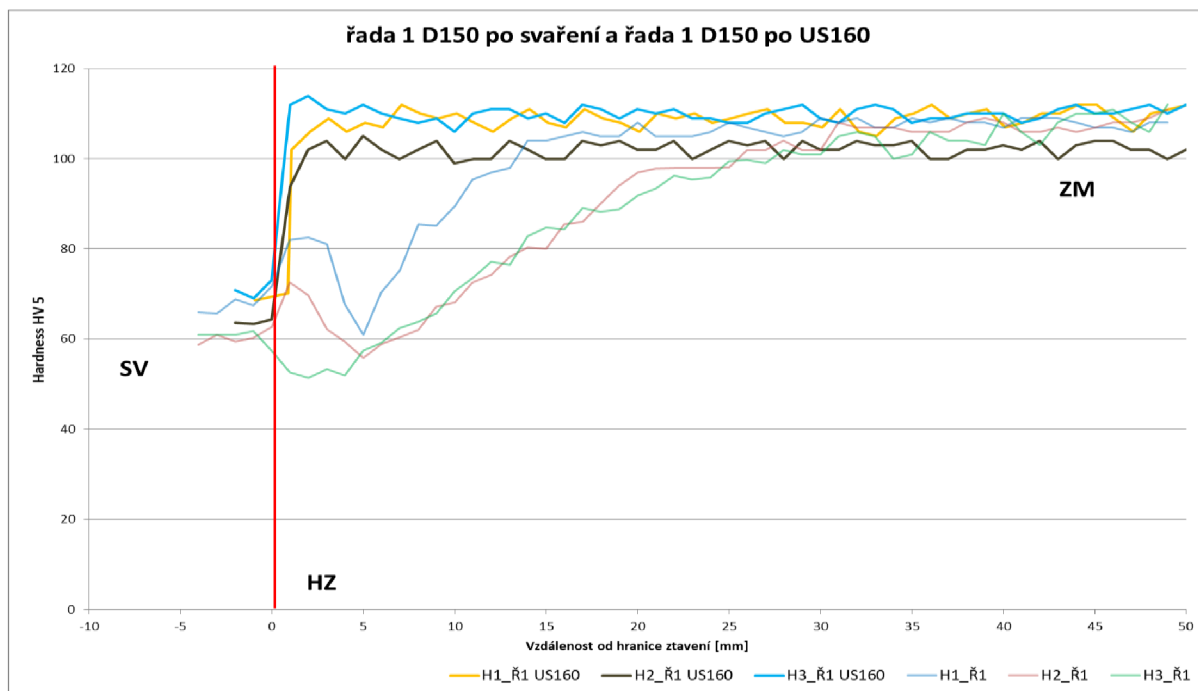
Obr. 23 Hodnoty tvrdosti naměřené u vzorku D75 po umělém stárnutí na teplotě 190°C v místě řady 1



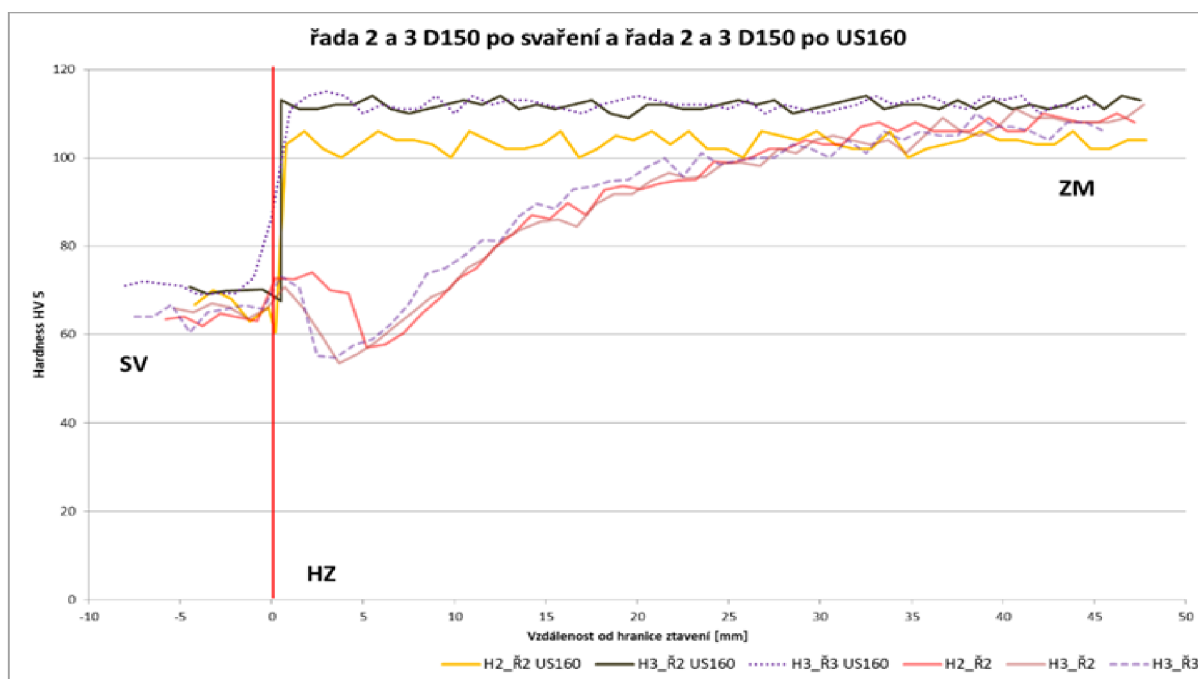
Obr. 24 Hodnoty tvrdosti naměřené u vzorku D75 po umělém stárnutí na teplotě 190°C v místě řady 1

Stejná měření byla provedena i u svarů s předehřevem 150°C. Hodnoty na obr. 25 zobrazují tvrdosti v místě řady 1 desky D150 po svaření a po umělém stárnutí na teplotě 160 °C po dobu 12 hodin. Pro řadu 2 a 3 jsou hodnoty tvrdosti uvedeny na obr. 26. Je patrné, že rozpouštěcí žíhání a umělé stárnutí při teplotě 160°C po dobu 12 h vedlo k zúžení TOO. U vzorků s předehřevem 150°C došlo k zúžení TOO na cca 2 mm. Díky tepelnému zpracování s výše uvedenými parametry bylo dosaženo tvrdosti v TOO

a v základním materiálu cca 107 HV 5, což je nižší hodnota ve srovnání s výchozím stavem (115 HV 5).



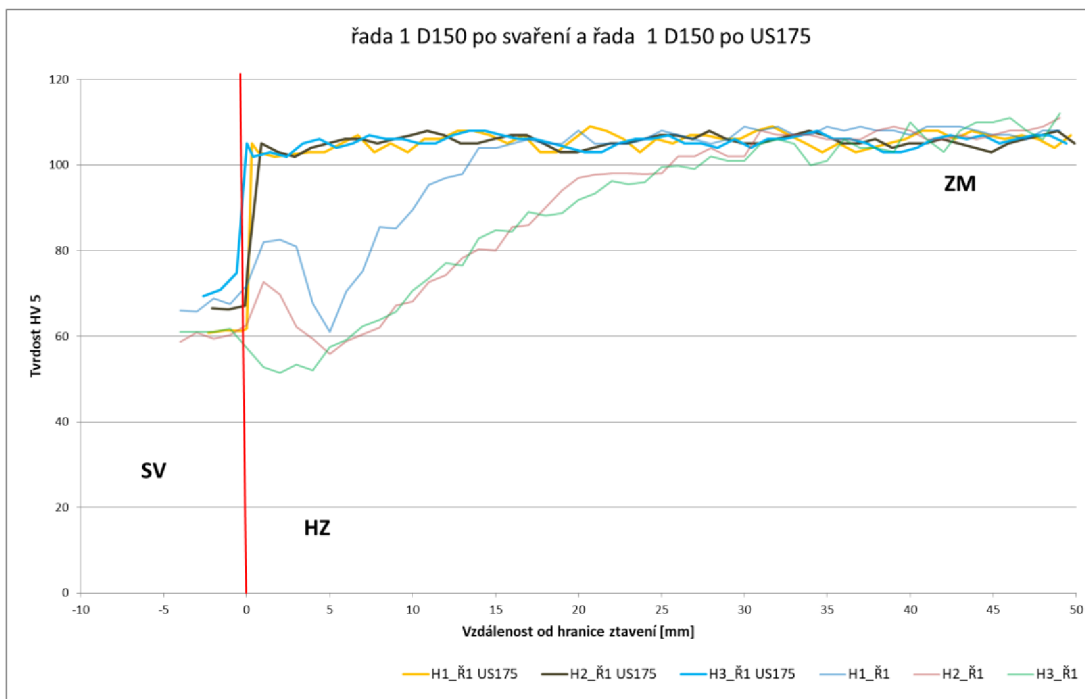
Obr. 25 Hodnoty tvrdosti naměřené u vzorku D150 po umělém stárnutí na teplotě 160°C v místě řady 1



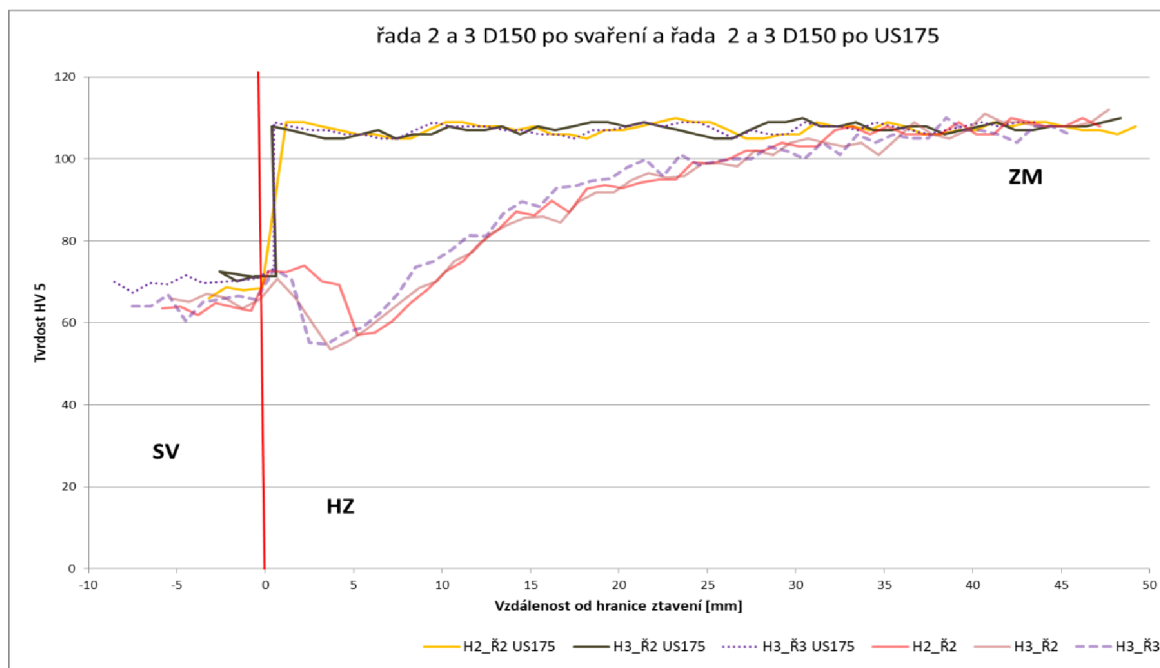
Obr. 26 Hodnoty tvrdosti naměřené u vzorku D150 po umělém stárnutí na teplotě 160°C v místě řady 2 a 3

Tvrlosti naměřené v jednotlivých řadách na svařech s předehřevem 150 °C po svaření a po tepelném zpracování (rozpouštěcí žíhání a US 175 °C po dobu 8h) v místě řady 1 jsou uvedeny na obr. 27 a v místě řady 2 a 3 na obr. 28. Je patrné,

že i tepelné zpracování s těmito parametry vedlo k zúžení TOO. Šířka TOO se zmenšila na cca 1 mm. Tvrdost po tepelném zpracování naměřená v TOO a v základním materiálu byla cca 106 HV 5 (v místě řady 1), resp. 108 HV 5 (v místě řady 2 a 3), tedy ve srovnání s výchozím stavem byla naměřená tvrdost základního materiálu nižší.



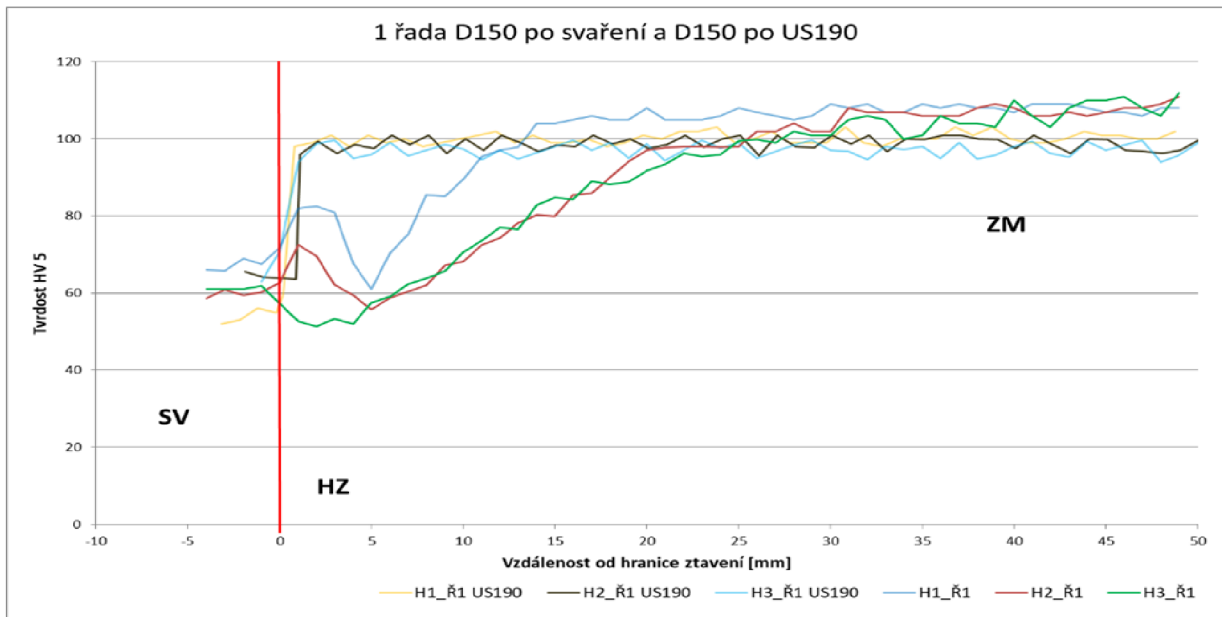
Obr. 27 Hodnoty tvrdosti naměřené u vzorku D150 po umělém stárnutí na teplotě 175°C v místě řady 1



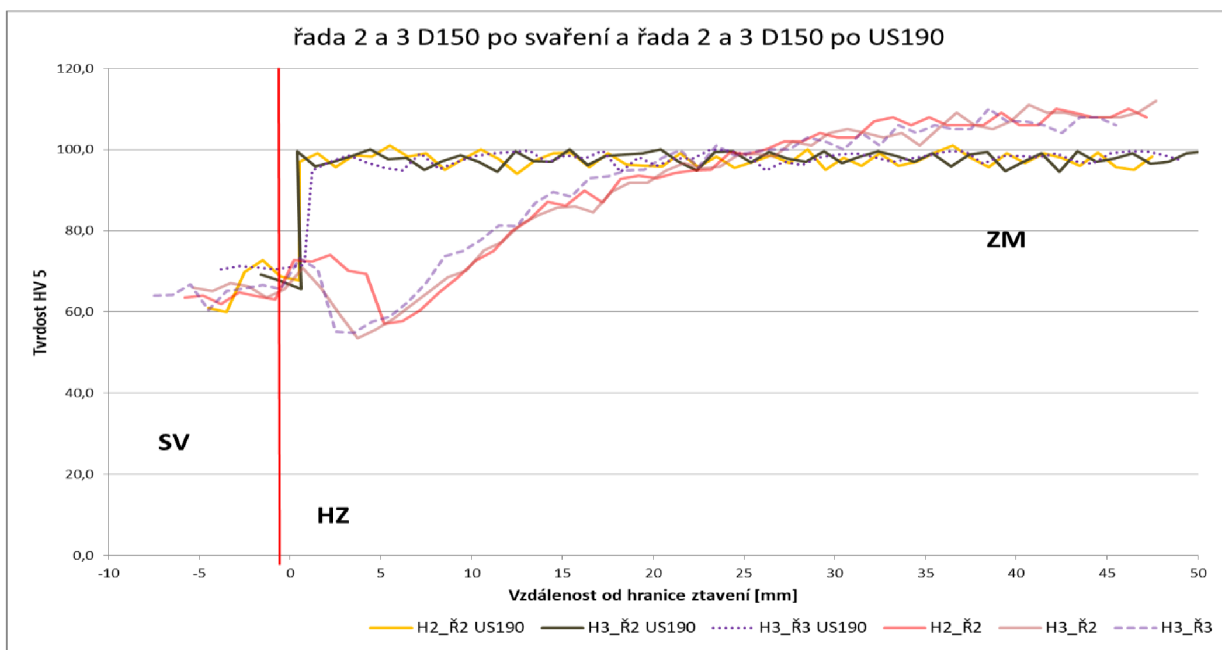
Obr. 28 Hodnoty tvrdosti naměřené u vzorku D150 po umělém stárnutí na teplotě 175°C v místě řady 2 a 3

Pro tepelné zpracování s vytvrzováním při teplotě 190 °C po dobu 4 hodin svari s přehřevem 150 °C jsou naměřené tvrdosti v místě řady 1 uvedeny na obr. 29 a v místě řady 2 a 3 na obr. 30. Je patrné, že i toto tepelné zpracování vedlo k zúžení TOO.

