

VŠB – Technická univerzita Ostrava

Fakulta strojní

Katedra mechanické technologie

**Změny struktury TMZ oceli při
svařování a následném rovnání
kyslíko – acetylenovým plamenem**

Changes of TMZ Steel Structure during
Welding and Subsequent Straightening
with Oxy – Acetylene Flame

Student:

Bc. Karel Vyhlídal

Vedoucí diplomové práce:

doc. Ing. Petr Mohyla, Ph.D.

Zadání diplomové práce

Student: **Bc. Karel Vyhlídal**
Studijní program: N2301 Strojní inženýrství
Studijní obor: 2303T002 Strojírenská technologie
Téma: **Změny struktury TMZ oceli při svařování a následném rovnání kyslíko-acetylenovým plamenem**
Changes of TMZ Steel Structure during Welding and Subsequent Straightening with Oxy - Acetylene Flame
Jazyk vypracování: čeština

Zásady pro vypracování:

1. Zpracujte studii na téma termomechanicky zpracované oceli (TMZ) se zaměřením na ocel S355MC.
2. Zpracujte studii o metodě svařování MAG (135) a shrňte poznatky o technologii rovnání kyslíko-acetylenovým plamenem.
3. Navrhněte parametry svařování zkušebních kusů - vypracujte pWPS.
4. Zhotovte zkušební svarové spoje.
5. Proveďte rovnání plamenem.
6. Proveďte nedestruktivní a destruktivní zkoušky.
7. Vyhodnoťte dosažené výsledky a vyslovte závěry.

Seznam doporučené odborné literatury:

JECH, J. *Tepelné zpracování oceli: Metalografická příručka*. 4. vyd. Praha: SNTL, 1983, 342 s.
Kolektiv autorů. *Výroba a aplikované inženýrství ve svařování* Ostrava: ZEROSS. 2000. 212 s. ISBN 80-85771-72-1
KOUKAL, J., ZMYDLENÝ, T. *Svařování I.* skripta VŠB – TUO. Ostrava: VŠB – TUO, 2005. 133 s. ISBN 80-248-0870-6

Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí diplomové práce: **doc. Ing. Petr Mohyla, Ph.D.**

Datum zadání: 20.12.2019

Datum odevzdání: 18.05.2020

Ing. Lucie Krejčí, Ph.D.
vedoucí katedry

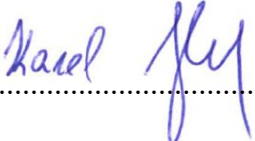


prof. Ing. Ivo Hlavatý, Ph.D.
děkan fakulty

Místopřísežné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou diplomovou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě dne 7.5.2020


.....
Podpis studenta

Prohlášení spolupracující osoby

Souhlasím se zveřejněním této diplomové práce dle požadavků čl. 26, odst. 9 Studijního a zkušebního řádu pro studium v magisterských studijních programech VŠB-TU Ostrava.

PROGRESS-OK a.s.

9. května 2452

750 02 Přerov

IČO: 25824651

Jméno a příjmení oprávněné osoby:

Josef Kozák

Statutární ředitel a.s.

V Ostravě dne 30.04.2020

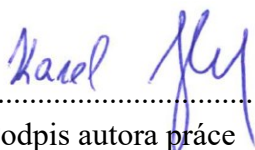
PROGRESS OK a.s.
9. května 2452
750 02 Přerov
IČO: 25824651, DIČ: CZ25824651

.....
Josef Kozák, statutární ředitel a.s.

Prohlašuji, že:

- jsem si vědom, že na tuto moji závěrečnou diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. Zákon o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (dále jen Autorský zákon), zejména § 35 (Užití díla v rámci občanských či náboženských obřadů nebo v rámci úředních akcí pořádaných orgány veřejné správy, v rámci školních představení a užití díla školního) a § 60 (Školní dílo),
- beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“) má právo užít tuto závěrečnou diplomovou práci nekomerčně ke své vnitřní potřebě (§ 35 odst. 3 Autorského zákona),
- bude-li požadováno, jeden výtisk této diplomové práce bude uložen u vedoucího práce,
- s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 Autorského zákona,
- užít toto své dílo, nebo poskytnout licenci k jejímu využití, mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše),
- beru na vědomí, že – podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů – že tato diplomová práce bude před obhajobou zveřejněna na pracovišti vedoucího práce, a v elektronické podobě uložena a po obhajobě zveřejněna v Ústřední knihovně VŠB-TUO, a to bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě dne 7.5.2020


.....
Podpis autora práce

Jméno a příjmení autora práce:

Bc. Karel Vyhlídal

Adresa trvalého pobytu autora práce:

Husova 779

752 01 Kojetín

ANOTACE DIPLOMOVÉ PRÁCE

Vyhlídal, K. *Změny struktury TMZ oceli při svařování a následném rovnání kyslíko-acetylenovým plamenem: diplomová práce*. Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra mechanické technologie, 2020, 94 s. Vedoucí práce: Mohyla, P.

Diplomová práce se zabývá vlastnostmi termomechanicky zpracovaných ocelí, jejich výrobou a mechanismem jejich zvýšených mechanických vlastností. Pro experimentální část byla vybrána TMZ ocel v jakosti S355MC, ze které byly vyrobeny a svařeny vzorky metodou 135 (MAG). Následně byla u jednoho vzorku provedena simulace rovnání kyslíko-acetylenovým plamenem při teplotě do 800 °C, další vzorek byl ponechán pouze ve svařeném stavu. Na těchto vzorcích byly provedeny nedestruktivní i destruktivní zkoušky, které slouží k porovnání změn mechanických vlastností a změn struktury v oblastech svarového spoje pro oba případy.

ANOTATION OF DIPLOMA THESIS

Vyhlídal, K. *Changes of TMZ Steel Structure during Welding and Subsequent Straightening with Oxy – Acetylene Flame: Diploma Thesis*. Ostrava: VŠB – Technical University of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Department of Mechanical Technology, 2020, 94 p. Supervisor: Mohyla, P.

The diploma thesis deals with the properties of thermomechanically processed steels, their production and the mechanism of their increased mechanical properties. For the experimental part, the samples were manufactured from the TMZ steel of steel grade S355MC and welded using the 135 (MAG) method. Subsequently, one of the samples was simulated to straightening using oxygen-acetylene flame at a temperature up to 800 °C, while the other sample was left in the welded state. To compare changes in mechanical properties and changes in the structure in the close vicinity of the weld for both cases, non-destructive and destructive tests were performed.

Obsah

Seznam použitých značek a symbolů.....	10
Úvod.....	11
1. Termomechanicky zpracované oceli (TMZ).....	12
1.1 Nízkoteplotní tepelně mechanické zpracování (NTMZ)	13
1.2 Vysokoteplotní tepelně mechanické zpracování (VTMZ).....	14
1.3 Ocel S355MC	15
2. Metoda svařování 135 (MAG).....	17
2.1 Zařízení pro svařování metodou 135 (MAG)	18
2.1.1 Zdroje pro svařování metodou 135 (MAG).....	19
2.1.2 Podavače svařovacího drátu	19
2.1.3 Svařovací hořák.....	19
2.2 Přenos kovu v oblouku	21
2.2.1 Krátký oblouk se zkratovým přenosem kovu.....	21
2.2.2 Krátký oblouk se zrychleným zkratovým přenosem.....	22
2.2.3 Přejížděcí oblouk.....	23
2.2.4 Impulsní bezzkratový přenos.....	24
2.2.5 Sprchový bezzkratový přenos.....	25
2.2.6 Moderovaný bezzkratový přenos	26
2.2.7 Dlouhý oblouk s rotujícím přenosem kovu	26
2.3 Ochranné plyny	27
2.3.1 Oxid uhličitý (CO ₂)	28
2.3.2 Kyslík O ₂	29
2.3.3 Argon (Ar).....	29
2.3.4 Helium (He).....	30
2.4 Kombinace směsných plynů pro metodu 135 (MAG).....	30
2.4.1 Směsný plyn Ar + (15–25) % CO ₂	30
2.4.2 Směsný plyn 92 % Ar + 8 % CO ₂	30