Šířka TOO činila cca 2 mm a neměřená tvrdost v TOO a v základním materiálu byla cca 100 HV 5. Tímto tepelným zpracováním se zcela nepodařilo dosáhnout tvrdosti výchozího materiálu (115 HV5).



Obr. 29 Hodnoty tvrdosti naměřené u vzorku D150 po umělém stárnutí na teplotě 190°C v místě řady 1



Obr. 30 Hodnoty tvrdosti naměřené u vzorku D150 po umělém stárnutí na teplotě 190°C v místě řady 2 a 3

4 Diskuse výsledků

Cílem diplomové práce bylo stanovit vliv teplotních cyklů při svařování vícevrstvých svarů materiálu AW 6061 na mechanické vlastnosti tepelně ovlivněné zóny (TOO). V této souvislosti byl také sledován vliv předehřevu (75 °C a 150 °C). Dalším cílem bylo sledování vlivu umělého a přirozeného stárnutí na změnu mechanických vlastností svarových spojů provedených při různých technologických podmínkách. Změna mechanických vlastností byla vyjádřena měřením tvrdosti ve svarovém kovu, TOO a základním materiálu metodou HV 5.

Výsledky měření ukazují, že v oblasti svarového kovu dochází u svaru s předehřevem 75 °C a 150 °C k velmi malým změnám tvrdosti v rozmezí cca 60 až 70 HV5). To je způsobeno použitím nevytvrditelného přídavného materiálu.

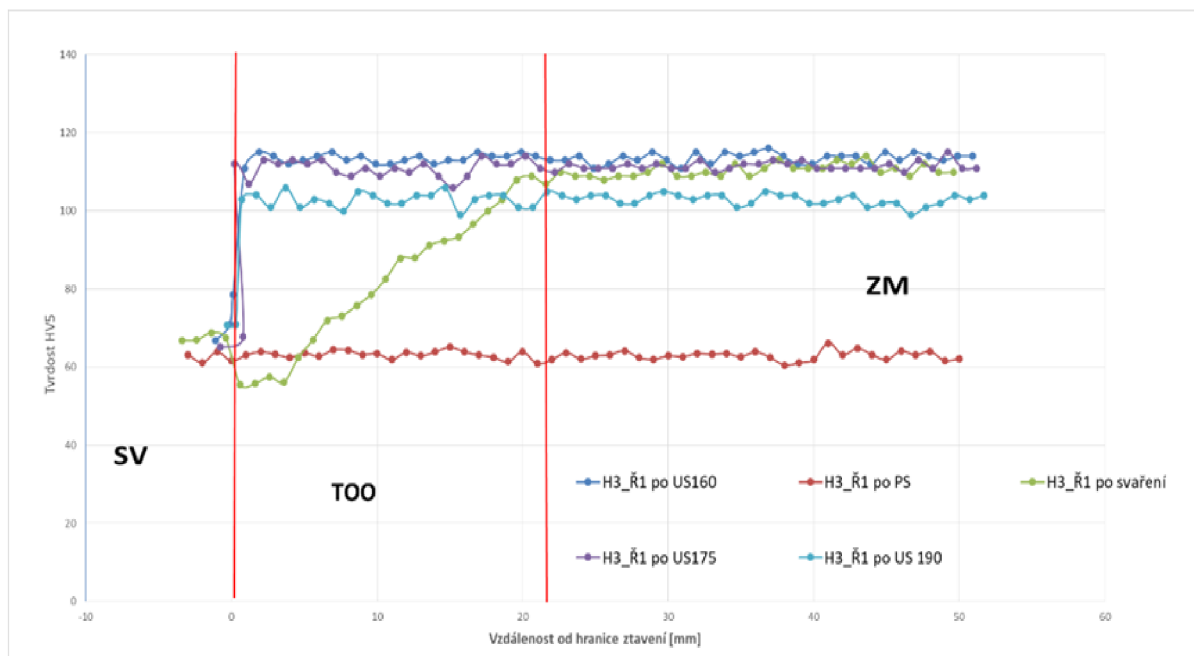
Výchozí hodnoty tvrdosti základního materiálu byly u desek s předehřevem 75 °C a 150 °C cca 115 HV 5. U svaru s předehřevem 75 °C došlo po nanesení první housenky v místě řady 1 k poklesu tvrdosti na hodnotu 66 HV 5 (tj. cca o 39 % nižší proti základnímu materiálu) při šířce TOO 19 mm. Šířka TOO v místě řady 1 se po nanesení housenky 2 a 3 nezměnila a tvrdost klesla na 60 HV 5 (tj. cca o 46 % nižší proti základnímu materiálu). V místě řady 2 po nanesení housenky 2 se vlivem vneseného tepla TOO zvětšila na 22 mm a tvrdost klesla na 64 HV 5 (tj. cca o 41 % nižší proti základnímu materiálu). Šířka TOO zůstala zachována i po nanesení housenky 3. V místě řady 3 se po nanesení housenky 3 šířka TOO vlivem vneseného tepla změnila na 23 mm a tvrdost klesla na 58 HV 5 (tj. cca o 48 % nižší proti základnímu materiálu).

U svaru s předehřevem 150 °C vlivem vyššího předehřevu byla po nanesení první housenky v místě řady 1 šířka TOO 20 mm a tvrdost klesla na 61 HV 5 (tj. cca o 45 % nižší proti základnímu materiálu). Po nanesení housenky 2 se tato šířka změnila na 31 mm, tvrdost klesla na 56 HV 5 (tj. cca o 50 % nižší proti základnímu materiálu). Po nanesení housenky 3 se v místě řady 1 TOO rozšířila na 32 mm a tvrdost klesla na 51 HV 5 (tj. cca o 56 % nižší proti základnímu materiálu). V místě řady 2 po nanesení housenky 2, se vlivem vyššího předehřevu, šířka TOO změnila na 33 mm a tvrdost poklesla na 57 HV 5 (tj. cca o 49 % proti základnímu materiálu). Třetí housenka rozšířila TOO v místě řady 2 na 37 mm a tvrdost poklesla na 54 HV 5 (tj. cca o 53 % proti základnímu materiálu). V místě řady 3, po nanesení housenky 3, se šířka TOO vlivem vyššího předehřevu opět zvětšila a to na 38 mm, tvrdost klesla na 55 HV 5 (tj. cca o 52 % proti základnímu materiálu).

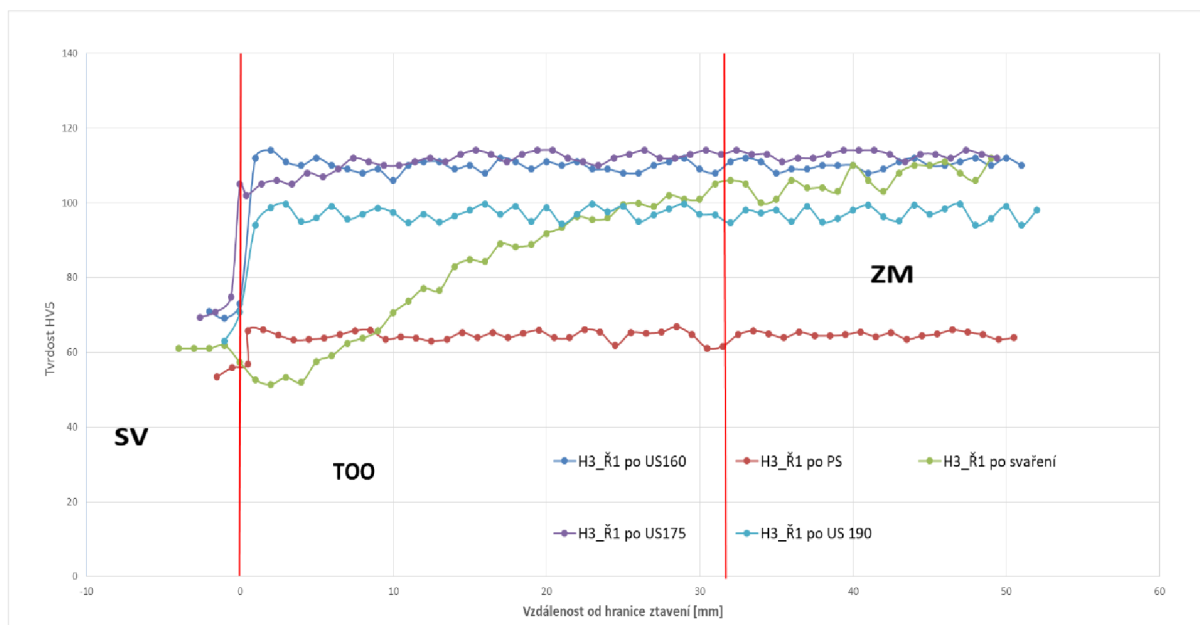
Výše předehřevu ovlivnila šířku TOO i naměřenou tvrdost v jednotlivých oblastech. Z výsledků měření vyplývá, že předehřev materiálu na teplotu 150 °C vedl ke snížení tvrdosti HV 5 v TOO a zároveň rozšířil TOO proti svaru s nižším předehřevem. U svaru s předehřevem 75 °C v místě řady 1, byla šířka TOO 19 mm a ve stejném místě u svaru s předehřevem 150 °C byla šířka TOO 32 mm.

Použitý materiál byl dodán ve vytvrzeném stavu a po jeho svaření došlo k poklesu mechanických vlastností, resp. tvrdosti, v TOO. Proto bylo dalším cílem práce obnovit mechanické vlastnosti TOO na co nejvyšší míru. Na základě výsledků experimentů, které byly prováděny na Katedře strojírenské technologie a které se zabývaly sledováním vlivu tepelného zpracování na vlastnosti materiálu AW 6061, byly pro tepelné zpracování použity následující parametry: rozpouštěcího žíhání 530 °C po dobu jedné hodiny, zchlazení do vody a přirozené nebo umělé stárnutí při teplotách 160 °C po dobu 12 h, 175 °C po dobu 8 h a 190 °C po dobu 4 h.

Na následujících obr. 31 a obr. 32 je pro možnost porovnání uvedeno grafické zpracování naměřených hodnot tvrdosti v místě řady 1, po nanesení třech housenek u svaru s předehřevem 75 °C a 150 °C. Pro představu je zde červeně znázorněna šířka TOO, která vznikla po svařování.



Obr. 31 Průběhy tvrdosti D75 u třívrstvého svaru v místě řady 1 po svařování a tep. zpracování, přirozeném stárnutí, a umělém stárnutí při 160 °C po dobu 12 h, 175 °C po dobu 8 h a 190 °C po dobu 4 h



Obr. 32 Průběhy tvrdosti D150 u třívrstvého svaru v místě řady 1 po svařování a tep. zpracování, přirozeném stárnutí, a umělém stárnutí při 160 °C po dobu 12 h, 175 °C po dobu 8 h a 190 °C po dobu 4 h

Z výsledků měření tvrdosti je patrné, že přirozené stárnutí nevedlo k obnovení výchozích mechanických vlastností a neovlivnilo ani šířku TOO. U svaru s předehřevem 75 °C, i 150 °C bylo dosaženo tvrdosti v základním materiálu pouze 64 HV5, což ve srovnání s tvrdostí výchozího materiálu 115 HV 5 činilo jen cca 59 % původních hodnot výchozího materiálu.

Z výsledků měření tvrdosti na svarech po tepelném zpracování je patrné, že umělé stárnutí vedlo jednak k zúžení TOO, i k zvýšení tvrdosti. Jelikož byl při svařování použit nevytvrditelný materiál, tudíž ve svarovém kovu nedošlo po tepelném zpracování k výrazným změnám tvrdosti. Umělé stárnutí vedlo k zúžení TOO na cca 1 až 2 mm a k částečnému obnovení mechanických vlastností (tvrdosti) TOO v závislosti na parametrech tepelného zpracování.

K největším nárůstům hodnot tvrdosti v TOO a v základním materiálu došlo u obou typů svarů (s předehřevem 75 °C a 150 °C) při aplikaci umělého stárnutí při teplotě 160 °C po dobu 12 hodin, viz obr. 31 a obr. 32.

U svarů s předehřevem 75 °C se umělým stárnutím při teplotě 160 °C po dobu 12 hodin, v TOO podařilo zvýšit tvrdost HV 5 na 97 %. Při teplotě 175 °C s dobou výdrže 8 hodin, došlo ke zvýšení tvrdosti HV 5 na 93 % původní hodnoty tvrdosti výchozího materiálu při zpracování T651. Teplotou 190 °C s dobou výdrže 4 hodin, se v TOO podařilo zvýšit tvrdost HV 5 na 85 %.

U svarů s předehřevem 150 °C se umělým stárnutím při teplotě 160 °C po dobu 12 hodin, v TOO podařilo zvýšit tvrdost HV 5 na 95 %. Při teplotě 175 °C s dobou

výdrže 8 hodin, došlo ke zvýšení tvrdosti HV 5 na 98 % původní hodnoty tvrdosti výchozího materiálu. Teplotou 190 °C s dobou výdrže 4 hodin, se v TOO podařilo zvýšit tvrdost HV 5 na 77 %, původní hodnoty tvrdosti výchozího materiálu při zpracování T651.

5 Závěr

Cílem diplomové práce bylo stanovit vliv teplotních cyklů při svařování vícevrstvých svarů materiálu AW 6061 na mechanické vlastnosti tepelně ovlivněné zóny (TOO). V této souvislosti byl také hodnocen vliv předehřevu (75 °C a 150 °C). Dalším cílem bylo sledování vlivu umělého a přirozeného stárnutí na změnu mechanických vlastností svarových spojů provedených při různých technologických podmínkách. Změna mechanických vlastností byla vyjádřena měřením tvrdosti ve svarovém kovu, TOO a základním materiálu.

Práce byla rozdělena na teoretickou a experimentální část. V teoretické části jsou popsány vlastnosti hliníku a jeho slitin a možnosti jejich tepelného zpracování. Samostatná kapitola je věnována svařitelnosti hliníkových slitin a metodám, kterými se tyto slitiny svařují v průmyslové praxi.

Experimentální část byla rozdělena do několika částí. V první části experimentu byl popsán výchozí materiál AW 6061, jeho rozměry, chemické složení a mechanické vlastnosti. Byla navržena a popsána geometrie svařovacích ploch a realizace svarů, spolu s nastavenými svařovacími parametry a chemickým složením přídavného materiálu. Následně byly popsány vlivy svařování na změnu mechanických vlastností svarových spojů. Sledované změny byly určeny pomocí měření tvrdosti HV 5 v souladu s normou ČSN EN ISO 6507-1.

S ohledem na praktické využití mají největší přínos výsledky stanovené u třívrstvého svaru, kdy je dané místo svarového spoje ovlivněno vícenásobným cyklem. V práci byl také posouzen vliv teploty předehřevu (předehřev 75 °C a 150 °C) na velikost TOO.

Poslední část experimentu byla zaměřena na stanovení vlivu tepelného zpracování na změnu šířky TOO, tvrdosti svarů v TOO a v základním materiálu. Experimenty ukázaly, že přirozeným stárnutím, následujícím po rozpouštěcím žihání u svarů na materiálu AW 6061, není možné šířku TOO a její vlastnosti ovlivnit. Pomocí umělého stárnutí došlo sice k mírnému poklesu tvrdosti základního materiálu, ale k velmi výraznému zúžení TOO. Nejvyšších tvrdostí bylo dosaženo při umělém stárnutí za teploty 160 °C po dobu 12 hodin. Výše předehřevu však neměla na úroveň vytvrzení významný vliv.

Na závěr lze konstatovat, že předehřev materiálu před svařováním snižuje pravděpodobnost vzniku vad typu studených spojů, ale zároveň rozšiřuje TOO. Obnova vlastností TOO je však pomocí tepelného zpracování možná.

6 Literatura

- [1] MICHNA a kol. Encyklopedie hliníku. Prešov : ADIN, 2005. ISBN 80-89041-88-4.
- [2] Global end use of aluminum products in 2020, by sector. [Online] [Citace: 23. 5 2021.] [Global end use of aluminum by sector 2020 | Statista](#)
- [3] Straka, Jan. [Online] [Citace: 30. 3 2021.] Dostupné z: <https://www.tabulka.cz/prvky/ukaz.asp?id=13>
- [4] ROUČKA, J. *Metalurgie neželezných slitin*. Brno : Akademické nakladatelství CERM, 2004. ISBN 80-214-2790-6
- [5] PTÁČEK, L. *Nauka o materiálu II*. Brno: CERM, 1999. ISBN 80-7204-130-4
- [6] SLAVÍČEK, J. Hliník a jeho slitiny v automobilovém průmyslu. Bakalářská práce. Brno: Vysoké učení technické v Brně- Fakulta strojního inženýrství, 2011.
- [7] Technické údaje o hliníku. [Citace: 30. 03 2021.]. Dostupný z: http://www.alucad.cz/public/var/files/file_109.pdf.
- [8] Primapol.cz. [Citace: 30. 03 2021.] Dostupné z: [Katalog | Primapol](#)
- [9] Bodycote.com. 2019. [Citace: 22. 5 2021.] Dostupné z: [Rozpouštěcí žihání a stárnutí hliníkových slitin ...](#)
- [10] KOUTNÝ, J. Hliníkové materiály. [Citace: 7. 4 2021.]. Dostupné z: [Hliníkové materiály a možnosti jejich svařování - EWS](#)
- [11] Kolektiv autorů. *Materiály a jejich svařitelnost*. Ostrava: ZEROSS, 2001.
- [12] TMEJ J., NEUMANN, H., JENŠÍ, S. *Teorie svařování*. Liberec: TUL, 1990.
- [13] KOUTNÝ, J. Hliníkové materiály a možnosti jejich svařování. [Citace: 30. 03 2021.] Dostupné z: [Hliníkové materiály a možnosti jejich ... - SVARBAZAR](#)
- [14] HÁJEK, J. Hliník a možnosti jeho svařování. *Konstrukce*. [Citace: 30. 03 2021.] Dostupné z: www.konstrukce.cz/clanek/ochranne-plyny-s-obsahem-dusiku-pro-svarovanihliniku-metodou-tig-a-mig
- [16] MORAVEC, J. *Teorie svařování a pájení II - Speciální metody svařování*. Liberec : TUL, 2009. ISBN 978-80-7372-439-9

- [17] Laserové svařování. [Citace: 30. 03 2021.] Dostupné z: www.technomat.cz/ksp-sm-sms/.
- [18] KOLÁŘ, V. Svařitelnost hliníkových slitin. [Citace: 23. 5 2021.]. Dostupné z [CWS ANB: Svařitelnost hliníkových slitin](#)
- [19] RIEDL, L. Vliv různých typů ochranných plynů na tvar svarové lázně při svařování metodou MIG. [Bakalářská práce]. Liberec: Technická univerzita v Liberci – Fakulta strojní, 2012.
- [20] Svařování TIG – seznámení [Citace: 30. 03 2021.] Dostupné z: [Co je metoda TIG? Základní seznámení | SVÁŘEČKY-ELEKTRODY.CZ](#)
- [21] Elektronové svařování - perspektivní metoda pro speciální materiály. [Citace: 31. 03 2021.]. Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/clanek/elektronove-svarovani-perspektivni-metoda-pro-specialni-materialy>
- [22] ROUBÍČEK, M. Laserové svařování – ekonomika a kvalita. *Konstrukce*. [Citace: 31. 03 2021.]. Dostupné z: <http://www.konstrukce.cz/clanek/laserove-svarovani-ekonomika-a-kvalita>

Seznam příloh

Příloha 1: Naměřené hodnoty tvrdostí HV 5 ve svarovém kovu, TOO a ZM pro svar s předehřevem 75 °C.

Příloha 2: Naměřené hodnoty tvrdostí HV 5 ve svarovém kovu, TOO a ZM pro svar s předehřevem 150 °C.

Příloha 3: Naměřené hodnoty tvrdostí HV 5 svaru D75 - rozpouštěcí žihání, zchlazení a umělé stárnutí při 160°C po dobu 12 hodin

Příloha 4: Naměřené hodnoty tvrdostí HV 5 svaru D75 - rozpouštěcí žihání, zchlazení a umělé stárnutí při 175°C po dobu 8 hodin.

Příloha 5: Naměřené hodnoty tvrdostí HV 5 svaru D75 - rozpouštěcí žihání, zchlazení a umělé stárnutí při 190°C po dobu 4 hodin.

Příloha 6: Naměřené hodnoty tvrdostí HV 5 svaru D150 - rozpouštěcí žihání, zchlazení a umělé stárnutí při 160°C po dobu 12 hodin

Příloha 7: Naměřené hodnoty tvrdostí HV 5 svaru D150 - rozpouštěcí žihání, zchlazení a umělé stárnutí při 175°C po dobu 8 hodin.

Příloha 8: Naměřené hodnoty tvrdostí HV 5 svaru D150 - rozpouštěcí žihání, zchlazení a umělé stárnutí při 190°C po dobu 4 hodin.

Příloha 9: Naměřené hodnoty tvrdostí HV 5 svaru D75 - rozpouštěcí žihání, zchlazení a přirozené stárnutí po 7 dnech.

Příloha 10: Naměřené hodnoty tvrdostí HV 5 svaru D150 - rozpouštěcí žihání, zchlazení a přirozené stárnutí po 7 dnech.

Příloha 1: Naměřené hodnoty tvrdosti HV 5 ve svarovém kovu, TOO a ZM pro svar s předehřevem 75 °C

Předehřev 75°C				
číslo měření	tvrdost HV 5	pozice y [mm]	pozice x [mm]	Oblast vpichu
1	65,7	3	-4	SK
2	64,6	3	-3	SK
3	65,6	3	-2	SK
4	63,7	3	-1	SK
5	67	3	0	HZ
6	80,4	3	1	TOO
7	79,1	3	2	TOO
8	77,8	3	3	TOO
9	75,1	3	4	TOO
10	65,8	3	5	TOO
11	69,8	3	6	TOO
12	85,4	3	7	TOO
13	83,4	3	8	TOO
14	85,4	3	9	TOO
15	89	3	10	TOO
16	95,4	3	11	TOO
17	98	3	12	TOO
18	102	3	13	TOO
19	104	3	14	TOO
20	105	3	15	TOO
21	107	3	16	TOO
22	109	3	17	TOO
23	109	3	18	TOO
24	113	3	19	TOO
25	111	3	20	ZM
26	112	3	21	ZM
27	112	3	22	ZM
28	109	3	23	ZM
29	112	3	24	ZM
30	113	3	25	ZM
31	112	3	26	ZM
32	113	3	27	ZM
33	113	3	28	ZM
34	110	3	29	ZM
35	111	3	30	ZM
36	112	3	31	ZM
37	113	3	32	ZM
38	111	3	33	ZM
39	110	3	34	ZM
40	111	3	35	ZM
41	114	3	36	ZM
42	112	3	37	ZM
43	112	3	38	ZM
44	113	3	39	ZM
45	112	3	40	ZM
46	112	3	41	ZM
47	112	3	42	ZM
48	113	3	43	ZM
49	110	3	44	ZM
50	109	3	45	ZM
51	112	3	46	ZM
52	112	3	47	ZM
53	113	3	48	ZM
54	111	3	49	ZM

Předehřev 75°C					Předehřev 75°C				
číslo měření	tvrdost HV 5	pozice y [mm]	pozice x [mm]	Oblast vpichu	číslo měření	tvrdost HV 5	pozice y [mm]	pozice x [mm]	Oblast vpichu
1	65,4	3	-4,4	SK	1	66,5	8,5	-7,4	SK
2	64	3	-3,4	SK	2	65,6	8,5	-6,4	SK
3	64,2	3	-2,4	SK	3	65,4	8,5	-5,4	SK
4	64,5	3	-1,4	SK	4	66,6	8,5	-4,4	SK
5	62,4	3	-0,4	TOO	5	66,8	8,5	-3,4	SK
6	63,3	3	0,6	TOO	6	65,6	8,5	-2,4	SK
7	61,4	3	1,6	TOO	7	66	8,5	-1,4	SK
8	61,8	3	2,6	TOO	8	63,6	8,5	-0,4	SK
9	60	3	3,6	TOO	9	75,3	8,5	0,6	TOO
10	59,1	3	4,6	TOO	10	74,8	8,5	1,6	TOO
11	67,9	3	5,6	TOO	11	71,5	8,5	2,6	TOO
12	73,8	3	6,6	TOO	12	64,8	8,5	3,6	TOO
13	77,4	3	7,6	TOO	13	73	8,5	4,6	TOO
14	83,6	3	8,6	TOO	14	81,4	8,5	5,6	TOO
15	90,1	3	9,6	TOO	15	84,1	8,5	6,6	TOO
16	92,4	3	10,6	TOO	16	90,5	8,5	7,6	TOO
17	95,1	3	11,6	TOO	17	93,1	8,5	8,6	TOO
18	95,7	3	12,6	TOO	18	99,5	8,5	9,6	TOO
19	97,3	3	13,6	TOO	19	100	8,5	10,6	TOO
20	102	3	14,6	TOO	20	100	8,5	11,6	TOO
21	103	3	15,6	TOO	21	102	8,5	12,6	TOO
22	102	3	16,6	TOO	22	103	8,5	13,6	TOO
23	105	3	17,6	TOO	23	106	8,5	14,6	TOO
24	109	3	18,6	ZM	24	105	8,5	15,6	TOO
25	110	3	19,6	ZM	25	105	8,5	16,6	TOO
26	110	3	20,6	ZM	26	106	8,5	17,6	TOO
27	109	3	21,6	ZM	27	108	8,5	18,6	TOO
28	111	3	22,6	ZM	28	107	8,5	19,6	TOO
29	111	3	23,6	ZM	29	109	8,5	20,6	TOO
30	111	3	24,6	ZM	30	112	9,5	21,6	TOO
31	109	3	25,6	ZM	31	110	8,5	22,6	ZM
32	110	3	26,6	ZM	32	109	8,5	23,6	ZM
33	109	3	27,6	ZM	33	111	8,5	24,6	ZM
34	108	3	28,6	ZM	34	109	8,5	25,6	ZM
35	111	3	29,6	ZM	35	108	8,5	26,6	ZM
36	110	3	30,6	ZM	36	110	8,5	27,6	ZM
37	111	3	31,6	ZM	37	105	8,5	28,6	ZM
38	112	3	32,6	ZM	38	110	8,5	29,6	ZM
39	112	3	33,6	ZM	39	110	8,5	30,6	ZM
40	110	3	34,6	ZM	40	109	8,5	31,6	ZM
41	110	3	35,6	ZM	41	111	8,5	32,6	ZM
42	109	3	36,6	ZM	42	110	8,5	33,6	ZM
43	110	3	37,6	ZM	43	110	8,5	34,6	ZM
44	111	3	38,6	ZM	44	109	8,5	35,6	ZM
45	112	3	39,6	ZM	45	111	8,5	36,6	ZM
46	111	3	40,6	ZM	46	111	8,5	37,6	ZM
47	111	3	41,6	ZM	47	111	8,5	38,6	ZM
48	112	3	42,6	ZM	48	111	8,5	39,6	ZM
49	110	3	43,6	ZM	49	109	8,5	40,6	ZM
50	111	3	44,6	ZM	50	111	8,5	41,6	ZM
51	111	3	45,6	ZM	51	111	8,5	42,6	ZM
52	109	3	46,6	ZM	52	110	8,5	43,6	ZM
53	112	3	47,6	ZM	53	112	8,5	44,6	ZM
54	112	3	48,6	ZM	54	111	8,5	45,6	ZM

Předehřev 75°C					Předehřev 75°C					Předehřev 75°C				
číslo měření	tvrdost HV 5	pozice y [mm]	pozice x [mm]	Oblast vpichu	číslo měření	tvrdost HV 5	pozice y [mm]	pozice x [mm]	Oblast vpichu	číslo měření	tvrdost HV 5	pozice y [mm]	pozice x [mm]	Oblast vpichu
1	66,8	3	-3,4	SK	1	68,8	8,5	-6,4	SK	1	65,6	12,5	-10	SK
2	66,9	3	-2,4	SK	2	69,2	8,5	-5,4	SK	2	67,8	12,5	-9	SK
3	68,8	3	-1,4	SK	3	69,8	8,5	-4,4	SK	3	68,6	12,5	-8	SK
4	67,4	3	-0,4	SK	4	70,9	8,5	-3,4	SK	4	68,5	12,5	-7	SK
5	55,5	3	0,6	TOO	5	71	8,5	-2,4	SK	5	67,2	12,5	-6	SK
6	55,8	3	1,6	TOO	6	71,1	8,5	-1,4	SK	6	68,1	12,5	-5	SK
7	57,5	3	2,6	TOO	7	70,6	8,5	-0,4	SK	7	69,5	12,5	-4	SK
8	56,2	3	3,6	TOO	8	71	8,5	0,6	TOO	8	68,8	12,5	-3	SK
9	62,5	3	4,6	TOO	9	69	8,5	1,6	TOO	9	66	12,5	-2	SK
10	67	3	5,6	TOO	10	65	8,5	2,6	TOO	10	67,5	12,5	-1	SK
11	72	3	6,6	TOO	11	58,3	8,5	3,6	TOO	11	75,6	12,5	0	HZ
12	73,1	3	7,6	TOO	12	61,6	8,5	4,6	TOO	12	77,1	12,5	1	TOO
13	75,8	3	8,6	TOO	13	67,5	8,5	5,6	TOO	13	76	12,5	2	TOO
14	78,6	3	9,6	TOO	14	70,8	8,5	6,6	TOO	14	71	12,5	3	TOO
15	82,6	3	10,6	TOO	15	77,7	8,5	7,6	TOO	15	64	12,5	4	TOO
16	87,9	3	11,6	TOO	16	80	8,5	8,6	TOO	16	75,3	12,5	5	TOO
17	88	3	12,6	TOO	17	83,5	8,5	9,6	TOO	17	74,9	12,5	6	TOO
18	91,2	3	13,6	TOO	18	85	8,5	10,6	TOO	18	80,3	12,5	7	TOO
19	92,4	3	14,6	TOO	19	92,4	8,5	11,6	TOO	19	84,4	12,5	8	TOO
20	93,4	3	15,6	TOO	20	95,1	8,5	12,6	TOO	20	89,9	12,5	9	TOO
21	96,6	3	16,6	TOO	21	93	8,5	13,6	TOO	21	90,6	12,5	10	TOO
22	100	3	17,6	TOO	22	97,1	8,5	14,6	TOO	22	93,6	12,5	11	TOO
23	103	3	18,6	TOO	23	103	8,5	15,6	TOO	23	100	12,5	12	TOO
24	108	3	19,6	ZM	24	104	8,5	16,6	TOO	24	100	12,5	13	TOO
25	109	3	20,6	ZM	25	105	8,5	17,6	TOO	25	100	12,5	14	TOO
26	107	3	21,6	ZM	26	107	8,5	18,6	TOO	26	102	12,5	15	TOO
27	110	3	22,6	ZM	27	108	8,5	19,6	TOO	27	106	12,5	16	TOO
28	109	3	23,6	ZM	28	108	8,5	20,6	TOO	28	105	12,5	17	TOO
29	109	3	24,6	ZM	29	108	8,5	21,6	TOO	29	106	12,5	18	TOO
30	108	3	25,6	ZM	30	107	8,5	22,6	ZM	30	108	12,5	19	TOO
31	109	3	26,6	ZM	31	109	8,5	23,6	ZM	31	110	12,5	20	TOO
32	109	3	27,6	ZM	32	109	8,5	24,6	ZM	32	109	12,5	21	TOO
33	110	3	28,6	ZM	33	111	8,5	25,6	ZM	33	110	12,5	22	TOO
34	112	3	29,6	ZM	34	112	8,5	26,6	ZM	34	112	12,5	23	TOO
35	109	3	30,6	ZM	35	109	8,5	27,6	ZM	35	112	12,5	24	ZM
36	109	3	31,6	ZM	36	109	8,5	28,6	ZM	36	111	12,5	25	ZM
37	110	3	32,6	ZM	37	110	8,5	29,6	ZM	37	110	12,5	26	ZM
38	109	3	33,6	ZM	38	109	8,5	30,6	ZM	38	112	12,5	27	ZM
39	112	3	34,6	ZM	39	109	8,5	31,6	ZM	39	111	12,5	28	ZM
40	109	3	35,6	ZM	40	110	8,5	32,6	ZM	40	113	12,5	29	ZM
41	111	3	36,6	ZM	41	111	8,5	33,6	ZM	41	112	12,5	30	ZM
42	113	3	37,6	ZM	42	113	8,5	34,6	ZM	42	110	12,5	31	ZM
43	111	3	38,6	ZM	43	111	8,5	35,6	ZM	43	111	12,5	32	ZM
44	111	3	39,6	ZM	44	112	8,5	36,6	ZM	44	111	12,5	33	ZM
45	111	3	40,6	ZM	45	113	8,5	37,6	ZM	45	111	12,5	34	ZM
46	113	3	41,6	ZM	46	110	8,5	38,6	ZM	46	112	12,5	35	ZM
47	112	3	42,6	ZM	47	111	8,5	39,6	ZM	47	110	12,5	36	ZM
48	114	3	43,6	ZM	48	112	8,5	40,6	ZM	48	111	12,5	37	ZM
49	110	3	44,6	ZM	49	112	8,5	41,6	ZM	49	111	12,5	38	ZM
50	111	3	45,6	ZM	50	112	8,5	42,6	ZM	50	111	12,5	39	ZM
51	109	3	46,6	ZM	51	109	8,5	43,6	ZM	51	111	12,5	40	ZM
52	112	3	47,6	ZM	52	111	8,5	44,6	ZM	52	110	12,5	41	ZM
53	110	3	48,6	ZM	53	111	8,5	45,6	ZM	53	111	12,5	42	ZM
54	110	3	49,6	ZM	54	112	8,5	46,6	ZM	54	111	12,5	43	ZM

Příloha 2: Naměřené hodnoty tvrdosti HV 5 ve svarovém kovu, TOO a ZM pro svar s předehřevem 150 °C.