2.4.3	Směsný plyn Ar + (5-13) % CO ₂ + 5 % O ₂	31
2.5	Přídavné svařovací materiály pro metodu 135 (MAG)	31
3.	Napětí a deformace při svařovacím procesu	32
3.1	Deformace způsobené svařovacím procesem	32
3.2	Elementární deformace svarového spoje	33
3.2.1	Příčné smrštění z_p	33
3.2.2	Podélné smrštění z_l	34
3.2.3	Úhlová deformace z_u	34
3.3	Snižování svarových napětí a deformací	34
4.	Rovnění svařovaných dílů po svařování	36
4.1	Rovnění pomocí mechanické energie	36
4.2	Rovnění pomocí tepelné energie.....	36
4.2.1	Rovnění kyslíko-acetylenovým plamenem	37
4.2.2	Způsoby provádění rovnání.....	37
4.2.3	Plyny používané pro rovnání plamenem	40
4.2.4	Typy kyslíko-acetylenového plamene	41
4.2.5	Zařízení pro rovnání plamenem.....	42
5.	Návrh parametrů svařování zkušebních kusů	45
5.1	Příprava zkušebních kusů	45
5.2	Podmínky svařování	46
5.2.1	Výpočet uhlíkového ekvivalentu C_E	47
5.2.2	Výpočet C_E pro ocel S355MC.....	47
5.2.3	Výpočet teploty předehřevu pro svařování.....	47
5.2.4	Návrh předběžného postupu svařování pWPS	48
5.2.5	Předehřev	49
5.2.6	Kontrola teploty předehřevu a teploty interpass.....	50
6.	Vlastní zhotovení zkušebních spojů.....	54
7.	Rovnění kyslíko-acetylenovým plamenem	63

8.	Nedestruktivní a destruktivní zkoušky	67
8.1	Nedestruktivní zkoušení (NDT).....	68
8.1.1	Vizuální kontrola (VT)	68
8.1.2	Penetrační metoda (PT)	68
8.1.3	Metoda magnetická prášková (MT)	69
8.1.4	Metoda ultrazvuková (UT)	69
8.1.5	Metoda prozařovací (RT)	69
8.2	Destruktivní zkoušení	70
8.2.1	Zkouška tahem.....	70
8.2.2	Zkouška rázem v ohybu.....	71
8.2.3	Zkouška ohybem	71
8.2.4	Zkouška tvrdosti	71
8.2.5	Makro a mikrostruktura	72
8.3	Zkoušky provedené v experimentální části	72
8.3.1	Zkouška ohybem-boční	72
8.3.2	Zkouška tahem.....	73
8.3.3	Zkouška rázem v ohybu.....	74
8.3.4	Zkouška tvrdosti	75
8.3.5	Makro a mikrostruktura svarových spojů.....	77
9.	Závěr	82
10.	Seznam použitých zdrojů	86
11.	Seznam obrázků.....	91
12.	Seznam tabulek.....	93
13.	Seznam příloh.....	94

Seznam použitých značek a symbolů

A	Tažnost	[%]
C_E	Uhlíkový ekvivalent	[%]
ČSN	Česká státní norma	
EN	Evropská norma	
HV10	Zkouška tvrdosti dle Vickerse při zatížení 98,07 N	[-]
I	Svařovací proud	[A]
ISO	International Organization of Standardization Mezinárodní organizace pro normalizaci	
KV	Vrubová houževnatost	[J]
metoda 131 (MIG)	Metal Inert Gas Welding obloukové svařování tavící se elektrodou v inertním plynu	
metoda 135 (MAG)	Metal Active Gas Welding obloukové svařování tavící se elektrodou v aktivním plynu	
MT	Magnetická metoda prášková	
metoda 141 (WIG)	Wolfram Inert Gas Welding obloukové svařování netavící se elektrodou v inertním plynu	
NDT	Non Destructive Testing – nedestruktivní zkoušení	
PT	Penetrační metoda zkoušení	
pWPS	Preliminary Welding Procedure Specification Předběžná specifikace postupu svařování	
Q	Tepelný příkon při svařování	[kJ.mm ⁻²]
ReL	Minimální mez kluzu	[MPa]
Rm	Mez pevnosti	[MPa]
RT	Metoda prozařovací	
T_p	Teplota předehřevu	[°C]
U	Svařovací napětí	[V]
UT	Kontrola ultrazvukem	
v	Rychlost svařování	[mm.s ⁻¹]
VT	Vizuální kontrola	
z_l	Podélné smrštění při deformaci vlivem svařování	[mm]
z_p	Příčné smrštění při deformaci vlivem svařování	[mm]
z_u	Úhlové smrštění při deformaci vlivem svařování	[°]
α	Úhel ohybu pro zkoušku ohybem	[°]
η	Součinitel účinnosti procesu svařování	[-]

Úvod

V průběhu používání ocelí a výroby ocelových dílů a konstrukcí bylo vyvinuto mnoho inovativních postupů zdokonalování jak vlastní výroby ocelí, tak i samotných vlastností materiálů. Byly vylepšovány postupy výroby ocelí s cílem urychlení výroby, zjednodušení výroby, získání lepších mechanických nebo technologických vlastností, zlepšení čistoty ocelí z pohledu obsahu nežádoucích prvků, rovnoměrnost a jemnozrnnost struktury.

Plynulé odlévání nahrazuje odlévání oceli do kokil z důvodu rovnoměrnosti chemického složení v celém průřezu předlitku, zlepšení jakosti výrobků, větší využitelnosti oceli a především větší produktivity. Snižuje se obsah obecně negativně působících prvků. Fosfor způsobující lámavost za studena je limitován obsahem u běžných konstrukčních ocelí na hodnotu 0,03 %, síra způsobuje lámavost za červeného žáru a její obsah je proto snižován na hodnotu 0,02 %. Dalšími nežádoucími prvky jsou kyslík způsobující v oceli křehkost, dusík vytváří nitridy způsobující stárnutí oceli a zhoršení mechanických vlastností a vodík, který v oceli způsobuje snížení plasticity a vločkovitost oceli vedoucí až k trhlinám. Eliminací, respektive snížením obsahu těchto nežádoucích prvků na minimum, se zlepšují mechanické vlastnosti oceli.

Dalším způsobem zhodnocení mechanických nebo technologických vlastností ocelí je legování ocelí za účelem zlepšení tvářitelnosti, slévatelnosti, zlepšení korozních vlastností, žárupevnosti a žáruvzdornosti. Chemicko-tepelné zpracování zvyšuje mechanické vlastnosti povrchu a zásadně zvyšuje tvrdost a otěruvzdornost povrchové vrstvy. K tomuto druhu zpracování patří cementování, kalení, nitridování a nitrocementování.

Úprava vlastností je možná také žíháním ocelí. Například při homogenizačním žíhání dochází k vyrovnání nehomogenity chemického složení, žíhání normalizační se používá po předchozím tváření k obnovení a zjemnění struktury a tím ke zlepšení mechanických vlastností. Žíhání na měkko má za následek změnu lamelárního perlitu na globulární a tím dochází ke zlepšení obrobiteľnosti.

Další skupinou je kombinace tepelného zpracování. Zušlechťování je martenzitické kalení a následné popouštění za vysoké teploty. Vytvrzování je kombinací rozpouštěcího žíhání, intenzivní ochlazení k dosažení přesyceného tuhého roztoku a stárnutí při zvýšené teplotě [1].

Jednou z nekonvenčních metod zpracování ocelí zlepšujících významně pevnost a houževnatost u nízkolegovaných ocelí je kombinace tepelného a mechanického zpracování, která se začala průmyslově používat až na základě teoretických poznatků

z teorie dislokací. Touto technologií se vyrábí termomechanicky zpracované oceli (TMZ) [2].

Tato práce se zabývá porovnáním vlastností vybrané TMZ oceli s označením S355MC v základním stavu podle atestu dle EN 10204/3.1 [3] se vzorky svařenými metodou 135 (MAG), kdy jeden vzorek bude pouze svařen a druhý vzorek bude svařen a následně po svaření rovnán kyslíko-acetylenovým plamenem. Vzorek však bude nahříván nad teplotu vyšší, než je přípustné normou, aby se prokázalo, zda se výrazně změní struktura a mechanické vlastnosti takto zpracovaného materiálu. Vzhledem k vysoké ceně zkoušek nebylo možné provést porovnání změn hodnot vzorků při různých teplotách ohřevu materiálu, ale byly zvoleny pouze mezní stavy, a to nerovnáno a rovnáno při maximální teplotě do 800 °C.