Předehřev 150°C				
číslo měření	tvrdost HV 5	pozice x [mm]	pozice y [mm]	Oblast vpichu
1	66	-4	3	SK
2	65,7	-3	3	SK
3	68,9	-2	3	SK
4	67,5	-1	3	SK
5	71,8	0	3	HZ
6	82	1	3	TOO
7	82,5	2	3	TOO
8	81	3	3	TOO
9	67,7	4	3	TOO
10	61	5	3	TOO
11	70,4	6	3	TOO
12	75,2	7	3	TOO
13	85,5	8	3	TOO
14	85,2	9	3	TOO
15	89,5	10	3	TOO
16	95,4	11	3	TOO
17	97	12	3	TOO
18	97,9	13	3	TOO
19	104	14	3	TOO
20	104	15	3	TOO
21	105	16	3	TOO
22	106	17	3	TOO
23	105	18	3	TOO
24	105	19	3	TOO
25	108	20	3	ZM
26	105	21	3	ZM
27	105	22	3	ZM
28	105	23	3	ZM
29	106	24	3	ZM
30	108	25	3	ZM
31	107	26	3	ZM
32	106	27	3	ZM
33	105	28	3	ZM
34	106	29	3	ZM
35	109	30	3	ZM
36	108	31	3	ZM
37	109	32	3	ZM
38	107	33	3	ZM
39	107	34	3	ZM
40	109	35	3	ZM
41	108	36	3	ZM
42	109	37	3	ZM
43	108	38	3	ZM
44	108	39	3	ZM
45	107	40	3	ZM
46	109	41	3	ZM
47	109	42	3	ZM
48	109	43	3	ZM
49	108	44	3	ZM
50	107	45	3	ZM
51	107	46	3	ZM
52	106	47	3	ZM
53	108	48	3	ZM
54	108	49	3	ZM

Předehřev 150°C					Předehřev 150°C				
číslo měření	tvrdost HV 5	pozice y [mm]	pozice x [mm]	Oblast vpichu	číslo měření	tvrdost HV 5	pozice y [mm]	pozice x [mm]	Oblast vpichu
1	58,7	3	-4	SK	1	63,5	8,5	-5,8	SK
2	60,9	3	-3	SK	2	64	8,5	-4,8	SK
3	59,4	3	-2	SK	3	61,9	8,5	-3,8	SK
4	60,3	3	-1	SK	4	64,8	8,5	-2,8	SK
5	62,7	3	0	HZ	5	63,9	8,5	-1,8	SK
6	72,6	3	1	TOO	6	63	8,5	-0,8	SK
7	69,7	3	2	TOO	7	72,7	8,5	0,2	TOO
8	62,2	3	3	TOO	8	72,4	8,5	1,2	TOO
9	59,4	3	4	TOO	9	74	8,5	2,2	TOO
10	55,8	3	5	TOO	10	70,1	8,5	3,2	TOO
11	58,8	3	6	TOO	11	69,3	8,5	4,2	TOO
12	60,4	3	7	TOO	12	57,1	8,5	5,2	TOO
13	62	3	8	TOO	13	57,7	8,5	6,2	TOO
14	67,2	3	9	TOO	14	60,4	8,5	7,2	TOO
15	68,1	3	10	TOO	15	64,8	8,5	8,2	TOO
16	72,6	3	11	TOO	16	68,3	8,5	9,2	TOO
17	74,3	3	12	TOO	17	72,6	8,5	10,2	TOO
18	78,2	3	13	TOO	18	75	8,5	11,2	TOO
19	80,3	3	14	TOO	19	79,8	8,5	12,2	TOO
20	80	3	15	TOO	20	82,8	8,5	13,2	TOO
21	85,5	3	16	TOO	21	87,1	8,5	14,2	TOO
22	86	3	17	TOO	22	86,2	8,5	15,2	TOO
23	90	3	18	TOO	23	89,8	8,5	16,2	TOO
24	94,1	3	19	TOO	24	87	8,5	17,2	TOO
25	97	3	20	ZM	25	92,7	8,5	18,2	TOO
26	97,8	3	21	ZM	26	93,6	8,5	19,2	TOO
27	98	3	22	ZM	27	92,9	8,5	20,2	TOO
28	98	3	23	ZM	28	94,2	8,5	21,2	TOO
29	97,9	3	24	ZM	29	94,9	8,5	22,2	TOO
30	98,1	3	25	ZM	30	95	8,5	23,2	TOO
31	102	3	26	ZM	31	99,2	8,5	24,2	TOO
32	102	3	27	ZM	32	98,9	8,5	25,2	TOO
33	104	3	28	ZM	33	100	8,5	26,2	TOO
34	102	3	29	ZM	34	102	8,5	27,2	TOO
35	102	3	30	ZM	35	102	8,5	28,2	TOO
36	108	3	31	ZM	36	104	8,5	29,2	TOO
37	107	3	32	ZM	37	103	8,5	30,2	TOO
38	107	3	33	ZM	38	103	8,5	31,2	TOO
39	107	3	34	ZM	39	107	8,5	32,2	TOO
40	106	3	35	ZM	40	108	8,5	33,2	ZM
41	106	3	36	ZM	41	106	8,5	34,2	ZM
42	106	3	37	ZM	42	108	8,5	35,2	ZM
43	108	3	38	ZM	43	106	8,5	36,2	ZM
44	109	3	39	ZM	44	106	8,5	37,2	ZM
45	108	3	40	ZM	45	106	8,5	38,2	ZM
46	106	3	41	ZM	46	109	8,5	39,2	ZM
47	106	3	42	ZM	47	106	8,5	40,2	ZM
48	107	3	43	ZM	48	106	8,5	41,2	ZM
49	106	3	44	ZM	49	110	8,5	42,2	ZM
50	107	3	45	ZM	50	109	8,5	43,2	ZM
51	108	3	46	ZM	51	108	8,5	44,2	ZM
52	108	3	47	ZM	52	108	8,5	45,2	ZM
53	109	3	48	ZM	53	110	8,5	46,2	ZM
54	111	3	49	ZM	54	108	8,5	47,2	ZM

Předehřev 150°C					Předehřev 150°C					Předehřev 150°C				
číslo měření	tvrdost HV 5	pozice y [mm]	pozice x [mm]	Oblast vpichu	číslo měření	tvrdost HV 5	pozice y [mm]	pozice x [mm]	Oblast vpichu	číslo měření	tvrdost HV 5	pozice y [mm]	pozice x [mm]	Oblast vpichu
1	61	3	-4	SK	1	65,9	8,5	-5,3	SK	1	64	12,5	-7,5	SK
2	61	3	-3	SK	2	65,1	8,5	-4,3	SK	2	64,1	12,5	-6,5	SK
3	61	3	-2	SK	3	67,1	8,5	-3,3	SK	3	66,8	12,5	-5,5	SK
4	61,8	3	-1	SK	4	66,2	8,5	-2,3	SK	4	60,5	12,5	-4,5	SK
5	57,3	3	0	HZ	5	63,6	8,5	-1,3	SK	5	65,1	12,5	-3,5	SK
6	52,7	3	1	TOO	6	65,7	8,5	-0,3	SK	6	65,8	12,5	-2,5	SK
7	51,4	3	2	TOO	7	70,8	8,5	0,7	TOO	7	66,6	12,5	-1,5	SK
8	53,3	3	3	TOO	8	66	8,5	1,7	TOO	8	65,7	12,5	-0,5	SK
9	52	3	4	TOO	9	59,7	8,5	2,7	TOO	9	73,2	12,5	0,5	TOO
10	57,5	3	5	TOO	10	53,5	8,5	3,7	TOO	10	70,5	12,5	1,5	TOO
11	59,1	3	6	TOO	11	55,6	8,5	4,7	TOO	11	55,2	12,5	2,5	TOO
12	62,4	3	7	TOO	12	58,4	8,5	5,7	TOO	12	54,8	12,5	3,5	TOO
13	63,8	3	8	TOO	13	61,8	8,5	6,7	TOO	13	57,6	12,5	4,5	TOO
14	65,7	3	9	TOO	14	65,1	8,5	7,7	TOO	14	58,9	12,5	5,5	TOO
15	70,6	3	10	TOO	15	68,5	8,5	8,7	TOO	15	62,4	12,5	6,5	TOO
16	73,6	3	11	TOO	16	70,2	8,5	9,7	TOO	16	67,1	12,5	7,5	TOO
17	77,1	3	12	TOO	17	75,1	8,5	10,7	TOO	17	73,7	12,5	8,5	TOO
18	76,5	3	13	TOO	18	77,3	8,5	11,7	TOO	18	75	12,5	9,5	TOO
19	82,9	3	14	TOO	19	81,7	8,5	12,7	TOO	19	77,7	12,5	10,5	TOO
20	84,8	3	15	TOO	20	83,9	8,5	13,7	TOO	20	81,3	12,5	11,5	TOO
21	84,4	3	16	TOO	21	85,6	8,5	14,7	TOO	21	81,2	12,5	12,5	TOO
22	89	3	17	TOO	22	86	8,5	15,7	TOO	22	86,8	12,5	13,5	TOO
23	88,2	3	18	TOO	23	84,5	8,5	16,7	TOO	23	89,6	12,5	14,5	TOO
24	88,8	3	19	TOO	24	89,5	8,5	17,7	TOO	24	88,4	12,5	15,5	TOO
25	91,8	3	20	TOO	25	91,8	8,5	18,7	TOO	25	92,9	12,5	16,5	TOO
26	93,3	3	21	TOO	26	91,8	8,5	19,7	TOO	26	93,4	12,5	17,5	TOO
27	96,3	3	22	ZM	27	94,8	8,5	20,7	TOO	27	94,8	12,5	18,5	TOO
28	95,5	3	23	ZM	28	96,6	8,5	21,7	TOO	28	95,1	12,5	19,5	TOO
29	95,9	3	24	ZM	29	95,4	8,5	22,7	TOO	29	97,9	12,5	20,5	TOO
30	99,5	3	25	ZM	30	95,8	8,5	23,7	TOO	30	99,9	12,5	21,5	TOO
31	99,8	3	26	ZM	31	98,8	8,5	24,7	TOO	31	95,7	12,5	22,5	TOO
32	99	3	27	ZM	32	98,9	8,5	25,7	TOO	32	101	12,5	23,5	TOO
33	102	3	28	ZM	33	98,2	8,5	26,7	TOO	33	98,5	12,5	24,5	TOO
34	101	3	29	ZM	34	102	8,5	27,7	TOO	34	99,4	12,5	25,5	TOO
35	101	3	30	ZM	35	101	8,5	28,7	TOO	35	100	12,5	26,5	TOO
36	105	3	31	ZM	36	104	8,5	29,7	TOO	36	100	12,5	27,5	TOO
37	106	3	32	ZM	37	105	8,5	30,7	TOO	37	103	12,5	28,5	TOO
38	105	3	33	ZM	38	104	8,5	31,7	TOO	38	102	12,5	29,5	TOO
39	100	3	34	ZM	39	103	8,5	32,7	TOO	39	100	12,5	30,5	TOO
40	101	3	35	ZM	40	104	8,5	33,7	TOO	40	104	12,5	31,5	TOO
41	106	3	36	ZM	41	101	8,5	34,7	TOO	41	101	12,5	32,5	TOO
42	104	3	37	ZM	42	105	8,5	35,7	TOO	42	106	12,5	33,5	TOO
43	104	3	38	ZM	43	109	8,5	36,7	TOO	43	104	12,5	34,5	TOO
44	103	3	39	ZM	44	106	8,5	37,7	ZM	44	106	12,5	35,5	TOO
45	110	3	40	ZM	45	105	8,5	38,7	ZM	45	105	12,5	36,5	TOO
46	106	3	41	ZM	46	107	8,5	39,7	ZM	46	105	12,5	37,5	TOO
47	103	3	42	ZM	47	111	8,5	40,7	ZM	47	110	12,5	38,5	ZM
48	108	3	43	ZM	48	109	8,5	41,7	ZM	48	107	12,5	39,5	ZM
49	110	3	44	ZM	49	109	8,5	42,7	ZM	49	107	12,5	40,5	ZM
50	110	3	45	ZM	50	108	8,5	43,7	ZM	50	106	12,5	41,5	ZM
51	111	3	46	ZM	51	108	8,5	44,7	ZM	51	104	12,5	42,5	ZM
52	108	3	47	ZM	52	108	8,5	45,7	ZM	52	108	12,5	43,5	ZM
53	106	3	48	ZM	53	109	8,5	46,7	ZM	53	108	12,5	44,5	ZM
54	112	3	49	ZM	54	112	8,5	47,7	ZM	54	106	12,5	45,5	ZM

Příloha 3: Naměřené hodnoty tvrdostí HV 5 svaru D75 - rozpouštěcí žíhání, zchlazení a umělé stárnutí při 160°C po dobu 12 hodin.

Přehřev 75°C, RZ 160°C po 12h				
číslo měření	tvrdost HV 5	pozice x	pozice y [mm]	Oblast vpichu
1	71,8	-0,3	3	SK
2	70,2	0,3	3	SK
3	105	1,3	3	TOO
4	106	2,3	3	ZM
5	106	3,3	3	ZM
6	106	4,3	3	ZM
7	106	5,3	3	ZM
8	107	6,3	3	ZM
9	108	7,3	3	ZM
10	107	8,3	3	ZM
11	106	9,3	3	ZM
12	109	10,3	3	ZM
13	108	11,3	3	ZM
14	109	12,3	3	ZM
15	108	13,3	3	ZM
16	107	14,3	3	ZM
17	107	15,3	3	ZM
18	108	16,3	3	ZM
19	107	17,3	3	ZM
20	108	18,3	3	ZM
21	108	19,3	3	ZM
22	108	20,3	3	ZM
23	108	21,3	3	ZM
24	107	22,3	3	ZM
25	108	23,3	3	ZM
26	108	24,3	3	ZM
27	108	25,3	3	ZM
28	107	26,3	3	ZM
29	108	27,3	3	ZM
30	107	28,3	3	ZM
31	108	29,3	3	ZM
32	107	30,3	3	ZM
33	107	31,3	3	ZM
34	108	32,3	3	ZM
35	107	33,3	3	ZM
36	107	34,3	3	ZM
37	108	35,3	3	ZM
38	106	36,3	3	ZM
39	106	37,3	3	ZM
40	108	38,3	3	ZM
41	108	39,3	3	ZM
42	106	40,3	3	ZM
43	107	41,3	3	ZM
44	107	42,3	3	ZM
45	107	43,3	3	ZM
46	109	44,3	3	ZM
47	107	45,3	3	ZM
48	108	46,3	3	ZM
49	107	47,3	3	ZM
50	108	48,3	3	ZM
51	109	49,3	3	ZM
52	107	50,3	3	ZM
53	108	51,3	3	ZM
54	107	52,3	3	ZM

Předehřev 75°C, RZ 160°C po 12h					Předehřev 75°C, RZ 160°C po 12h				
číslo měření	tvrdost HV 5	pozice y [mm]	pozice x [mm]	Oblast vpichu	číslo měření	tvrdost HV 5	pozice y [mm]	pozice x [mm]	Oblast vpichu
1	67,4	3	-1,2	SK	1	68,7	8,5	-3,3	SK
2	68,9	3	-0,2	SK	2	70,2	8,5	-2,3	SK
3	69,2	3	0,2	SK	3	69,8	8,5	-1,3	SK
4	113	3	0,8	TOO	4	70,5	8,5	-0,3	SK
5	114	3	1,8	ZM	5	111	8,5	0,7	TOO
6	115	3	2,8	ZM	6	112	8,5	1,7	ZM
7	113	3	3,8	ZM	7	111	8,5	2,7	ZM
8	112	3	4,8	ZM	8	112	8,5	3,7	ZM
9	113	3	5,8	ZM	9	111	8,5	4,7	ZM
10	112	3	6,8	ZM	10	112	8,5	5,7	ZM
11	112	3	7,8	ZM	11	111	8,5	6,7	ZM
12	113	3	8,8	ZM	12	113	8,5	7,7	ZM
13	112	3	9,8	ZM	13	112	8,5	8,7	ZM
14	112	3	10,8	ZM	14	112	8,5	9,7	ZM
15	115	3	11,8	ZM	15	112	8,5	10,7	ZM
16	114	3	12,8	ZM	16	112	8,5	11,7	ZM
17	114	3	13,8	ZM	17	113	8,5	12,7	ZM
18	115	3	14,8	ZM	18	113	8,5	13,7	ZM
19	114	3	15,8	ZM	19	112	8,5	14,7	ZM
20	114	3	16,8	ZM	20	112	8,5	15,7	ZM
21	114	3	17,8	ZM	21	112	8,5	16,7	ZM
22	114	3	18,8	ZM	22	112	8,5	17,7	ZM
23	115	3	19,8	ZM	23	113	8,5	18,7	ZM
24	114	3	20,8	ZM	24	112	8,5	19,7	ZM
25	114	3	21,8	ZM	25	112	8,5	20,7	ZM
26	113	3	22,8	ZM	26	113	8,5	21,7	ZM
27	114	3	23,8	ZM	27	114	8,5	22,7	ZM
28	115	3	24,8	ZM	28	112	8,5	23,7	ZM
29	114	3	25,8	ZM	29	112	8,5	24,7	ZM
30	114	3	26,8	ZM	30	114	8,5	25,7	ZM
31	113	3	27,8	ZM	31	112	8,5	26,7	ZM
32	113	3	28,8	ZM	32	112	8,5	27,7	ZM
33	113	3	29,8	ZM	33	114	8,5	28,7	ZM
34	114	3	30,8	ZM	34	113	8,5	29,7	ZM
35	113	3	31,8	ZM	35	112	8,5	30,7	ZM
36	114	3	32,8	ZM	36	112	8,5	31,7	ZM
37	114	3	33,8	ZM	37	114	8,5	32,7	ZM
38	115	3	34,8	ZM	38	112	8,5	33,7	ZM
39	114	3	35,8	ZM	39	114	8,5	34,7	ZM
40	113	3	36,8	ZM	40	113	8,5	35,7	ZM
41	114	3	37,8	ZM	41	112	8,5	36,7	ZM
42	113	3	38,8	ZM	42	112	8,5	37,7	ZM
43	114	3	39,8	ZM	43	113	8,5	38,7	ZM
44	114	3	40,8	ZM	44	114	8,5	39,7	ZM
45	115	3	41,8	ZM	45	112	8,5	40,7	ZM
46	114	3	42,8	ZM	46	112	8,5	41,7	ZM
47	113	3	43,8	ZM	47	112	8,5	42,7	ZM
48	114	3	44,8	ZM	48	113	8,5	43,7	ZM
49	114	3	45,8	ZM	49	114	8,5	44,7	ZM
50	114	3	46,8	ZM	50	112	8,5	45,7	ZM
51	114	3	47,8	ZM	51	114	8,5	46,7	ZM
52	116	3	48,8	ZM	52	112	8,5	47,7	ZM
53	114	3	49,8	ZM	53	113	8,5	48,7	ZM
54	114	3	50,8	ZM	54	114	8,5	49,7	ZM

Předehřev 75°C, RZ 160°C po 12h					Předehřev 75°C, RZ 160°C po 12h					Předehřev 75°C, RZ 160°C po 12h				
číslo měření	tvrdost HV 5	pozice y [mm]	pozice x [mm]	Oblast vpichu	číslo měření	tvrdost HV 5	pozice x [mm]	pozice y [mm]	Oblast vpichu	číslo měření	tvrdost HV 5	pozice y [mm]	pozice x [mm]	Oblast vpichu
1	66,8	3	-1,1	SK	1	68,5	-3	8,5	SK	1	68	12,5	-6	SK
2	70,9	3	-0,1	SK	2	70,3	-2	8,5	SK	2	71	12,5	-5	SK
3	78,6	3	0,1	SK	3	71,7	-1	8,5	SK	3	68,3	12,5	-4	SK
4	111	3	0,9	TOO	4	70,3	0	8,5	SK	4	71	12,5	-3	SK
5	115	3	1,9	ZM	5	88,2	1	8,5	HZ	5	73,3	12,5	-2	SK
6	114	3	2,9	ZM	6	115	2	8,5	TOO	6	72,8	12,5	-1	SK
7	112	3	3,9	ZM	7	118	3	8,5	ZM	7	92,4	12,5	0	HZ
8	113	3	4,9	ZM	8	114	4	8,5	ZM	8	114	12,5	1	TOO
9	114	3	5,9	ZM	9	113	5	8,5	ZM	9	113	12,5	2	TOO
10	115	3	6,9	ZM	10	114	6	8,5	ZM	10	115	12,5	3	ZM
11	113	3	7,9	ZM	11	112	7	8,5	ZM	11	114	12,5	4	ZM
12	114	3	8,9	ZM	12	114	8	8,5	ZM	12	113	12,5	5	ZM
13	112	3	9,9	ZM	13	112	9	8,5	ZM	13	116	12,5	6	ZM
14	112	3	10,9	ZM	14	113	10	8,5	ZM	14	114	12,5	7	ZM
15	113	3	11,9	ZM	15	114	11	8,5	ZM	15	112	12,5	8	ZM
16	114	3	12,9	ZM	16	113	12	8,5	ZM	16	115	12,5	9	ZM
17	112	3	13,9	ZM	17	112	13	8,5	ZM	17	113	12,5	10	ZM
18	113	3	14,9	ZM	18	113	14	8,5	ZM	18	113	12,5	11	ZM
19	113	3	15,9	ZM	19	112	15	8,5	ZM	19	114	12,5	12	ZM
20	115	3	16,9	ZM	20	112	16	8,5	ZM	20	116	12,5	13	ZM
21	114	3	17,9	ZM	21	114	17	8,5	ZM	21	115	12,5	14	ZM
22	114	3	18,9	ZM	22	113	18	8,5	ZM	22	112	12,5	15	ZM
23	115	3	19,9	ZM	23	114	19	8,5	ZM	23	114	12,5	16	ZM
24	114	3	20,9	ZM	24	114	20	8,5	ZM	24	115	12,5	17	ZM
25	113	3	21,9	ZM	25	113	21	8,5	ZM	25	115	12,5	18	ZM
26	113	3	22,9	ZM	26	116	22	8,5	ZM	26	113	12,5	19	ZM
27	114	3	23,9	ZM	27	115	23	8,5	ZM	27	114	12,5	20	ZM
28	111	3	24,9	ZM	28	114	24	8,5	ZM	28	113	12,5	21	ZM
29	112	3	25,9	ZM	29	116	25	8,5	ZM	29	113	12,5	22	ZM
30	114	3	26,9	ZM	30	114	26	8,5	ZM	30	112	12,5	23	ZM
31	113	3	27,9	ZM	31	114	27	8,5	ZM	31	116	12,5	24	ZM
32	115	3	28,9	ZM	32	115	28	8,5	ZM	32	114	12,5	25	ZM
33	113	3	29,9	ZM	33	113	29	8,5	ZM	33	114	12,5	26	ZM
34	111	3	30,9	ZM	34	114	30	8,5	ZM	34	115	12,5	27	ZM
35	115	3	31,9	ZM	35	114	31	8,5	ZM	35	112	12,5	28	ZM
36	112	3	32,9	ZM	36	116	32	8,5	ZM	36	113	12,5	29	ZM
37	115	3	33,9	ZM	37	114	33	8,5	ZM	37	116	12,5	30	ZM
38	114	3	34,9	ZM	38	114	34	8,5	ZM	38	113	12,5	31	ZM
39	115	3	35,9	ZM	39	115	35	8,5	ZM	39	114	12,5	32	ZM
40	116	3	36,9	ZM	40	113	36	8,5	ZM	40	115	12,5	33	ZM
41	114	3	37,9	ZM	41	116	37	8,5	ZM	41	114	12,5	34	ZM
42	112	3	38,9	ZM	42	115	38	8,5	ZM	42	115	12,5	35	ZM
43	112	3	39,9	ZM	43	114	39	8,5	ZM	43	113	12,5	36	ZM
44	114	3	40,9	ZM	44	113	40	8,5	ZM	44	115	12,5	37	ZM
45	114	3	41,9	ZM	45	116	41	8,5	ZM	45	114	12,5	38	ZM
46	114	3	42,9	ZM	46	113	42	8,5	ZM	46	112	12,5	39	ZM
47	112	3	43,9	ZM	47	114	43	8,5	ZM	47	116	12,5	40	ZM
48	115	3	44,9	ZM	48	113	44	8,5	ZM	48	112	12,5	41	ZM
49	113	3	45,9	ZM	49	115	45	8,5	ZM	49	113	12,5	42	ZM
50	115	3	46,9	ZM	50	116	46	8,5	ZM	50	115	12,5	43	ZM
51	114	3	47,9	ZM	51	116	47	8,5	ZM	51	114	12,5	44	ZM
52	113	3	48,9	ZM	52	114	48	8,5	ZM	52	114	12,5	45	ZM
53	114	3	49,9	ZM	53	114	49	8,5	ZM	53	115	12,5	46	ZM
54	114	3	50,9	ZM	54	115	50	8,5	ZM	54	116	12,5	47	ZM

Příloha 4: Naměřené hodnoty tvrdostí HV 5 svaru D75 - rozpouštěcí žíhání, zchlazení a umělé stárnutí při 175°C po dobu 8 hodin.

Předehřev 75°C, RZ 175°C po 8h				
číslo měření	tvrdost HV 5	pozice x [mm]	pozice y [mm]	Oblast vpichu
1	63,4	-2,2	3	SK
2	64,6	-1,2	3	SK
3	64	-0,2	3	SK
4	70,6	0,2	3	SK
5	103	0,8	3	TOO
6	105	1,8	3	ZM
7	106	2,8	3	ZM
8	108	3,8	3	ZM
9	109	4,8	3	ZM
10	108	5,8	3	ZM
11	109	6,8	3	ZM
12	107	7,8	3	ZM
13	108	8,8	3	ZM
14	106	9,8	3	ZM
15	105	10,8	3	ZM
16	107	11,8	3	ZM
17	106	12,8	3	ZM
18	105	13,8	3	ZM
19	105	14,8	3	ZM
20	109	15,8	3	ZM
21	108	16,8	3	ZM
22	108	17,8	3	ZM
23	104	18,8	3	ZM
24	105	19,8	3	ZM
25	106	20,8	3	ZM
26	108	21,8	3	ZM
27	106	22,8	3	ZM
28	106	23,8	3	ZM
29	108	24,8	3	ZM
30	109	25,8	3	ZM
31	107	26,8	3	ZM
32	107	27,8	3	ZM
33	107	28,8	3	ZM
34	106	29,8	3	ZM
35	104	30,8	3	ZM
36	108	31,8	3	ZM
37	110	32,8	3	ZM
38	106	33,8	3	ZM
39	106	34,8	3	ZM
40	106	35,8	3	ZM
41	105	36,8	3	ZM
42	107	37,8	3	ZM
43	107	38,8	3	ZM
44	106	39,8	3	ZM
45	107	40,8	3	ZM
46	107	41,8	3	ZM
47	107	42,8	3	ZM
48	106	43,8	3	ZM
49	106	44,8	3	ZM
50	103	45,8	3	ZM
51	108	46,8	3	ZM
52	106	47,8	3	ZM
53	106	48,8	3	ZM
54	105	49,8	3	ZM

Předehřev 75°C, RZ 175°C po 8h					Předehřev 75°C, RZ 175°C po 8h				
číslo měření	tvrdost HV 5	pozice y [mm]	pozice x [mm]	Oblast vpichu	číslo měření	tvrdost HV 5	pozice y [mm]	pozice x [mm]	Oblast vpichu
1	66,6	3	-0,5	SK	1	67,9	8,5	-1,5	SK
2	67	3	0,5	SK	2	68,6	8,5	-0,5	SK
3	106	3	0,5	TOO	3	81,5	8,5	0,5	SK
4	109	3	1,5	ZM	4	107	8,5	0,5	TOO
5	108	3	2,5	ZM	5	109	8,5	1,5	ZM
6	114	3	3,5	ZM	6	109	8,5	2,5	ZM
7	110	3	4,5	ZM	7	109	8,5	3,5	ZM
8	113	3	5,5	ZM	8	114	8,5	4,5	ZM
9	110	3	6,5	ZM	9	107	8,5	5,5	ZM
10	110	3	7,5	ZM	10	106	8,5	6,5	ZM
11	109	3	8,5	ZM	11	107	8,5	7,5	ZM
12	109	3	9,5	ZM	12	108	8,5	8,5	ZM
13	110	3	10,5	ZM	13	107	8,5	9,5	ZM
14	108	3	11,5	ZM	14	103	8,5	10,5	ZM
15	109	3	12,5	ZM	15	106	8,5	11,5	ZM
16	114	3	13,5	ZM	16	106	8,5	12,5	ZM
17	113	3	14,5	ZM	17	114	8,5	13,5	ZM
18	113	3	15,5	ZM	18	115	8,5	14,5	ZM
19	113	3	16,5	ZM	19	114	8,5	15,5	ZM
20	113	3	17,5	ZM	20	114	8,5	16,5	ZM
21	113	3	18,5	ZM	21	111	8,5	17,5	ZM
22	113	3	19,5	ZM	22	112	8,5	18,5	ZM
23	114	3	20,5	ZM	23	113	8,5	19,5	ZM
24	112	3	21,5	ZM	24	113	8,5	20,5	ZM
25	112	3	22,5	ZM	25	109	8,5	21,5	ZM
26	112	3	23,5	ZM	26	114	8,5	22,5	ZM
27	107	3	24,5	ZM	27	114	8,5	23,5	ZM
28	113	3	25,5	ZM	28	114	8,5	24,5	ZM
29	112	3	26,5	ZM	29	110	8,5	25,5	ZM
30	113	3	27,5	ZM	30	110	8,5	26,5	ZM
31	112	3	28,5	ZM	31	110	8,5	27,5	ZM
32	114	3	29,5	ZM	32	112	8,5	28,5	ZM
33	115	3	30,5	ZM	33	112	8,5	29,5	ZM
34	114	3	31,5	ZM	34	112	8,5	30,5	ZM
35	114	3	32,5	ZM	35	109	8,5	31,5	ZM
36	114	3	33,5	ZM	36	113	8,5	32,5	ZM
37	112	3	34,5	ZM	37	112	8,5	33,5	ZM
38	112	3	35,5	ZM	38	111	8,5	34,5	ZM
39	112	3	36,5	ZM	39	111	8,5	35,5	ZM
40	112	3	37,5	ZM	40	112	8,5	36,5	ZM
41	113	3	38,5	ZM	41	113	8,5	37,5	ZM
42	114	3	39,5	ZM	42	113	8,5	38,5	ZM
43	113	3	40,5	ZM	43	113	8,5	39,5	ZM
44	110	3	41,5	ZM	44	114	8,5	40,5	ZM
45	113	3	42,5	ZM	45	112	8,5	41,5	ZM
46	109	3	43,5	ZM	46	111	8,5	42,5	ZM
47	111	3	44,5	ZM	47	112	8,5	43,5	ZM
48	112	3	45,5	ZM	48	110	8,5	44,5	ZM
49	110	3	46,5	ZM	49	111	8,5	45,5	ZM
50	109	3	47,5	ZM	50	112	8,5	46,5	ZM
51	109	3	48,5	ZM	51	110	8,5	47,5	ZM
52	110	3	49,5	ZM	52	110	8,5	48,5	ZM
53	107	3	50,5	ZM	53	112	8,5	49,5	ZM
54	111	3	51,5	ZM	54	111	8,5	50,5	ZM