1. Termomechanicky zpracované oceli (TMZ)

Při konvenčním zpracování ocelí dochází k ohřevu oceli do oblasti stabilního austenitu (austenit má kubickou plošně středěnou krystalovou mřížku vhodnou pro tváření), což je teplota v rozmezí (0,65–0,75) teploty tavení oceli. Při této teplotě probíhá vlastní tváření oceli. Během tváření při dostatečně vysoké teplotě probíhá rekrytalizace. Výsledná struktura, respektive velikost zrna, je dána rychlostí ochlazování po tváření. Pro zlepšení mechanických vlastností se po tváření doplňuje samostatné tepelné zpracování, nejčastěji normalizační žihání, případně spojené s tvářením za studena [1].

Termomechanické zpracování je řízená kombinace tváření materiálu s jeho fázovými a strukturními přeměnami. Jedná se o substituční, intersticiální a deformačně dislokační zpevnění vedoucí ke zvýšení pevnosti v důsledku zjemnění zrn a zvýšení počtu dislokací. K zachování dislokačního zpevnění a potlačení rekrytalizačních procesů musí být doba setrvání na vyšších válcovacích teplotách minimální. Oceli pro termomechanické zpracování bývají mikrolegovány do 0,15 hmotnostních %. Legování oceli je nejčastěji prvky V, Nb, Ti, Ta, Zr a Al. Cílem mikrolegování je zjemnění feritických zrn mechanismem nukleace feritu v deformačně zpevněné austenitické matici za současného snížení martenzitu/austenitu složky v případě vzniku granulárního bainitu. Řízeným válcováním lze upravit vznik a tvorbu acikulárního feritu, který zvyšuje mechanické vlastnosti. Acikulární ferit je nerovnoosý ferit, který vzniká při plynulém ochlazování skluzovým a difúzním způsobem transformace jako bainit. Jednoduše řečeno je acikulární ferit bainit s velmi nízkým obsahem

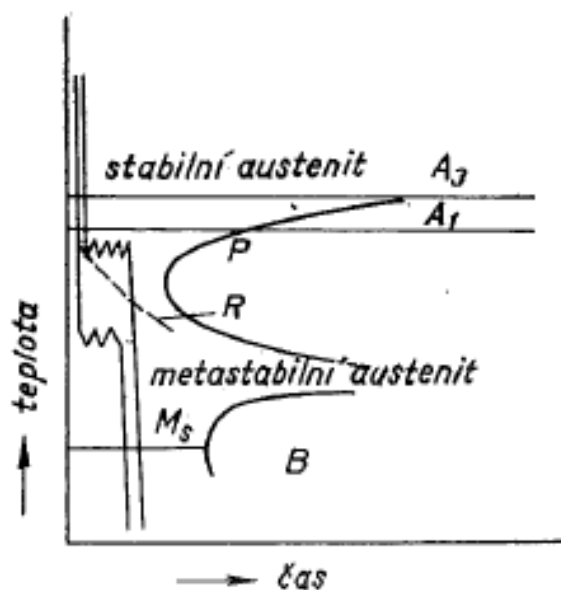
uhlíku. Výsledná jemnozrnná struktura má velmi pozitivní vliv na vznik křehkého lomu a posouvá tranzitní teplotu k nižším teplotám [1].

Termomechanické zpracování lze rozdělit z pohledu tvářecí teploty na nízkoteplotní tepelně mechanické zpracování (NTMZ) a vysokoteplotní tepelně mechanické zpracování (VTMZ).

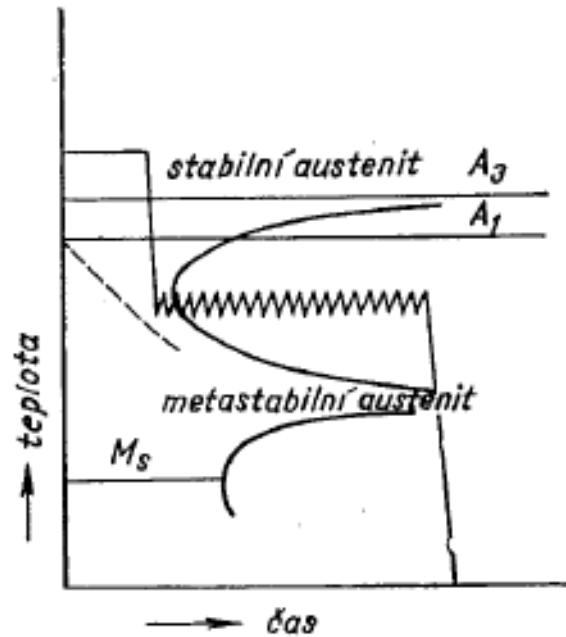
1.1 Nízkoteplotní tepelně mechanické zpracování (NTMZ)

Toto zpracování je charakteristické ohřevem do oblasti stabilního austenitu, výdrží na této teplotě a rychlým ochlazením na teploty 500–600 °C, tedy do oblasti metastabilního austenitu, kde probíhá vlastní deformace. Po ukončení deformace je ocel zakalena a popuštěna při teplotě do 200 °C. Uvedený postup tváření uskutečněný pod rekrystalizační teplotou intenzivně deformačně zpevňuje austenit a při následném kalení proběhne transformace jemného jehlicovitého martenzitu. Hlavními faktory je chemické složení oceli a velikost tvářecích sil vzhledem k nízké teplotě tváření [1] [4].

K NTMZ lze přičíst i proces nazývaný izoforming, který představuje kombinaci izotermické perlitické přeměny a deformace. Vlastní deformace se provádí před nebo i v průběhu přeměny austenitu na perlit. Výsledkem je jemný, částečně sferoidizovaný perlit s lepšími mechanickými vlastnostmi, než jaký má perlit získaný izotermickým žháním. U takto zpracovaných materiálů dochází k podstatnému zvýšení pevnosti při dostatečné plasticitě. Průběh NTMZ je na obr. 1 a izoformingu na obr. 2 [1].



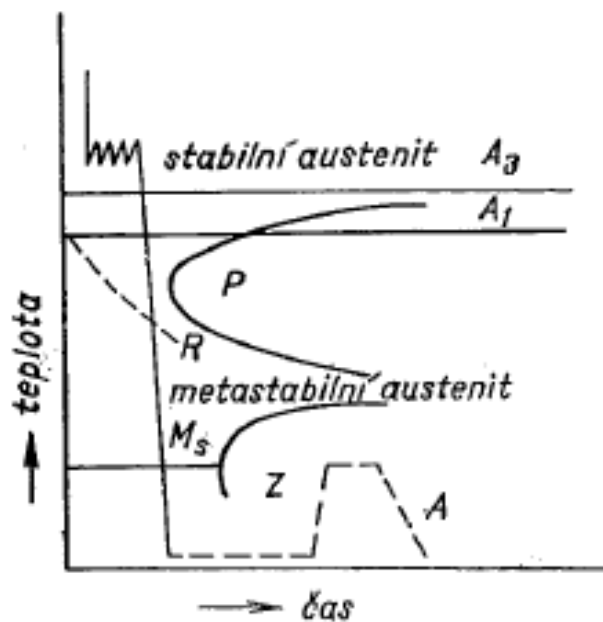
Obrázek 1 - NTMZ znázornění průběhu v diagramu IRA [1]



Obrázek 2 - Isoforming znázornění průběhu v diagramu IRA [1]

1.2 Vysokoteplotní tepelně mechanické zpracování (VTMZ)

Při tomto způsobu je tváření provedeno v oblasti stabilního austenitu, kdy je stupeň deformace 40–90 %. V silně deformované struktuře probíhá současně i rekrytalizace zjemňující austenitické zrna, které při martenzitické transformaci během kalení zjemňuje i martenzit. Po kalení následuje nízkoteplotní popouštění. Výsledkem je zvýšení plasticity a odolnosti proti stárnutí. Průběh VTMTZ je na obr. 3 [1] [4].