Předehřev 75°C, RZ 175°C po 8h					Předehřev 75°C, RZ 175°C po 8h					Předehřev 75°C, RZ 175°C po 8h				
číslo měření	tvrdost HV 5	pozice y [mm]	pozice x [mm]	Oblast vpichu	číslo měření	tvrdost HV 5	pozice y [mm]	pozice x [mm]	Oblast vpichu	číslo měření	tvrdost HV 5	pozice y [mm]	pozice x [mm]	Oblast vpichu
1	65,1	3	-0,8	SK	1	67	8,5	-3,7	SK	1	65,4	12,5	-7	SK
2	67,8	3	0,8	SK	2	70,8	8,5	-2,7	SK	2	66,3	12,5	-6	SK
3	112	3	0,2	TOO	3	67,8	8,5	-1,7	SK	3	63,9	12,5	-5	SK
4	107	3	1,2	TOO	4	67,8	8,5	-0,7	SK	4	65,8	12,5	-4	SK
5	113	3	2,2	ZM	5	64,1	8,5	0,7	SK	5	67,7	12,5	-3	SK
6	112	3	3,2	ZM	6	112	8,5	0,3	TOO	6	69,2	12,5	-2	SK
7	113	3	4,2	ZM	7	115	8,5	1,3	ZM	7	67,8	12,5	-1	SK
8	112	3	5,2	ZM	8	114	8,5	2,3	ZM	8	71,6	12,5	0	HZ
9	113	3	6,2	ZM	9	110	8,5	3,3	ZM	9	109	12,5	1	TOO
10	110	3	7,2	ZM	10	110	8,5	4,3	ZM	10	109	12,5	2	ZM
11	109	3	8,2	ZM	11	109	8,5	5,3	ZM	11	110	12,5	3	ZM
12	111	3	9,2	ZM	12	109	8,5	6,3	ZM	12	111	12,5	4	ZM
13	109	3	10,2	ZM	13	109	8,5	7,3	ZM	13	116	12,5	5	ZM
14	111	3	11,2	ZM	14	109	8,5	8,3	ZM	14	110	12,5	6	ZM
15	110	3	12,2	ZM	15	110	8,5	9,3	ZM	15	111	12,5	7	ZM
16	112	3	13,2	ZM	16	111	8,5	10,3	ZM	16	110	12,5	8	ZM
17	109	3	14,2	ZM	17	112	8,5	11,3	ZM	17	108	12,5	9	ZM
18	106	3	15,2	ZM	18	110	8,5	12,3	ZM	18	110	12,5	10	ZM
19	109	3	16,2	ZM	19	112	8,5	13,3	ZM	19	113	12,5	11	ZM
20	114	3	17,2	ZM	20	112	8,5	14,3	ZM	20	110	12,5	12	ZM
21	112	3	18,2	ZM	21	112	8,5	15,3	ZM	21	110	12,5	13	ZM
22	112	3	19,2	ZM	22	111	8,5	16,3	ZM	22	112	12,5	14	ZM
23	114	3	20,2	ZM	23	109	8,5	17,3	ZM	23	109	12,5	15	ZM
24	111	3	21,2	ZM	24	114	8,5	18,3	ZM	24	112	12,5	16	ZM
25	110	3	22,2	ZM	25	114	8,5	19,3	ZM	25	113	12,5	17	ZM
26	112	3	23,2	ZM	26	114	8,5	20,3	ZM	26	112	12,5	18	ZM
27	111	3	24,2	ZM	27	112	8,5	21,3	ZM	27	114	12,5	19	ZM
28	111	3	25,2	ZM	28	111	8,5	22,3	ZM	28	112	12,5	20	ZM
29	111	3	26,2	ZM	29	113	8,5	23,3	ZM	29	111	12,5	21	ZM
30	112	3	27,2	ZM	30	112	8,5	24,3	ZM	30	112	12,5	22	ZM
31	111	3	28,2	ZM	31	111	8,5	25,3	ZM	31	114	12,5	23	ZM
32	112	3	29,2	ZM	32	112	8,5	26,3	ZM	32	112	12,5	24	ZM
33	111	3	30,2	ZM	33	112	8,5	27,3	ZM	33	113	12,5	25	ZM
34	111	3	31,2	ZM	34	111	8,5	28,3	ZM	34	111	12,5	26	ZM
35	113	3	32,2	ZM	35	112	8,5	29,3	ZM	35	112	12,5	27	ZM
36	110	3	33,2	ZM	36	111	8,5	30,3	ZM	36	113	12,5	28	ZM
37	111	3	34,2	ZM	37	111	8,5	31,3	ZM	37	111	12,5	29	ZM
38	112	3	35,2	ZM	38	112	8,5	32,3	ZM	38	112	12,5	30	ZM
39	112	3	36,2	ZM	39	113	8,5	33,3	ZM	39	113	12,5	31	ZM
40	113	3	37,2	ZM	40	110	8,5	34,3	ZM	40	112	12,5	32	ZM
41	112	3	38,2	ZM	41	114	8,5	35,3	ZM	41	113	12,5	33	ZM
42	113	3	39,2	ZM	42	111	8,5	36,3	ZM	42	110	12,5	34	ZM
43	111	3	40,2	ZM	43	112	8,5	37,3	ZM	43	109	12,5	35	ZM
44	111	3	41,2	ZM	44	112	8,5	38,3	ZM	44	113	12,5	36	ZM
45	111	3	42,2	ZM	45	112	8,5	39,3	ZM	45	111	12,5	37	ZM
46	111	3	43,2	ZM	46	111	8,5	40,3	ZM	46	110	12,5	38	ZM
47	111	3	44,2	ZM	47	112	8,5	41,3	ZM	47	111	12,5	39	ZM
48	112	3	45,2	ZM	48	112	8,5	42,3	ZM	48	109	12,5	40	ZM
49	110	3	46,2	ZM	49	112	8,5	43,3	ZM	49	113	12,5	41	ZM
50	113	3	47,2	ZM	50	111	8,5	44,3	ZM	50	110	12,5	42	ZM
51	111	3	48,2	ZM	51	110	8,5	45,3	ZM	51	110	12,5	43	ZM
52	115	3	49,2	ZM	52	113	8,5	46,3	ZM	52	111	12,5	44	ZM
53	111	3	50,2	ZM	53	110	8,5	47,3	ZM	53	111	12,5	45	ZM
54	111	3	51,2	ZM	54	111	8,5	48,3	ZM	54	112	12,5	46	ZM

Příloha 5: Naměřené hodnoty tvrdostí HV 5 svaru D75 - rozpouštěcí žíhání, zchlazení a umělé stárnutí při 190°C po dobu 4 hodin.

Předehřev 75°C, RZ 190°C po 4h				
číslo měření	tvrdost HV 5	pozice x [mm]	pozice y [mm]	Oblast vpichu
1	64,4	-3	3	SK
2	64,7	-2	3	SK
3	61,9	-1	3	SK
4	93,7	0	3	HZ
5	108,0	1	3	TOO
6	103,0	2	3	ZM
7	108,0	3	3	ZM
8	106,0	4	3	ZM
9	107,0	5	3	ZM
10	107,0	6	3	ZM
11	108,0	7	3	ZM
12	107,0	8	3	ZM
13	108,0	9	3	ZM
14	106,0	10	3	ZM
15	104,0	11	3	ZM
16	106,0	12	3	ZM
17	103,0	13	3	ZM
18	106,0	14	3	ZM
19	107,0	15	3	ZM
20	106,0	16	3	ZM
21	106,0	17	3	ZM
22	104,0	18	3	ZM
23	106,0	19	3	ZM
24	108,0	20	3	ZM
25	108,0	21	3	ZM
26	107,0	22	3	ZM
27	104,0	23	3	ZM
28	106,0	24	3	ZM
29	106,0	25	3	ZM
30	107,0	26	3	ZM
31	106,0	27	3	ZM
32	107,0	28	3	ZM
33	107,0	29	3	ZM
34	106,0	30	3	ZM
35	105,0	31	3	ZM
36	106,5	32	3	ZM
37	106,0	33	3	ZM
38	107,0	34	3	ZM
39	104,0	35	3	ZM
40	105,0	36	3	ZM
41	107,0	37	3	ZM
42	107,0	38	3	ZM
43	107,0	39	3	ZM
44	109,0	40	3	ZM
45	106,0	41	3	ZM
46	107,0	42	3	ZM
47	107,0	43	3	ZM
48	107,0	44	3	ZM
49	106,0	45	3	ZM
50	105,0	46	3	ZM
51	106,0	47	3	ZM
52	107,0	48	3	ZM
53	106,0	49	3	ZM
54	106,0	50	3	ZM

Předehřev 75°C, RZ 190°C po 4h					Předehřev 75°C, RZ 190°C po 4h				
číslo měření	tvrdost HV 5	pozice y [mm]	pozice x [mm]	Oblast vpichu	číslo měření	tvrdost HV 5	pozice y [mm]	pozice x [mm]	Oblast vpichu
1	65,9	3	-0,7	SK	1	72,9	8,5	-1,8	SK
2	63,5	3	0,7	SK	2	71,8	8,5	-0,8	SK
3	107,0	3	0,3	TOO	3	68,9	8,5	0,8	SK
4	106,0	3	1,3	ZM	4	96,0	8,5	0,2	TOO
5	107,0	3	2,3	ZM	5	98,0	8,5	1,2	ZM
6	106,0	3	3,3	ZM	6	100,0	8,5	2,2	ZM
7	108,0	3	4,3	ZM	7	101,0	8,5	3,2	ZM
8	106,0	3	5,3	ZM	8	102,0	8,5	4,2	ZM
9	107,0	3	6,3	ZM	9	102,0	8,5	5,2	ZM
10	107,0	3	7,3	ZM	10	100,0	8,5	6,2	ZM
11	106,0	3	8,3	ZM	11	102,0	8,5	7,2	ZM
12	105,0	3	9,3	ZM	12	103,0	8,5	8,2	ZM
13	107,0	3	10,3	ZM	13	100,0	8,5	9,2	ZM
14	107,0	3	11,3	ZM	14	102,0	8,5	10,2	ZM
15	106,0	3	12,3	ZM	15	104,0	8,5	11,2	ZM
16	107,0	3	13,3	ZM	16	102,0	8,5	12,2	ZM
17	105,0	3	14,3	ZM	17	102,0	8,5	13,2	ZM
18	108,0	3	15,3	ZM	18	104,0	8,5	14,2	ZM
19	106,0	3	16,3	ZM	19	101,0	8,5	15,2	ZM
20	106,0	3	17,3	ZM	20	101,0	8,5	16,2	ZM
21	108,0	3	18,3	ZM	21	102,0	8,5	17,2	ZM
22	108,0	3	19,3	ZM	22	102,0	8,5	18,2	ZM
23	106,0	3	20,3	ZM	23	103,0	8,5	19,2	ZM
24	106,0	3	21,3	ZM	24	102,0	8,5	20,2	ZM
25	106,0	3	22,3	ZM	25	101,0	8,5	21,2	ZM
26	106,0	3	23,3	ZM	26	105,0	8,5	22,2	ZM
27	107,0	3	24,3	ZM	27	101,0	8,5	23,2	ZM
28	108,0	3	25,3	ZM	28	104,0	8,5	24,2	ZM
29	108,0	3	26,3	ZM	29	102,0	8,5	25,2	ZM
30	106,0	3	27,3	ZM	30	103,0	8,5	26,2	ZM
31	106,0	3	28,3	ZM	31	101,0	8,5	27,2	ZM
32	106,0	3	29,3	ZM	32	102,0	8,5	28,2	ZM
33	106,0	3	30,3	ZM	33	104,0	8,5	29,2	ZM
34	106,0	3	31,3	ZM	34	102,0	8,5	30,2	ZM
35	107,0	3	32,3	ZM	35	103,0	8,5	31,2	ZM
36	108,0	3	33,3	ZM	36	104,0	8,5	32,2	ZM
37	106,0	3	34,3	ZM	37	103,0	8,5	33,2	ZM
38	107,0	3	35,3	ZM	38	105,0	8,5	34,2	ZM
39	107,0	3	36,3	ZM	39	103,0	8,5	35,2	ZM
40	106,0	3	37,3	ZM	40	103,0	8,5	36,2	ZM
41	107,0	3	38,3	ZM	41	102,0	8,5	37,2	ZM
42	107,0	3	39,3	ZM	42	101,0	8,5	38,2	ZM
43	106,0	3	40,3	ZM	43	104,0	8,5	39,2	ZM
44	108,0	3	41,3	ZM	44	102,0	8,5	40,2	ZM
45	104,0	3	42,3	ZM	45	103,0	8,5	41,2	ZM
46	103,0	3	43,3	ZM	46	103,0	8,5	42,2	ZM
47	107,0	3	44,3	ZM	47	101,0	8,5	43,2	ZM
48	106,0	3	45,3	ZM	48	104,0	8,5	44,2	ZM
49	106,0	3	46,3	ZM	49	103,0	8,5	45,2	ZM
50	107,0	3	47,3	ZM	50	102,0	8,5	46,2	ZM
51	108,0	3	48,3	ZM	51	104,0	8,5	47,2	ZM
52	107,0	3	49,3	ZM	52	102,0	8,5	48,2	ZM
53	108,0	3	50,3	ZM	53	103,0	8,5	49,2	ZM
54	106,0	3	51,3	ZM	54	105,0	8,5	50,2	ZM

Příloha 6: Naměřené hodnoty tvrdostí HV 5 svaru D150 - rozpouštěcí žíhání, zchlazení a umělé stárnutí při 160°C po dobu 12 hodin.

Předehřev 150°C, RZ 160°C po 12h				
číslo měření	tvrdost HV 5	pozice x [mm]	pozice y [mm]	Oblast vpichu
1	68,7	-0,9	3	SK
2	70,2	0,9	3	SK
3	102	1,1	3	TOO
4	106	2,1	3	ZM
5	109	3,1	3	ZM
6	106	4,1	3	ZM
7	108	5,1	3	ZM
8	107	6,1	3	ZM
9	112	7,1	3	ZM
10	110	8,1	3	ZM
11	109	9,1	3	ZM
12	110	10,1	3	ZM
13	108	11,1	3	ZM
14	106	12,1	3	ZM
15	109	13,1	3	ZM
16	111	14,1	3	ZM
17	108	15,1	3	ZM
18	107	16,1	3	ZM
19	111	17,1	3	ZM
20	109	18,1	3	ZM
21	108	19,1	3	ZM
22	106	20,1	3	ZM
23	110	21,1	3	ZM
24	109	22,1	3	ZM
25	110	23,1	3	ZM
26	108	24,1	3	ZM
27	109	25,1	3	ZM
28	110	26,1	3	ZM
29	111	27,1	3	ZM
30	108	28,1	3	ZM
31	108	29,1	3	ZM
32	107	30,1	3	ZM
33	111	31,1	3	ZM
34	106	32,1	3	ZM
35	105	33,1	3	ZM
36	109	34,1	3	ZM
37	110	35,1	3	ZM
38	112	36,1	3	ZM
39	109	37,1	3	ZM
40	110	38,1	3	ZM
41	111	39,1	3	ZM
42	107	40,1	3	ZM
43	108	41,1	3	ZM
44	110	42,1	3	ZM
45	110	43,1	3	ZM
46	112	44,1	3	ZM
47	112	45,1	3	ZM
48	109	46,1	3	ZM
49	106	47,1	3	ZM
50	110	48,1	3	ZM
51	111	49,1	3	ZM
52	112	50,1	3	ZM
53	109	51,1	3	ZM
54	110	52,1	3	ZM

Předehřev 150°C, RZ 160°C po 12h					Předehřev 150°C, RZ 160°C po 12h				
číslo měření	tvrdost HV 5	pozice y [mm]	pozice x [mm]	Oblast vpichu	číslo měření	tvrdost HV 5	pozice y [mm]	pozice x [mm]	Oblast vpichu
1	63,6	3	-2	SK	1	66,8	8,5	-4,2	SK
2	63,4	3	-1	SK	2	70	8,5	-3,2	SK
3	64,4	3	0	HZ	3	68,1	8,5	-2,2	SK
4	93,9	3	1	TOO	4	62,9	8,5	-1,2	SK
5	102	3	2	TOO	5	66,2	8,5	-0,2	SK
6	104	3	3	ZM	6	60,5	8,5	0,2	SK
7	100	3	4	ZM	7	103	8,5	0,8	TOO
8	105	3	5	ZM	8	106	8,5	1,8	ZM
9	102	3	6	ZM	9	102	8,5	2,8	ZM
10	100	3	7	ZM	10	100	8,5	3,8	ZM
11	102	3	8	ZM	11	103	8,5	4,8	ZM
12	104	3	9	ZM	12	106	8,5	5,8	ZM
13	99	3	10	ZM	13	104	8,5	6,8	ZM
14	100	3	11	ZM	14	104	8,5	7,8	ZM
15	100	3	12	ZM	15	103	8,5	8,8	ZM
16	104	3	13	ZM	16	100	8,5	9,8	ZM
17	102	3	14	ZM	17	106	8,5	10,8	ZM
18	100	3	15	ZM	18	104	8,5	11,8	ZM
19	100	3	16	ZM	19	102	8,5	12,8	ZM
20	104	3	17	ZM	20	102	8,5	13,8	ZM
21	103	3	18	ZM	21	103	8,5	14,8	ZM
22	104	3	19	ZM	22	106	8,5	15,8	ZM
23	102	3	20	ZM	23	100	8,5	16,8	ZM
24	102	3	21	ZM	24	102	8,5	17,8	ZM
25	104	3	22	ZM	25	105	8,5	18,8	ZM
26	100	3	23	ZM	26	104	8,5	19,8	ZM
27	102	3	24	ZM	27	106	8,5	20,8	ZM
28	104	3	25	ZM	28	103	8,5	21,8	ZM
29	103	3	26	ZM	29	106	8,5	22,8	ZM
30	104	3	27	ZM	30	102	8,5	23,8	ZM
31	100	3	28	ZM	31	102	8,5	24,8	ZM
32	104	3	29	ZM	32	100	8,5	25,8	ZM
33	102	3	30	ZM	33	106	8,5	26,8	ZM
34	102	3	31	ZM	34	105	8,5	27,8	ZM
35	104	3	32	ZM	35	104	8,5	28,8	ZM
36	103	3	33	ZM	36	106	8,5	29,8	ZM
37	103	3	34	ZM	37	103	8,5	30,8	ZM
38	104	3	35	ZM	38	102	8,5	31,8	ZM
39	100	3	36	ZM	39	102	8,5	32,8	ZM
40	100	3	37	ZM	40	106	8,5	33,8	ZM
41	102	3	38	ZM	41	100	8,5	34,8	ZM
42	102	3	39	ZM	42	102	8,5	35,8	ZM
43	103	3	40	ZM	43	103	8,5	36,8	ZM
44	102	3	41	ZM	44	104	8,5	37,8	ZM
45	104	3	42	ZM	45	106	8,5	38,8	ZM
46	100	3	43	ZM	46	104	8,5	39,8	ZM
47	103	3	44	ZM	47	104	8,5	40,8	ZM
48	104	3	45	ZM	48	103	8,5	41,8	ZM
49	104	3	46	ZM	49	103	8,5	42,8	ZM
50	102	3	47	ZM	50	106	8,5	43,8	ZM
51	102	3	48	ZM	51	102	8,5	44,8	ZM
52	100	3	49	ZM	52	102	8,5	45,8	ZM
53	102	3	50	ZM	53	104	8,5	46,8	ZM
54	102	3	51	ZM	54	104	8,5	47,8	ZM