Obrázek 3 - VTMTZ znázornění průběhu v diagramu IRA [1]

1.3 Ocel S355MC

Pro tuto diplomovou práci byla vybrána termomechanicky zpracovaná ocel jakosti S355MC. Pro svařované vzorky byl zvolen plech síly 12 mm o rozměrech 160 × 400 mm, celkem 6 kusů pro 3 tupé spoje, jak bude popsáno dále.

Z hlediska značení ocelí dle normy ČSN EN 10027-1 [5] se jedná o:

S – ocel pro ocelové konstrukce

355 – ocel s minimální zaručenou hodnotou meze kluzu v MPa

M – termomechanicky válcovaný materiál

C – ocel s vhodností pro tváření za studena

Podle dodacích podmínek pro termomechanické oceli dle ČSN EN 10149-2 [6] způsob výroby volí výrobce oceli. Podle této normy musí být oceli plně uklidněné, jemnozrnné a musí obsahovat dostatek prvků, které vážou volný dusík. Výrobky musí být vhodné k ohýbání, ohraňování, obrubování a lemování za studena bez vzniku trhlin. Oceli uvedené v normě ČSN EN 10049-2 [6] jsou vhodné pro svařování běžně používanými postupy. S rostoucí tloušťkou a pevností výrobku se zvyšuje riziko výskytu trhlin za studena. Příčinou může být kombinace následujících činitelů: vodík, který difunduje do svarového kovu, křehká struktura tepelně ovlivněné oblasti a výrazná koncentrace tahového napětí ve svaru. Termomechanicky válcované svařitelné jemnozrnné oceli dle ČSN EN 10025-4 [7] jsou vhodné pro únavové a dynamicky namáhané svařované konstrukce zařazené podle ČSN EN 5817 [8] do skupin B a C. Tyto oceli lze po svařování žíhat za teplot do 560 °C, včetně. Chemické složení termomechanicky zpracované oceli S355MC a její mechanické vlastnosti jsou uvedeny v tab. 1 a tab. 2 [9].

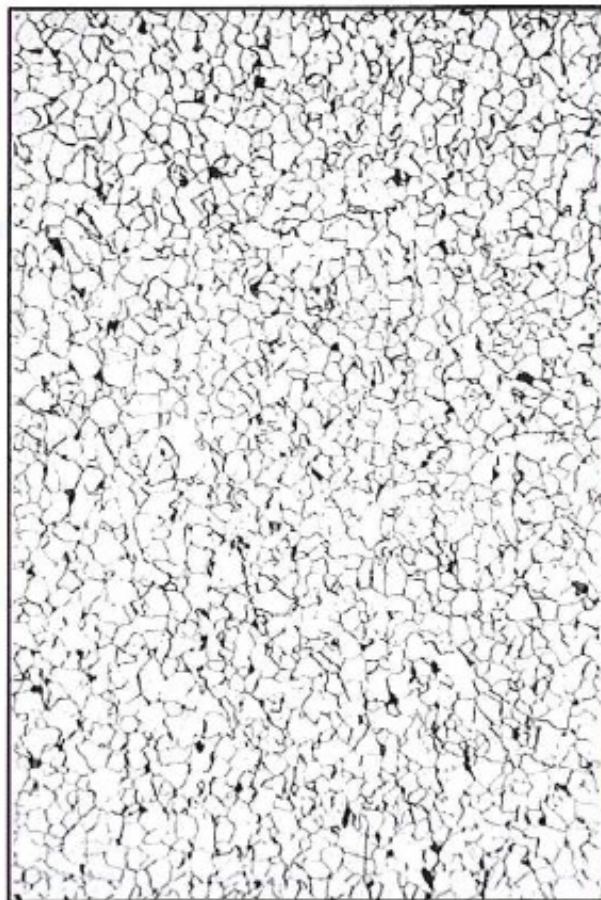
Tabulka 1 - Chemické složení oceli S355MC [3]

Značka oceli	Číselné označení	C max. [%]	Si max. [%]	Mn max. [%]	P max. [%]	S max. [%]	Al min. [%]	Nb max. [%]	V max. [%]	Ti max. [%]
S355MC	1.0976	0,12	0,5	1,5	0,025	0,02	0,015	0,09	0,2	0,15

Tabulka 2 - Mechanické vlastnosti oceli S355MC [3]

Značka oceli	Číselné označení	Minimální mez kluzu R_{eL} [MPa]	Pevnost v tahu R_m [MPa]	Minimální tažnost A [%]		Minimální průměr trnu pro úhel ohybu 180 °
				< 3	≥ 3	
S355MC	1.0976	355	430-550	19	23	0,5 tloušťky zk. tělesa

Struktura základního materiálu byla vyhodnocena při zkoušení mikrostruktury svařených zkušebních vzorků jako struktura feritická se zbytky bainitu, respektive perlitu. Výsledky těchto zkoušek budou popsány v pozdější kapitole. Mikrostruktura základního materiálu oceli S355MC je na obr. 4., který je převzatý z protokolu o zkoušení číslo P2200/19 z přílohy diplomové práce.



Obrázek 4 - Mikrostruktura základního materiálu oceli S355MC

2. Metoda svařování 135 (MAG)

Pro svařování zkušebních vzorků v experimentální části práce byla zvolena metoda 135 (MAG) z toho důvodu, že se jedná o jednu z nepoužívanějších metod svařování.

Podle normy ČSN EN ISO 4063 [10] lze metodu 135 (MAG) definovat jako:

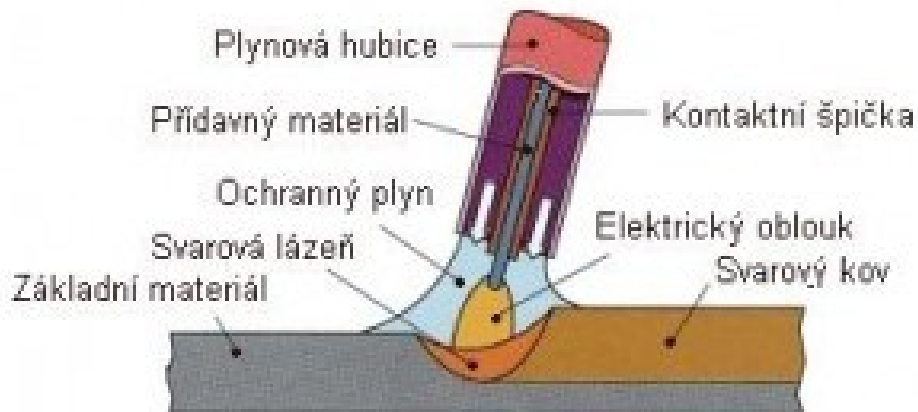
- 1 – obloukové svařování
- 13 – obloukové svařování tavící se elektrodou v ochranném plynu
- 135 – obloukové svařování tavící se elektrodou v aktivním plynu

Principem metody 135 (MAG – Metal Active Gas) je hoření elektrického oblouku mezi nekonečnou drátovou elektrodou a základním materiálem. Vzniklá tavná lázeň je chráněna atmosférou tvořenou aktivním plynem nebo kombinací plynů, které reagují s roztaveným kovem tavné lázně [2] [11].

Teplota kapek při metodě 135 (MAG) je 1700–2500 °C, teplota tavné lázně 1600–2100 °C. Díky vysokým hodnotám svařovacího proudu se svařovací rychlost blíží 150 cm.min⁻¹ a rychlost kapek přenášených obloukem do svarové lázně přesahuje 130 m.s⁻¹. Díky těmto vysokým svařovacím parametrům je možno dosahovat hodnot výkonu navařeného kovu až 25 kg.h⁻¹ [2] [11].

Tato metoda je jednou z nejrozšířenějších metod z důvodu její možnosti použití pro většinu druhů svařovaných materiálů a možnosti její mechanizace a robotizace. Metoda umožňuje svařování uhlíkových a nízkolegovaných ocelí, feritických ocelí a ocelí vysokolegovaných. Je zde možnost svařování tenkých plechů od tloušťky 0,5 mm, možnost svařování ve všech polohách s výborným sledováním a kontroly svarové lázně s vysokou efektivitou svařování, minimální tvorbou strusky a rozstříku, malou tepelně ovlivněnou oblastí (TOO), velkou hloubkou závaru a dobrým profilem svaru.