Předehřev 150°C, RZ 160°C po 12h					Předehřev 150°C, RZ 160°C po 12h					Předehřev 150°C, RZ 160°C po 12h				
číslo měření	tvrdost HV 5	police y [mm]	police x [mm]	Oblast vpichu	číslo měření	tvrdost HV 5	police y [mm]	police x [mm]	Oblast vpichu	číslo měření	tvrdost HV 5	police y [mm]	police x [mm]	Oblast vpichu
1	70,9	3	-2	SK	1	70,7	8,5	-4,5	SK	1	71	12,5	-8	SK
2	69,1	3	-1	SK	2	69,2	8,5	-3,5	SK	2	72	12,5	-7	SK
3	73	3	0	HZ	3	69,9	8,5	-2,5	SK	3	71,4	12,5	-6	SK
4	112	3	1	TOO	4	70	8,5	-1,5	SK	4	71	12,5	-5	SK
5	114	3	2	ZM	5	70,2	8,5	-0,5	SK	5	69	12,5	-4	SK
6	111	3	3	ZM	6	67,6	8,5	0,5	SK	6	69,3	12,5	-3	SK
7	110	3	4	ZM	7	113	8,5	0,5	TOO	7	69,3	12,5	-2	SK
8	112	3	5	ZM	8	111	8,5	1,5	ZM	8	72,8	12,5	-1	SK
9	110	3	6	ZM	9	111	8,5	2,5	ZM	9	86,8	12,5	0	HZ
10	109	3	7	ZM	10	112	8,5	3,5	ZM	10	111	12,5	1	TOO
11	108	3	8	ZM	11	112	8,5	4,5	ZM	11	114	12,5	2	ZM
12	109	3	9	ZM	12	114	8,5	5,5	ZM	12	115	12,5	3	ZM
13	106	3	10	ZM	13	111	8,5	6,5	ZM	13	114	12,5	4	ZM
14	110	3	11	ZM	14	110	8,5	7,5	ZM	14	110	12,5	5	ZM
15	111	3	12	ZM	15	111	8,5	8,5	ZM	15	112	12,5	6	ZM
16	111	3	13	ZM	16	112	8,5	9,5	ZM	16	111	12,5	7	ZM
17	109	3	14	ZM	17	113	8,5	10,5	ZM	17	111	12,5	8	ZM
18	110	3	15	ZM	18	112	8,5	11,5	ZM	18	114	12,5	9	ZM
19	108	3	16	ZM	19	114	8,5	12,5	ZM	19	110	12,5	10	ZM
20	112	3	17	ZM	20	111	8,5	13,5	ZM	20	114	12,5	11	ZM
21	111	3	18	ZM	21	112	8,5	14,5	ZM	21	112	12,5	12	ZM
22	109	3	19	ZM	22	111	8,5	15,5	ZM	22	113	12,5	13	ZM
23	111	3	20	ZM	23	112	8,5	16,5	ZM	23	113	12,5	14	ZM
24	110	3	21	ZM	24	113	8,5	17,5	ZM	24	112	12,5	15	ZM
25	111	3	22	ZM	25	110	8,5	18,5	ZM	25	111	12,5	16	ZM
26	109	3	23	ZM	26	109	8,5	19,5	ZM	26	110	12,5	17	ZM
27	109	3	24	ZM	27	112	8,5	20,5	ZM	27	112	12,5	18	ZM
28	108	3	25	ZM	28	112	8,5	21,5	ZM	28	113	12,5	19	ZM
29	108	3	26	ZM	29	111	8,5	22,5	ZM	29	114	12,5	20	ZM
30	110	3	27	ZM	30	111	8,5	23,5	ZM	30	113	12,5	21	ZM
31	111	3	28	ZM	31	112	8,5	24,5	ZM	31	112	12,5	22	ZM
32	112	3	29	ZM	32	113	8,5	25,5	ZM	32	112	12,5	23	ZM
33	109	3	30	ZM	33	112	8,5	26,5	ZM	33	112	12,5	24	ZM
34	108	3	31	ZM	34	113	8,5	27,5	ZM	34	111	12,5	25	ZM
35	111	3	32	ZM	35	110	8,5	28,5	ZM	35	113	12,5	26	ZM
36	112	3	33	ZM	36	111	8,5	29,5	ZM	36	110	12,5	27	ZM
37	111	3	34	ZM	37	112	8,5	30,5	ZM	37	112	12,5	28	ZM
38	108	3	35	ZM	38	113	8,5	31,5	ZM	38	111	12,5	29	ZM
39	109	3	36	ZM	39	114	8,5	32,5	ZM	39	110	12,5	30	ZM
40	109	3	37	ZM	40	111	8,5	33,5	ZM	40	111	12,5	31	ZM
41	110	3	38	ZM	41	112	8,5	34,5	ZM	41	112	12,5	32	ZM
42	110	3	39	ZM	42	112	8,5	35,5	ZM	42	114	12,5	33	ZM
43	110	3	40	ZM	43	111	8,5	36,5	ZM	43	112	12,5	34	ZM
44	108	3	41	ZM	44	113	8,5	37,5	ZM	44	113	12,5	35	ZM
45	109	3	42	ZM	45	111	8,5	38,5	ZM	45	114	12,5	36	ZM
46	111	3	43	ZM	46	113	8,5	39,5	ZM	46	112	12,5	37	ZM
47	112	3	44	ZM	47	111	8,5	40,5	ZM	47	111	12,5	38	ZM
48	110	3	45	ZM	48	112	8,5	41,5	ZM	48	114	12,5	39	ZM
49	110	3	46	ZM	49	111	8,5	42,5	ZM	49	113	12,5	40	ZM
50	111	3	47	ZM	50	112	8,5	43,5	ZM	50	114	12,5	41	ZM
51	112	3	48	ZM	51	114	8,5	44,5	ZM	51	110	12,5	42	ZM
52	110	3	49	ZM	52	111	8,5	45,5	ZM	52	112	12,5	43	ZM
53	112	3	50	ZM	53	114	8,5	46,5	ZM	53	111	12,5	44	ZM
54	110	3	51	ZM	54	113	8,5	47,5	ZM	54	112	12,5	45	ZM

Příloha 7: Naměřené hodnoty tvrdostí HV 5 svaru D150 - rozpouštěcí žhání, zchlazení a umělé stárnutí při 175°C po dobu 8 hodin.

Předehřev 150°C, RZ 175°C po 8h				
číslo měření	tvrdost HV 5	pozice x [mm]	pozice y [mm]	Oblast vpichu
1	60,8	-2,3	3	SK
2	61,4	-1,3	3	SK
3	61,3	-0,3	3	SK
4	61,8	0	3	HZ
5	105	0,3	3	TOO
6	103	0,7	3	ZM
7	102	1,7	3	ZM
8	103	3,7	3	ZM
9	103	4,7	3	ZM
10	105	5,7	3	ZM
11	107	6,7	3	ZM
12	103	7,7	3	ZM
13	105	8,7	3	ZM
14	103	9,7	3	ZM
15	106	10,7	3	ZM
16	106	11,7	3	ZM
17	108	12,7	3	ZM
18	108	13,7	3	ZM
19	107	14,7	3	ZM
20	105	15,7	3	ZM
21	107	16,7	3	ZM
22	103	17,7	3	ZM
23	103	18,7	3	ZM
24	106	19,7	3	ZM
25	109	20,7	3	ZM
26	108	21,7	3	ZM
27	106	22,7	3	ZM
28	103	23,7	3	ZM
29	106	24,7	3	ZM
30	105	25,7	3	ZM
31	107	26,7	3	ZM
32	107	27,7	3	ZM
33	106	28,7	3	ZM
34	106	29,7	3	ZM
35	108	30,7	3	ZM
36	109	31,7	3	ZM
37	107	32,7	3	ZM
38	105	33,7	3	ZM
39	103	34,7	3	ZM
40	105	35,7	3	ZM
41	103	36,7	3	ZM
42	104	37,7	3	ZM
43	105	38,7	3	ZM
44	106	39,7	3	ZM
45	108	40,7	3	ZM
46	108	41,7	3	ZM
47	106	42,7	3	ZM
48	108	43,7	3	ZM
49	107	44,7	3	ZM
50	106	45,7	3	ZM
51	107	46,7	3	ZM
52	106	47,7	3	ZM
53	104	48,7	3	ZM
54	107	49,7	3	ZM

Předehřev 150°C, RZ 175°C po 8h					Předehřev 150°C, RZ 175°C po 8h				
číslo měření	tvrdost HV 5	pozice y [mm]	pozice x [mm]	Oblast vpichu	číslo měření	tvrdost HV 5	pozice y [mm]	pozice x [mm]	Oblast vpichu
1	66,5	3	-2,1	SK	1	66,1	8,5	-3,2	SK
2	66,2	3	-1,1	SK	2	68,7	8,5	-2,2	SK
3	67,2	3	-0,1	SK	3	67,9	8,5	-1,2	SK
4	77,5	3	0,1	SK	4	68,5	8,5	-0,2	SK
5	105	3	0,9	TOO	5	79,6	8,5	0,2	SK
6	103	3	1,9	ZM	6	109	8,5	1,2	TOO
7	102	3	2,9	ZM	7	109	8,5	2,2	ZM
8	104	3	3,9	ZM	8	108	8,5	3,2	ZM
9	105	3	4,9	ZM	9	107	8,5	4,2	ZM
10	106	3	5,9	ZM	10	106	8,5	5,2	ZM
11	106	3	6,9	ZM	11	106	8,5	6,2	ZM
12	105	3	7,9	ZM	12	105	8,5	7,2	ZM
13	106	3	8,9	ZM	13	105	8,5	8,2	ZM
14	107	3	9,9	ZM	14	107	8,5	9,2	ZM
15	108	3	10,9	ZM	15	109	8,5	10,2	ZM
16	107	3	11,9	ZM	16	109	8,5	11,2	ZM
17	105	3	12,9	ZM	17	108	8,5	12,2	ZM
18	105	3	13,9	ZM	18	108	8,5	13,2	ZM
19	106	3	14,9	ZM	19	107	8,5	14,2	ZM
20	107	3	15,9	ZM	20	108	8,5	15,2	ZM
21	107	3	16,9	ZM	21	106	8,5	16,2	ZM
22	105	3	17,9	ZM	22	106	8,5	17,2	ZM
23	103	3	18,9	ZM	23	105	8,5	18,2	ZM
24	103	3	19,9	ZM	24	107	8,5	19,2	ZM
25	104	3	20,9	ZM	25	107	8,5	20,2	ZM
26	105	3	21,9	ZM	26	108	8,5	21,2	ZM
27	105	3	22,9	ZM	27	109	8,5	22,2	ZM
28	106	3	23,9	ZM	28	110	8,5	23,2	ZM
29	107	3	24,9	ZM	29	109	8,5	24,2	ZM
30	107	3	25,9	ZM	30	109	8,5	25,2	ZM
31	106	3	26,9	ZM	31	107	8,5	26,2	ZM
32	108	3	27,9	ZM	32	105	8,5	27,2	ZM
33	106	3	28,9	ZM	33	105	8,5	28,2	ZM
34	105	3	29,9	ZM	34	106	8,5	29,2	ZM
35	105	3	30,9	ZM	35	106	8,5	30,2	ZM
36	106	3	31,9	ZM	36	109	8,5	31,2	ZM
37	107	3	32,9	ZM	37	108	8,5	32,2	ZM
38	108	3	33,9	ZM	38	108	8,5	33,2	ZM
39	107	3	34,9	ZM	39	107	8,5	34,2	ZM
40	105	3	35,9	ZM	40	109	8,5	35,2	ZM
41	105	3	36,9	ZM	41	108	8,5	36,2	ZM
42	106	3	37,9	ZM	42	106	8,5	37,2	ZM
43	104	3	38,9	ZM	43	106	8,5	38,2	ZM
44	105	3	39,9	ZM	44	107	8,5	39,2	ZM
45	105	3	40,9	ZM	45	107	8,5	40,2	ZM
46	106	3	41,9	ZM	46	109	8,5	41,2	ZM
47	105	3	42,9	ZM	47	108	8,5	42,2	ZM
48	104	3	43,9	ZM	48	109	8,5	43,2	ZM
49	103	3	44,9	ZM	49	109	8,5	44,2	ZM
50	105	3	45,9	ZM	50	108	8,5	45,2	ZM
51	106	3	46,9	ZM	51	107	8,5	46,2	ZM
52	107	3	47,9	ZM	52	107	8,5	47,2	ZM
53	108	3	48,9	ZM	53	106	8,5	48,2	ZM
54	105	3	49,9	ZM	54	108	8,5	49,2	ZM

Příloha 8: Naměřené hodnoty tvrdostí HV 5 svaru D150 - rozpouštěcí žíhání, zchlazení a umělé stárnutí při 190°C po dobu 4 hodin.

Předehřev 150°C, RZ 190°C po 4h				
číslo měření	tvrdost HV 5	pozice x [mm]	pozice y [mm]	Oblast vpichu
1	52	-3,2	3	SK
2	53	-2,2	3	SK
3	56	-1,2	3	SK
4	55	-0,2	3	SK
5	60	0,2	3	SK
6	98	0,8	3	TOO
7	99	1,8	3	ZM
8	101	2,8	3	ZM
9	98	3,8	3	ZM
10	101	4,8	3	ZM
11	99	5,8	3	ZM
12	100	6,8	3	ZM
13	98	7,8	3	ZM
14	99	8,8	3	ZM
15	100	9,8	3	ZM
16	101	10,8	3	ZM
17	102	11,8	3	ZM
18	99	12,8	3	ZM
19	101	13,8	3	ZM
20	99	14,8	3	ZM
21	99	15,8	3	ZM
22	100	16,8	3	ZM
23	98	17,8	3	ZM
24	99	18,8	3	ZM
25	101	19,8	3	ZM
26	100	20,8	3	ZM
27	102	21,8	3	ZM
28	102	22,8	3	ZM
29	103	23,8	3	ZM
30	99	24,8	3	ZM
31	100	25,8	3	ZM
32	102	26,8	3	ZM
33	99	27,8	3	ZM
34	99	28,8	3	ZM
35	99	29,8	3	ZM
36	103	30,8	3	ZM
37	99	31,8	3	ZM
38	98	32,8	3	ZM
39	100	33,8	3	ZM
40	100	34,8	3	ZM
41	100	35,8	3	ZM
42	103	36,8	3	ZM
43	101	37,8	3	ZM
44	103	38,8	3	ZM
45	100	39,8	3	ZM
46	99	40,8	3	ZM
47	99	41,8	3	ZM
48	100	42,8	3	ZM
49	102	43,8	3	ZM
50	101	44,8	3	ZM
51	101	45,8	3	ZM
52	100	46,8	3	ZM
53	100	47,8	3	ZM
54	102	48,8	3	ZM