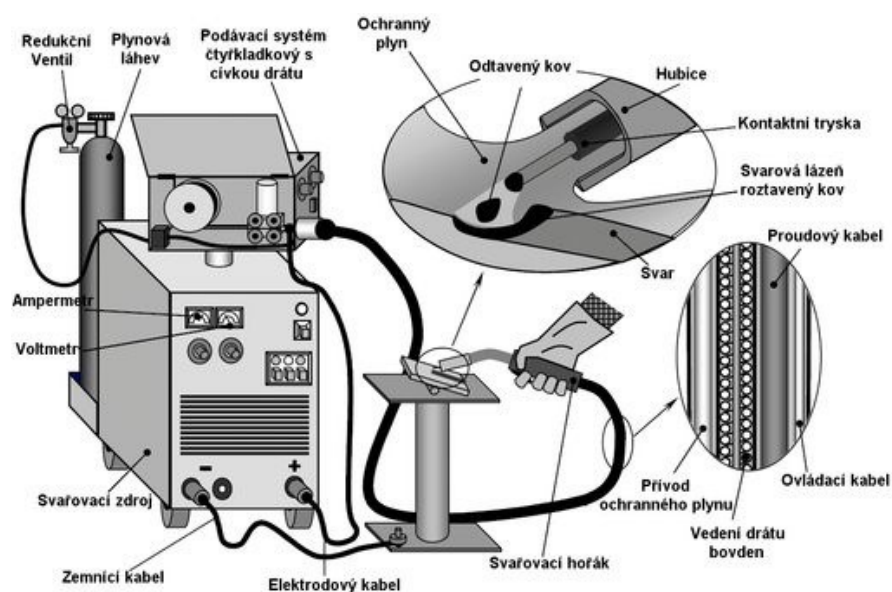
Touto metodou lze svařovat při ručním vedení hořáku vpřed i vzad. Kořenová vrstva se svařuje metodou přímého vedení svařovacího hořáku, výplňové a krycí vrstvy lze svařovat s příčným nebo podélným rozkyvem hořáku [2] [11] [14].



Obrázek 5 - Princip metody 135 (MAG) [12]

2.1 Zařízení pro svařování metodou 135 (MAG)

Na trhu je v současné době široký sortiment zařízení pro svařování metodou 135 (MAG), ať už v podobě kompaktní pro nižší svařovací rozsahy až po vysokovýkonné synergické zdroje. Z hlediska funkčnosti mohou být zdroje monofunkční nebo multifunkční, které umožňují i svařování metodou WIG. Schéma zařízení pro svařování je na obr. 6.



Obrázek 6 - Schéma zařízení pro svařování metodou 135 (MAG) [13]

2.1.1 Zdroje pro svařování metodou 135 (MAG)

Pro tuto metodu svařování se používají převážně inventory s různým výkonem a s plochou statickou charakteristikou s konstantním napětím, která je založena na samoregulační schopnosti udržování konstantní délky oblouku. Tato regulace spočívá ve výrazné změně proudu při relativně malé změně délky oblouku a tím i napětí na oblouku. Tato schopnost je možná pouze při konstantní rychlosti podávání svařovacího drátu [2] [11].

Podle typu provedení rozdělujeme zdroje:

- **Kompaktní** – s integrovaným podavačem drátu umístěným ve společném tělese skříně se zdrojem. Toto uspořádání je vhodné pro zdroje s nízkým výkonem do cca 300 A a při chlazení hořáku proudícím plynem.
- **Výkonné zdroje s chladicí jednotkou ve společné skříně se zdrojem** s odděleným podavačem. Pro výkony do 500 A.
- **Stavebnicové uspořádání s odděleným podavačem drátu** s uložením na pojízdném podvozku pro snadnou mobilitu a s konzolou na ustavení láhve s ochranným plynem. Sestava bývá složena ze zdroje, podavače svařovacího drátu a chladicí jednotky (u výkonnějších typů) spojených propojovacím kabelem v délkách 1,5/6/10 m.

2.1.2 Podavače svařovacího drátu

Slouží k dodávání nekonečného svařovacího drátu pomocí posuvných kladek vodící drátovou nebo teflonovou trubičkou do hořáku a následně do místa svaru. Podávání drátu musí být plynulé, bez deformací a poškození povrchu. Podávací mechanismus je tvořen pohonem s posuvem jednokladkovým, dvoukladkovým nebo čtyřkladkovým. Posuvné kladky mohou mít různý typ drážky podle materiálu podávaného svařovacího drátu – tzv. V drážka, drážka polokulatá hladká nebo drážka polokulatá drážkovaná [2] [11].

2.1.3 Svařovací hořák

Umožňuje přívod svařovacího drátu z podavače do místa svaru, napájí drát svařovacím proudem a vede ochranný plyn do místa svaru. Hořáky pro větší výkony bývají chlazeny

chladícím médiem pomocí uzavřeného okruhu, hořáky pro nižší výkony bývají chlazeny prouděním ochranného plynu [2] [11] [14].

Svařovací drát je veden pružnou vodící drátovou nebo teflonovou trubičkou, kterou ukončuje výměnný průvlek, který napájí svařovací drát svařovacím proudem v místě výstupu z hubice. Výrobní otvor v průvleku je větší o 0,2 mm, než je průměr svařovacího drátu. Průchodem svařovacího drátu dochází k opotřebení a ke zvětšení otvoru, čímž dochází k horšímu přenosu svařovacího proudu a vychylování svařovacího drátu z určeného směru svařování a vede k výměně průvleku [2] [11] [14].

Plynová tryska na výstupu hubice směřuje proud ochranného plynu do místa svarové lázně v dostatečné míře pro efektivní ochranu.

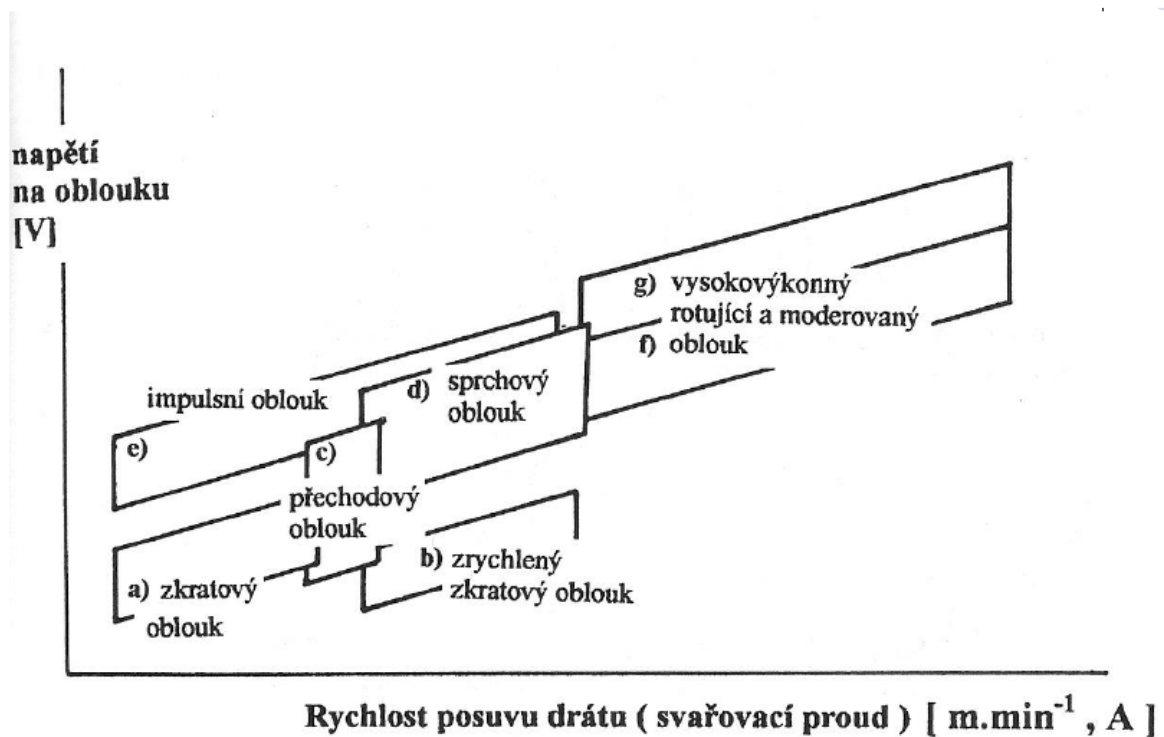
Spouštění svařovacího proudu je zajištěno spínačem na rukojeti svařovacího hořáku a jeho řízení může být v režimu:

- **Dvoutaktním** – současně se stiskem spínače se spustí předfuk ochranného plynu a zapíná se posuv drátu a svařovací proud. Pokud je spínač stisknutý probíhá svařování, podávání drátu a přívod ochranného plynu. Po uvolnění spínače dojde k přerušování podávání drátu, vypnutí svařovacího proudu a po chvíli i dofuku ochranného plynu [2] [11] [14].
- **Čtyřtaktním** – kdy prvním stisknutím spínače (první takt) je aktivován předfuk ochranného plynu, po uvolnění spínače (druhý takt) je zapnuto podávání drátu a svařovací proud a nastává proces svařování, kdy svářeč nemusí držet spínač stisknutý. Opětovným stiskem vypínače (třetí takt) dochází k vypnutí posuvu drátu a svařovacího proudu a uvolněním vypínače (čtvrtý takt) dochází k dofuku a vypnutí ochranného plynu. Tento režim je výhodný pro svařování dlouhých svarů [2] [11] [14].
- **Speciálním čtyřtaktním** – kdy je využíván princip řízeného nárůstu svařovacího proudu při startu svařování a řízené snižování svařovacího proudu při ukončování svařování s vyplněním koncového kráteru [2].

2.2 Přenos kovu v oblouku

Při svařování metodou 135 (MAG) dochází vlivem svařovacích parametrů (proudu a napětí) k přenosu kovu z tavicí se elektrody na základní materiál. Tento přenos je podstatně ovlivňován ochranným plynem, respektive jeho složením, jakostí přídavného svařovacího drátu a jakostí základního materiálu.

Základní typy přenosů kovu jsou znázorněny na obr. 7.



Obrázek 7 - Oblasti přenosu kovu při svařování [15]

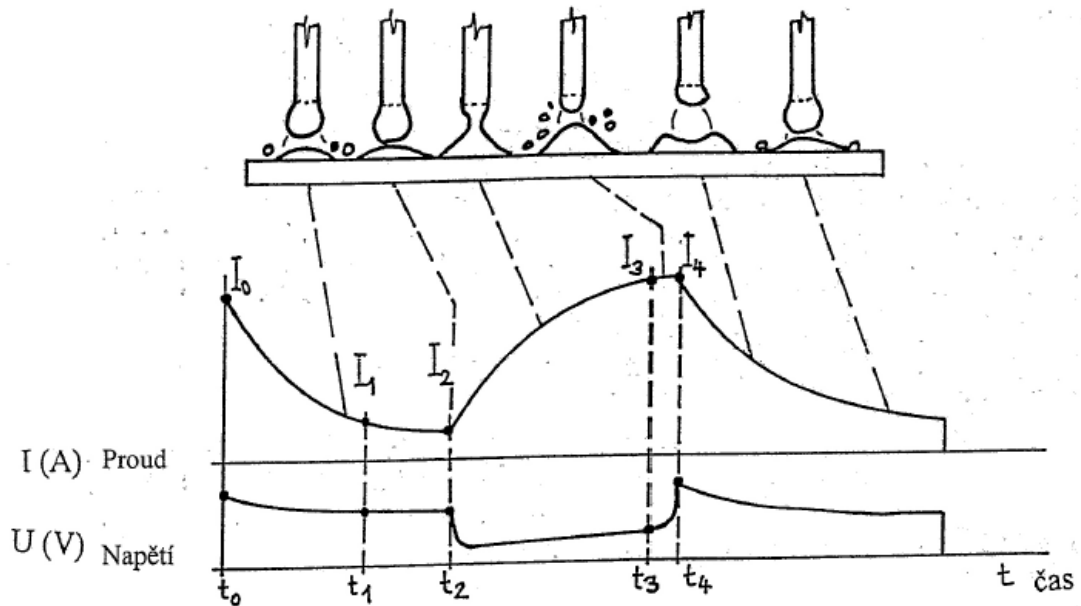
2.2.1 Krátký oblouk se zkratovým přenosem kovu

Zkratový oblouk je charakteristický rozsahem svařovacího proudu 60–180 A s napětím 14–22 V. Výkon navařeného kovu pro tento rozsah je 1–3 $\text{kg}\cdot\text{hod}^{-1}$ [11].

Při tomto způsobu přenosu kovu dochází k přerušování oblouku zkratem, při kterém se oddělují části drátové svařovací elektrody ve formě kapek. Při nízkých proudech a vysokém napětí je frekvence kapek malá s velkým rozstříkem kovu.

Pro zkratový proces jsou podmínkou dynamické vlastnosti zdroje, které umožňují proudovou špičku vhodné velikosti. Tento přenos je použitelný ve všech ochranných plynech.

Použití zkratového oblouku se uplatňuje při svařování tenkých plechů, kořenových vrstev tupých svarů, svařování v polohách a při svařování vysokolegovaných ocelí. Jeho průběh je znázorněn na obr. 8 [2].



Obrázek 8 - Průběh napětí a proudu při zkratovém přenosu [2]

2.2.2 Krátký oblouk se zrychleným zkratovým přenosem

Při tomto způsobu přenosu je napětí v rozsahu 14–25 V, tedy v rozmezí hodnot odpovídajících zkratovému přenosu, ale velikost proudu a rychlost podávání svařovacího drátu se pohybuje v oblasti sprchového přenosu, to je v oblasti svařovacího proudu větší než 200 A.

Při svařování je drát tlačěn do oblasti svaru vysokou podávací rychlostí a vysoká frekvence zkratů neumožňuje tvorbu velkých kapek. Odporovým teplem při dlouhém výletu drátu (20–30 mm) a vysokým proudem je konec drátu dostatečně přehřátý a za působení elektromagnetických sil oddělený ve svarové lázni.

Výkon navařeného kovu je vyšší než u standardního zkratového přenosu a je v rozmezí 3–10 kg.hod⁻¹ [2] [11].

Tímto přenosem kovu je možno svařovat tenké plechy s tloušťkou nad 1 mm vysokou rychlostí, kořenové vrstvy tupých spojů a svary v polohách. Vhodným ochranným plynem je směs Ar + 8 % CO₂ a plyn je nutno dodávat s vyšším průtokem 20–30 l.min⁻¹ [2] [11].

2.2.3 Přechodový oblouk

Svařovací parametry tohoto přenosu se pohybují v rozmezí 22–28 V pro napětí a 190–300 A pro svařovací proud. Působením vysokého svařovacího proudu se konec elektrody nataví do velké kapky, která je vyosena z osy drátu vlivem působení par ochranného plynu a velkou silou je vržena do svarové lázně. Frekvence tvorby kapek je malá 5–40 kapek za sekundu, viz obr. 9.

Tento přenos se nedoporučuje používat z důvodu hrubé svarové housenky a velkému rozstříku kapek [2] [11].