Předehřev 150°C, RZ 190°C po 4h					Předehřev 150°C, RZ 190°C po 4h				
číslo měření	tvrdost HV 5	pozice y [mm]	pozice x [mm]	Oblast vpichu	číslo měření	tvrdost HV 5	pozice y [mm]	pozice x [mm]	Oblast vpichu
1	65,6	3	-1,9	SK	1	61,0	8,5	-4,5	SK
2	64,2	3	-0,9	SK	2	60,0	8,5	-3,5	SK
3	63,7	3	0,9	SK	3	69,8	8,5	-2,5	SK
4	96,0	3	1,1	SK	4	72,8	8,5	-1,5	SK
5	99,3	3	2,1	TOO	5	68,7	8,5	-0,5	SK
6	96,3	3	3,1	ZM	6	67,8	8,5	0,5	SK
7	98,5	3	4,1	ZM	7	97,0	8,5	0,5	TOO
8	97,6	3	5,1	ZM	8	99,0	8,5	1,5	ZM
9	101,0	3	6,1	ZM	9	95,7	8,5	2,5	ZM
10	98,6	3	7,1	ZM	10	98,6	8,5	3,5	ZM
11	101,0	3	8,1	ZM	11	98,3	8,5	4,5	ZM
12	96,3	3	9,1	ZM	12	101,0	8,5	5,5	ZM
13	100,0	3	10,1	ZM	13	98,2	8,5	6,5	ZM
14	97,0	3	11,1	ZM	14	99,0	8,5	7,5	ZM
15	101,0	3	12,1	ZM	15	95,0	8,5	8,5	ZM
16	99,0	3	13,1	ZM	16	97,6	8,5	9,5	ZM
17	96,8	3	14,1	ZM	17	100,0	8,5	10,5	ZM
18	98,3	3	15,1	ZM	18	97,6	8,5	11,5	ZM
19	98,0	3	16,1	ZM	19	94,0	8,5	12,5	ZM
20	101,0	3	17,1	ZM	20	97,3	8,5	13,5	ZM
21	98,7	3	18,1	ZM	21	99,0	8,5	14,5	ZM
22	100,0	3	19,1	ZM	22	99,3	8,5	15,5	ZM
23	97,6	3	20,1	ZM	23	95,6	8,5	16,5	ZM
24	98,5	3	21,1	ZM	24	99,0	8,5	17,5	ZM
25	101,0	3	22,1	ZM	25	96,3	8,5	18,5	ZM
26	97,9	3	23,1	ZM	26	96,0	8,5	19,5	ZM
27	100,0	3	24,1	ZM	27	95,8	8,5	20,5	ZM
28	101,0	3	25,1	ZM	28	99,0	8,5	21,5	ZM
29	95,6	3	26,1	ZM	29	95,7	8,5	22,5	ZM
30	101,0	3	27,1	ZM	30	98,2	8,5	23,5	ZM
31	98,0	3	28,1	ZM	31	95,5	8,5	24,5	ZM
32	97,8	3	29,1	ZM	32	97,0	8,5	25,5	ZM
33	101,0	3	30,1	ZM	33	98,6	8,5	26,5	ZM
34	98,7	3	31,1	ZM	34	96,7	8,5	27,5	ZM
35	101,0	3	32,1	ZM	35	100,0	8,5	28,5	ZM
36	96,7	3	33,1	ZM	36	95,0	8,5	29,5	ZM
37	100,0	3	34,1	ZM	37	98,0	8,5	30,5	ZM
38	99,8	3	35,1	ZM	38	96,0	8,5	31,5	ZM
39	101,0	3	36,1	ZM	39	99,0	8,5	32,5	ZM
40	101,0	3	37,1	ZM	40	96,0	8,5	33,5	ZM
41	100,0	3	38,1	ZM	41	97,0	8,5	34,5	ZM
42	99,8	3	39,1	ZM	42	99,2	8,5	35,5	ZM
43	97,6	3	40,1	ZM	43	101,0	8,5	36,5	ZM
44	101,0	3	41,1	ZM	44	97,9	8,5	37,5	ZM
45	98,5	3	42,1	ZM	45	95,7	8,5	38,5	ZM
46	96,3	3	43,1	ZM	46	99,0	8,5	39,5	ZM
47	100,0	3	44,1	ZM	47	96,7	8,5	40,5	ZM
48	99,8	3	45,1	ZM	48	99,0	8,5	41,5	ZM
49	97,0	3	46,1	ZM	49	98,0	8,5	42,5	ZM
50	96,7	3	47,1	ZM	50	96,0	8,5	43,5	ZM
51	96,3	3	48,1	ZM	51	99,3	8,5	44,5	ZM
52	97,0	3	49,1	ZM	52	95,7	8,5	45,5	ZM
53	99,8	3	50,1	ZM	53	95,0	8,5	46,5	ZM
54	100,0	3	51,1	ZM	54	98,3	8,5	47,5	ZM

Příloha 9: Naměřené hodnoty tvrdostí HV 5 svaru D75 - rozpouštěcí žíhání, zchlazení a přirozené stárnutí po 7 dnech.

Předehřev 75°C, Přirozené stárnutí po 7dnech				
číslo měření	tvrdost HV 5	pozice y [mm]	pozice x [mm]	Oblast vpichu
1	61,2	-1,5	3	SV
2	61	-0,5	3	SV
3	62,9	0,5	3	SV
4	60,9	0,5	3	TOO
5	60,8	1,5	3	TOO
6	60,5	2,5	3	TOO
7	61,1	3,5	3	TOO
8	62,1	4,5	3	TOO
9	59,9	5,5	3	TOO
10	62,2	6,5	3	TOO
11	63,5	7,5	3	TOO
12	62,1	8,5	3	TOO
13	61,9	9,5	3	TOO
14	63,1	10,5	3	TOO
15	63,6	11,5	3	TOO
16	61,3	12,5	3	TOO
17	61,1	13,5	3	TOO
18	60,9	14,5	3	TOO
19	62,7	15,5	3	TOO
20	62,4	16,5	3	TOO
21	60,5	17,5	3	TOO
22	60,9	18,5	3	TOO
23	61,6	19,5	3	TOO
24	61	20,5	3	TOO
25	59,3	21,5	3	TOO
26	62,4	22,5	3	TOO
27	61,6	23,5	3	TOO
28	62,1	24,5	3	TOO
29	61,7	25,5	3	TOO
30	61,6	26,5	3	TOO
31	61	27,5	3	TOO
32	59,7	28,5	3	TOO
33	60,5	29,5	3	TOO
34	60,5	30,5	3	TOO
35	62,3	31,5	3	TOO
36	62,4	32,5	3	TOO
37	59	33,5	3	TOO
38	61,1	34,5	3	TOO
39	62,2	35,5	3	TOO
40	61	36,5	3	TOO
41	61,1	37,5	3	TOO
42	61,9	38,5	3	TOO
43	62,6	39,5	3	TOO
44	61,7	40,5	3	TOO
45	60,9	41,5	3	TOO
46	62,8	42,5	3	TOO
47	61	43,5	3	TOO
48	60,8	44,5	3	TOO
49	62,6	45,5	3	TOO
50	60,2	46,5	3	TOO
51	60,2	47,5	3	TOO
52	62,8	48,5	3	TOO
53	61,4	49,5	3	TOO
54	62,8	50,5	3	TOO

Přehřev 75°C, Přirozené stárnutí po 7 dnech					Přehřev 75°C, Přirozené stárnutí po 7 dnech				
číslo měření	tvrdost HV 5	pozice y [mm]	pozice x	Oblast vpichu	číslo měření	tvrdost HV 5	pozice y [mm]	pozice x	Oblast vpichu
1	63,1	3	-1,5	SK	1	68,4	8,5	-3,3	SK
2	62,9	3	-0,5	SK	2	69	8,5	-2,3	SK
3	63,4	3	0,5	SK	3	69,5	8,5	-1,3	SK
4	61,7	3	0,5	TOO	4	68,9	8,5	-0,3	SK
5	63	3	1,5	TOO	5	68	8,5	0,3	SK
6	64,2	3	2,5	TOO	6	63,4	8,5	0,7	TOO
7	64,4	3	3,5	TOO	7	62,9	8,5	1,7	TOO
8	62	3	4,5	TOO	8	63,2	8,5	2,7	TOO
9	62	3	5,5	TOO	9	65,4	8,5	3,7	TOO
10	63,3	3	6,5	TOO	10	61,8	8,5	4,7	TOO
11	63,2	3	7,5	TOO	11	63,2	8,5	5,7	TOO
12	63,1	3	8,5	TOO	12	61,3	8,5	6,7	TOO
13	62,7	3	9,5	TOO	13	64,2	8,5	7,7	TOO
14	61,6	3	10,5	TOO	14	63,8	8,5	8,7	TOO
15	63,2	3	11,5	TOO	15	64,4	8,5	9,7	TOO
16	63,9	3	12,5	TOO	16	65,3	8,5	10,7	TOO
17	63,2	3	13,5	TOO	17	64,3	8,5	11,7	TOO
18	63,4	3	14,5	TOO	18	65,4	8,5	12,7	TOO
19	64,2	3	15,5	TOO	19	64,9	8,5	13,7	TOO
20	63,9	3	16,5	TOO	20	64,5	8,5	14,7	TOO
21	61,7	3	17,5	TOO	21	65,6	8,5	15,7	TOO
22	62,7	3	18,5	TOO	22	66	8,5	16,7	TOO
23	59,5	3	19,5	TOO	23	67	8,5	17,7	TOO
24	62,7	3	20,5	TOO	24	64,3	8,5	18,7	TOO
25	64	3	21,5	TOO	25	63,8	8,5	19,7	TOO
26	63,2	3	22,5	TOO	26	62,1	8,5	20,7	TOO
27	61,9	3	23,5	TOO	27	62,2	8,5	21,7	TOO
28	63,9	3	24,5	TOO	28	65,6	8,5	22,7	TOO
29	63	3	25,5	TOO	29	64,4	8,5	23,7	TOO
30	62,8	3	26,5	TOO	30	64,2	8,5	24,7	TOO
31	64	3	27,5	TOO	31	64,2	8,5	25,7	TOO
32	62,7	3	28,5	TOO	32	63,7	8,5	26,7	TOO
33	62,2	3	29,5	TOO	33	61,5	8,5	27,7	TOO
34	63,7	3	30,5	TOO	34	63,4	8,5	28,7	TOO
35	63,4	3	31,5	TOO	35	61,9	8,5	29,7	TOO
36	63,5	3	32,5	TOO	36	63,4	8,5	30,7	TOO
37	60,6	3	33,5	TOO	37	64,9	8,5	31,7	TOO
38	61,6	3	34,5	TOO	38	64,6	8,5	32,7	TOO
39	63,1	3	35,5	TOO	39	64,1	8,5	33,7	TOO
40	63,7	3	36,5	TOO	40	63,8	8,5	34,7	TOO
41	61,3	3	37,5	TOO	41	63	8,5	35,7	TOO
42	63	3	38,5	TOO	42	64,4	8,5	36,7	TOO
43	63,7	3	39,5	TOO	43	61	8,5	37,7	TOO
44	64,3	3	40,5	TOO	44	62,1	8,5	38,7	TOO
45	64,4	3	41,5	TOO	45	64,4	8,5	39,7	TOO
46	62,1	3	42,5	TOO	46	63,2	8,5	40,7	TOO
47	60,5	3	43,5	TOO	47	63,7	8,5	41,7	TOO
48	65,6	3	44,5	TOO	48	62,5	8,5	42,7	TOO
49	63,5	3	45,5	TOO	49	63,6	8,5	43,7	TOO
50	64	3	46,5	TOO	50	64,3	8,5	44,7	TOO
51	61,7	3	47,5	TOO	51	63	8,5	45,7	TOO
52	61,2	3	48,5	TOO	52	62,3	8,5	46,7	TOO
53	61,9	3	49,5	TOO	53	62,5	8,5	47,7	TOO
54	62,9	3	50,5	TOO	54	63,4	8,5	48,7	TOO

Příloha 10: Naměřené hodnoty tvrdostí HV 5 svaru D150 - rozpouštěcí žihání, zchlazení a přirozené stárnutí po 7 dnech.

Předehřev 150°C, Přirozené stárnutí po 7dnech				
číslo měření	tvrdost HV 5	pozice y [mm]	pozice x [mm]	Oblast vpichu
1	58,5	3	-1,5	SV
2	58,4	3	-0,5	SV
3	57,5	3	0,5	SV
4	59,6	3	0,5	TOO
5	64	3	1,5	TOO
6	62,7	3	2,5	TOO
7	64,1	3	3,5	TOO
8	64,2	3	4,5	TOO
9	64,2	3	5,5	TOO
10	64,6	3	6,5	TOO
11	63,3	3	7,5	TOO
12	64	3	8,5	TOO
13	64,2	3	9,5	TOO
14	63	3	10,5	TOO
15	64,3	3	11,5	TOO
16	64,6	3	12,5	TOO
17	65,3	3	13,5	TOO
18	65,2	3	14,5	TOO
19	62,2	3	15,5	TOO
20	63,8	3	16,5	TOO
21	64,5	3	17,5	TOO
22	65,3	3	18,5	TOO
23	66,6	3	19,5	TOO
24	63,3	3	20,5	TOO
25	63,7	3	21,5	TOO
26	64,2	3	22,5	TOO
27	64	3	23,5	TOO
28	64,8	3	24,5	TOO
29	63,1	3	25,5	TOO
30	64,5	3	26,5	TOO
31	64,8	3	27,5	TOO
32	63	3	28,5	TOO
33	65,6	3	29,5	TOO
34	63,5	3	30,5	TOO
35	62,4	3	31,5	TOO
36	63,4	3	32,5	TOO
37	62,3	3	33,5	TOO
38	64	3	34,5	TOO
39	62,3	3	35,5	TOO
40	64,9	3	36,5	TOO
41	65	3	37,5	TOO
42	64,8	3	38,5	TOO
43	65,1	3	39,5	TOO
44	62,9	3	40,5	TOO
45	63,7	3	41,5	TOO
46	62,5	3	42,5	TOO
47	63,9	3	43,5	TOO
48	62,7	3	44,5	TOO
49	63,2	3	45,5	TOO
50	63,5	3	46,5	TOO
51	63,6	3	47,5	TOO
52	63,4	3	48,5	TOO
53	63,2	3	49,5	TOO
54	63,3	3	50,5	TOO

Předehřev 150°C, Přirozené stárnutí po 7dnech					Předehřev 150°C, Přirozené stárnutí po 7dnech				
číslo měření	tvrdost HV 5	pozice y [mm]	pozice x [mm]	Oblast vpichu	číslo měření	tvrdost HV 5	pozice y [mm]	pozice x [mm]	Oblast vpichu
1	56,9	3	-2,4	SK	1	66,9	8,5	-3,3	SK
2	56,9	3	-1,4	SK	2	63,9	8,5	-2,3	SK
3	57,8	3	-0,4	SK	3	65,4	8,5	-1,3	SK
4	58,6	3	0,4	SK	4	66,2	8,5	-0,3	SK
5	64,1	3	0,6	TOO	5	64,1	8,5	0,3	SK
6	65,6	3	1,6	TOO	6	65,1	8,5	0,7	TOO
7	64,7	3	2,6	TOO	7	65,6	8,5	1,7	TOO
8	63,8	3	3,6	TOO	8	65,7	8,5	2,7	TOO
9	64,3	3	4,6	TOO	9	65,8	8,5	3,7	TOO
10	63,5	3	5,6	TOO	10	65,5	8,5	4,7	TOO
11	64,7	3	6,6	TOO	11	63	8,5	5,7	TOO
12	64,2	3	7,6	TOO	12	64,7	8,5	6,7	TOO
13	64,7	3	8,6	TOO	13	66	8,5	7,7	TOO
14	65,3	3	9,6	TOO	14	63,6	8,5	8,7	TOO
15	64,8	3	10,6	TOO	15	65,4	8,5	9,7	TOO
16	64,9	3	11,6	TOO	16	63,7	8,5	10,7	TOO
17	64,9	3	12,6	TOO	17	64,1	8,5	11,7	TOO
18	64,7	3	13,6	TOO	18	65,2	8,5	12,7	TOO
19	64	3	14,6	TOO	19	65,7	8,5	13,7	TOO
20	63,1	3	15,6	TOO	20	63,2	8,5	14,7	TOO
21	64,7	3	16,6	TOO	21	64,3	8,5	15,7	TOO
22	65,8	3	17,6	TOO	22	64,7	8,5	16,7	TOO
23	64	3	18,6	TOO	23	65,6	8,5	17,7	TOO
24	65,7	3	19,6	TOO	24	65,1	8,5	18,7	TOO
25	65,6	3	20,6	TOO	25	64,6	8,5	19,7	TOO
26	64,5	3	21,6	TOO	26	65,1	8,5	20,7	TOO
27	64,6	3	22,6	TOO	27	64,4	8,5	21,7	TOO
28	65,6	3	23,6	TOO	28	64,5	8,5	22,7	TOO
29	65,2	3	24,6	TOO	29	63,1	8,5	23,7	TOO
30	65,7	3	25,6	TOO	30	63,5	8,5	24,7	TOO
31	64,2	3	26,6	TOO	31	60,6	8,5	25,7	TOO
32	64,9	3	27,6	TOO	32	63,7	8,5	26,7	TOO
33	65,5	3	28,6	TOO	33	65,8	8,5	27,7	TOO
34	62,9	3	29,6	TOO	34	64,7	8,5	28,7	TOO
35	63,3	3	30,6	TOO	35	62	8,5	29,7	TOO
36	64,8	3	31,6	TOO	36	63	8,5	30,7	TOO
37	62,9	3	32,6	TOO	37	64,7	8,5	31,7	TOO
38	66,2	3	33,6	TOO	38	64,4	8,5	32,7	TOO
39	65,1	3	34,6	TOO	39	64,3	8,5	33,7	TOO
40	65,4	3	35,6	TOO	40	62,1	8,5	34,7	TOO
41	66,6	3	36,6	TOO	41	66,7	8,5	35,7	TOO
42	64,6	3	37,6	TOO	42	66,3	8,5	36,7	TOO
43	65	3	38,6	TOO	43	65,3	8,5	37,7	TOO
44	66	3	39,6	TOO	44	64,6	8,5	38,7	TOO
45	65,1	3	40,6	TOO	45	65,8	8,5	39,7	TOO
46	66,9	3	41,6	TOO	46	69,2	8,5	40,7	TOO
47	66,2	3	42,6	TOO	47	63,9	8,5	41,7	TOO
48	64,7	3	43,6	TOO	48	64,7	8,5	42,7	TOO
49	65,5	3	44,6	TOO	49	66,2	8,5	43,7	TOO
50	64,2	3	45,6	TOO	50	65,4	8,5	44,7	TOO
51	64,5	3	46,6	TOO	51	63	8,5	45,7	TOO