Obrázek 9 - Přechodový oblouk [2]

2.2.4 Impulsní bezzkratový přenos

Hodnoty svařovacího proudu a napětí impulsního přenosu překrývají oblasti zkratového i sprchového přenosu. Průběh přenosu má pravidelný cyklus, který je daný frekvencí amplitudy impulsního proudu a jeho tvar může být pravoúhlý, oblý nebo jinak řízeně tvarovaný (u moderních zdrojů). Nastavení šířky impulsu a frekvence je dáno vztahem (2.1) [11]:

$$f = 1/T_p \quad (2.1)$$

kde f je frekvence [Hz]
 T_p je doba trvání impulsu [s]

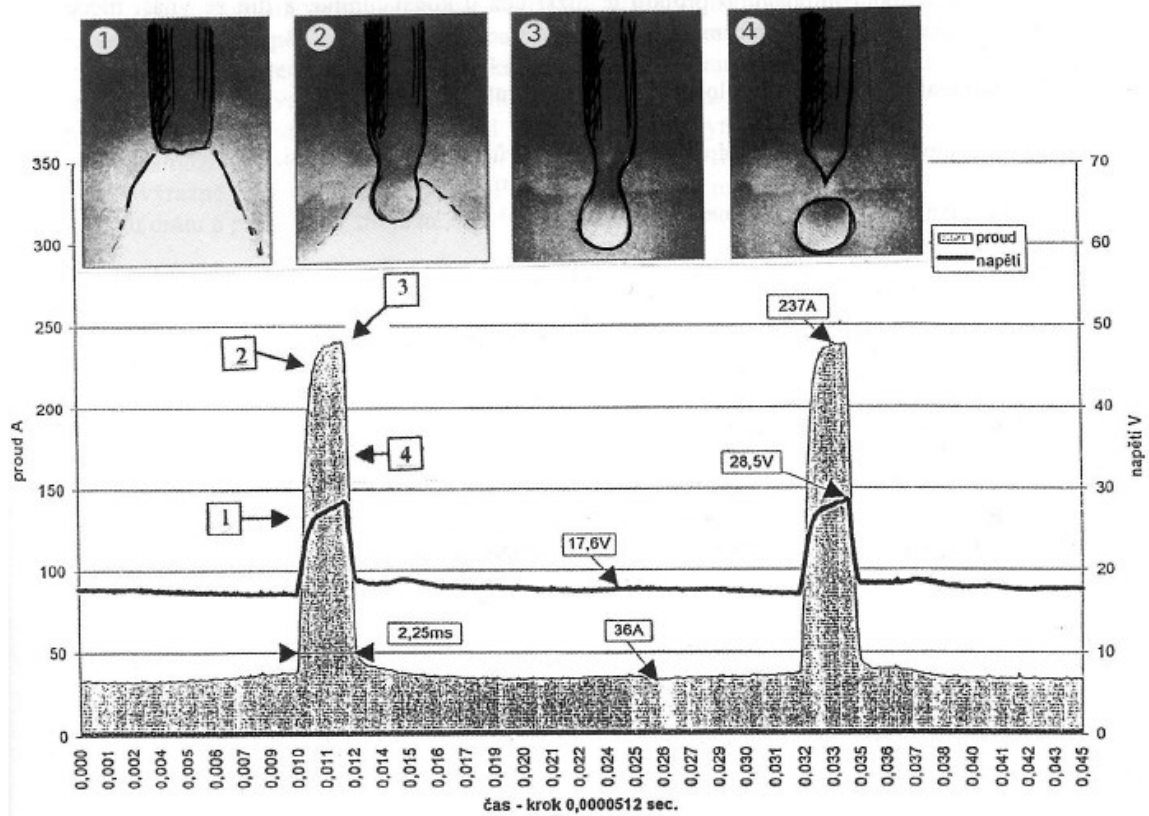
Frekvence impulsů se pohybuje mezi 25–500 Hz, výjimečně až 1 kHz.

Základní proud je nízký mezi 20–50 A pro vznik a ionizaci sloupce oblouku, který zahřívá svarovou lázeň i svařovací drát. Řízený impulsní proud je časově i tvarově řízený a v konečné fázi jeho amplitudy dochází k odtavení kapky přídavného materiálu. Oblouk hoří v průběhu celé amplitudy. Průběh impulsního přenosu je na obr. 10 [2] [11].

Výhodou tohoto přenosu je:

- nižší vnesené teplo do svarové lázně,
- možnost svařování svarů v polohách,
- možnost svařování tenkých materiálů,
- pravidelná a jemná kresba svarové housenky,
- výkon navařeného kovu 2–5 kg.h⁻¹,
- možnost svařování vysokolegovaných ocelí, hliníku a hliníkových slitin.

Ochranný plyn pro tento přenos je směs Ar + (8–20) % CO₂ pro uhlíkové oceli a Ar + (2–5) % O₂ pro vysokolegované oceli. Pro svařování hliníku se používá čistý Ar [2] [11].



Obrázek 10 - Impulsní forma přenosu oblouku [2]

2.2.5 Sprchový bezkratový přenos

Je realizován při napětí 28–40 V a svařovacím proudem 200–500 A ve směsi ochranného plynu Ar + CO₂, případně Ar + O₂ s minimálním obsahem argonu 80 %. Argon obsažený v ochranném plynu zajišťuje výbornou ionizaci a společně s vysokými hodnotami svařovacího proudu se vytváří plazma, která ohřívá konec tavícího se svařovacího drátu. Tvořící se drobné kapky jsou urychlovány vlivem magnetického pole vysokou frekvencí 150–350 Hz směrem do svarové lázně. Oblouk hoří celou svařovací periodu, tím je do svaru vnášeno velké množství tepla, které způsobuje velkou hloubku závaru s vysokým výkonem navařeného materiálu 3–12 kg.h⁻¹. Povrch svarové housenky je hladký s jemnou kresbou a plynulým přechodem do základního materiálu.

Tento typ přenosu se využívá pro výplňové a krycí vrstvy svarů větších tloušťek a většinou v poloze vodorovné shora vzhledem k velkému objemu svarové lázně, viz obr. 11 [2] [11].



Obrázek 11 - Sprchový přenos [11]

2.2.6 Moderovaný bezzkratový přenos

Probíhá při vysokých proudech 450–750 A při napětí 40–50 V a vysoké rychlosti podávání svařovacího drátu 20–45 m.min⁻¹. Při tomto přenosu je dosahováno odtavení až 25 kg.h⁻¹. Ochranou je směs plynů Ar + 8 % CO₂ při průtoku 18–25 l.min⁻¹ [2] [11].

Při přenosu jsou vysokou frekvencí odtavovány velké kapky o velikosti průměru svařovacího drátu a ty jsou vysokou rychlostí unášeny do tavné lázně, která je plazmou oblouku a velkým vneseným teplem unášených kapek formována do hlubokého a úzkého závaru [2] [11].

2.2.7 Dlouhý oblouk s rotujícím přenosem kovu

Oproti předešlému moderovanému přenosu je u tohoto způsobu zvýšeno napětí až na 65 V a volná délka elektrody je vysunuta minimálně 20 mm. Vysokou intenzitou svařovacího proudu a velkým vysunutím drátu je tento drát odporově ohříván téměř na teplotu tavení a následně vlivem silného magnetického pole je tento plastizovaný konec drátu roztáčen. Při tom dochází k odtavování konce drátu a při rotaci je kombinací rotace a odtavování vytvářena kuželová plocha, viz obr. 12. Vlivem vysoké teploty a širokého

rozsahu rotující části je vytvářen velký závar, nejen do šířky, ale i do hloubky. Výsledný závar má miskovitý tvar. Při tomto přenosu je vysoký výkon odtavení až $25 \text{ kg}\cdot\text{h}^{-1}$ [2] [11].



Obrázek 12 - Rotující přenos [11]

2.3 Ochranné plyny

Primárním úkolem ochranných plynů je zamezit styku okolní atmosféry s tavnou lázní a tím ji ovlivnit působením plynů – především kyslíku, dusíku a vodíku. Tyto plyny způsobují oxidaci, nitridaci a trhliny svarového kovu a tím znehodnocují jeho mechanické vlastnosti [2] [11]. Další neméně důležité vlastnosti ochranných plynů jsou:

- zjednodušení zapálení oblouku,
- stabilita hoření oblouku,
- vlastní průběh svařovacího procesu,
- přenos svarového kovu,
- tvorba a velikost svarové lázně,
- hloubka průvaru,
- vzhled a kresba svaru,
- rychlost svařování,
- velikost rozstříku.

Čisté plyny jako argon (Ar), helium (He) se používají pro metody svařování MIG nebo WIG. Pro metodu 135 (MAG) se jako čistý ochranný plyn používá oxid uhličitý (CO₂) [2] [11]. V praxi je většinou používáno směsných ochranných plynů, kde hlavní složkou je:

- Ar + CO₂
- Ar + CO₂ + O₂
- Ar + He + CO₂ + O₂

2.3.1 Oxid uhličitý (CO₂)

Nehořlavý, nejedovatý, bezbarvý plyn těžší než vzduch s vysokou tepelnou vodivostí a vysokým přenosem tepla do svarové lázně zajišťující velmi dobré natavení svarových hran, hluboký průvar a dobré odplynění svarové lázně. Pro svařování se používá plyn o minimální čistotě 99,5 % [2] [11].

CO₂ způsobuje vysoké povrchové napětí na roztaveném konci elektrody, které se snaží udržet kapky na elektrodě. Až teprve vlivem narůstajícího objemu kapky o poloměru až 0,8 mm dojde k odtržení. Při dopadu tyto kapky nataví základní materiál a pokud nejsou součástí svaru, ale jedná se o rozstřík, je tento obtížně odstranitelný a jeho odstranění zvyšují pracnost výroby [2] [11].

Výhody použití:

- velký závar,
- dobré mechanické vlastnosti svarového kovu,
- malá tekutost svarového kovu a nízké povrchové napětí,
- vysoká tepelná vodivost,
- nízký ionizační potenciál,
- nízká cena.

Nevýhody použití:

- velký a obtížně odstranitelný rozstřík,
- nestabilní oblouk,
- nemožnost sprchového přenosu kovu,
- oxidace svarového kovu,
- nauhličení rizikových ocelí,
- nevhodnost použití pro oceli a slitiny s kontrolovaným obsahem C, Al, Zr, Ti, V, Si, Mn, Nb.

2.3.2 Kyslík O₂

Nehořlavý, ale hoření podporující plyn těžší než vzduch. V kombinaci s jinými plyny jsou využívány jeho příznivé aspekty [2] [11].

Výhody použití:

- disociační energie zvyšuje závar a tekutost svarového kovu,
- plochý povrch svaru,
- dobrý boční závar,
- možnost sprchového přenosu svaru.

Nevýhody použití:

- tvorba oxidů a plynových vměstků,
- nevhodný pro kovy citlivé na kyslík (hliník, titan a jejich slitiny).

2.3.3 Argon (Ar)

Vzácný, bezbarvý nehořlavý jednoatomový plyn těžší než vzduch. Jeho použitelnost jako ochranný plyn je možno shrnout následně [2] [11]:

Výhody použití:

- vysoká hustota,
- snadné zapalování oblouku a jeho dobrá stabilita,
- podporuje sprchový přenos kovu,
- dobrá ovladatelnost impulzního oblouku,
- nízký ionizační potenciál,
- malý rozstřík při svařování,
- hluboký závar.

Nevýhody použití:

- malý přenos tepla,
- možnost vzniku vad ze strany kořene,
- možnost vzniku plynových vměstků při svařování velkých tlouštěk,
- intenzivně zářící oblouk vyžaduje dobrou ochranu zraku svářeče.

2.3.4 Helium (He)

Jedná se o jednoatomový inertní plyn bez barvy a zápachu. Je lehčí než vzduch, tím se snižuje jeho účinnost a je nutno zajistit vyšší průtok plynu pro dokonalou ochranu. Helium má vyšší tepelnou vodivost než argon i vyšší ionizační potenciál. Z tohoto důvodu se oblouk špatně zapaluje, je nestabilní při větší délce hoření a napětí na oblouku je vyšší než u argonu. Přenos tepla v oblouku je velmi vysoký, a proto se tento plyn používá pro svařování materiálů s vysokou tepelnou vodivostí větších tlouštěk (Al, Cu a jejich slitiny). Použití helia ve směsi s argonem zaručuje větší hloubku závaru a větší rychlost svařování [2] [11].

2.4 Kombinace směsných plynů pro metodu 135 (MAG)

Pro metodu 135 (MAG) se používají kombinace výše uvedených plynů a využívají se jejich pozitivní vlastnosti, které se kombinují v přesně definovaných obsazích jednotlivých složek plynné ochranné směsi. Jejich hlavní představitelé jsou:

2.4.1 Směsný plyn Ar + (15–25) % CO₂

Tato směs plynů je vhodná pro svařování nelegovaných a nízkolegovaných ocelí. Za univerzální pro svařování materiálů této kategorie je plyn 82% Ar + 18 % CO₂. Svary zhotovené v této ochranné atmosféře se vykazují hlubokým závarem, dobrým přechodem svarového kovu do základního materiálu a malým rozstříkem. Svařování je umožněno zkratovým i impulzním přenosem se stabilním obloukem [2] [11].

2.4.2 Směsný plyn 92 % Ar + 8 % CO₂

Ochranný plyn tohoto složení je vhodný pro impulzní a sprchový přenos. Je vhodný i pro vysokovýkonné metody při svařování vysokými proudy a vyznačuje se vysokou rychlostí svařování, plochým svarem, malým rozstříkem a minimální tvorbou strusky. Jeho využití je vhodné pro ruční i mechanizované svařování [2] [11].

2.4.3 Směsný plyn Ar + (5-13) % CO₂ + 5 % O₂

Při svařování touto směsí ochranných plynů je výsledkem hladký, čistý svar, kdy přítomnost kyslíku zajišťuje vyšší tekutost svarové lázně a dobré odplynění. Umožňuje i svařování sprchovým přenosem při nižší intenzitě svařovacího proudu. Této ochrany je využíváno především při mechanizovaném, nebo robotizovaném způsobu svařování [2] [11].

2.5 Přídavné svařovací materiály pro metodu 135 (MAG)

Přídavný svařovací materiál pro metodu 135 (MAG) je ve formě plného drátu, který je navinutý nejčastěji na drátěné nebo plastové cívce o hmotnosti cca 15 kg. Pro robotizovaná pracoviště se vyrábí velkoobjemové pakety o hmotnosti až 200 kg. Svařovací dráty se vyrábí o průměrech: 0,6; 0,8; 1,0; 1,2; 1,6; 2,0; 2,4 mm.

Sortiment svařovacích drátů je veliký, protože tato metoda je jednou z nejrozšířenějších svařovacích metod a touto metodou se svařují oceli nelegované, středně i vysoce legované. Rovněž lze touto metodou i navařovat materiál při opravách a při navařování speciálních vrstev, například otěruvzdorných [2] [11].

Každý svařovací drát musí být označen:

- značkou výrobce,
- označením drátu dle výrobce a dle příslušné normy použití,
- průměrem drátu,
- hmotností balení,
- číslem tavby.

Svařovací drát použitý pro experimentální část je svařovací drát pro svařování nelegovaných ocelí, viz. příloha A – atest DIN EN 10204/3.1 [3]. Svařovací drát má mechanické hodnoty podobné základnímu materiálu.

Výrobce: WDI GmbH

Označení: WEKO 4, G 46 5 M 4Si1 EN ISO 14341

Průměr drátu: 1,2 mm

3. Napětí a deformace při svařovacím procesu

Při svařování ocelových konstrukcí dochází vlivem místního nerovnoměrného ohřátí materiálu ke vzniku napětí a deformací v tepelně ovlivněné oblasti. Tyto napětí a deformace vznikají u každého procesu svařování. Napětím ani deformacím svařovaných konstrukcí nelze zabránit, ale lze je snížit buď konstrukčními úpravami nebo technologickými úpravami [16].

3.1 Deformace způsobené svařovacím procesem

Napětí, která vznikají při procesu tavného svařování, způsobují vznik deformací svařovaných dílů. Tyto deformace lze rozdělit z několika hledisek [16]:

- **Podle oblasti působení:**
 - **Vnitřní** – projevující se v jednotlivých vláknech nebo objemech průřezu.
 - **Vnější** – vyjadřují je geometrické změny a změny rozměrů.
 - **Elementární** – způsobuje deformaci svarového spoje.
 - **Lokální** – působí jen v určité části svařence a nemá vliv na celkovou deformaci svařence.
 - **Celkové** – projevuje se změnou tvaru a rozměru celé svařované konstrukce nebo dílu
- **Podle doby existence:**
 - **Přechodné** – vznikají s příčinou jejich vzniku a při ukončení příčiny zanikají.
 - **Zbytkové** – zůstávají ve svařované součásti i po ukončeném svařovacím procesu.
- **Podle stálosti:**
 - **Elastické** – způsobující napětěový stav, kdy napětí nepřesáhne mez pružnosti a po vymizení působící síly se těleso vrátí do původního stavu.
 - **Plastické** – působící napětí překročí mez kluzu a změna je trvalá bez dalšího působícího napětí.
 - **Elasticko-plastické** – působící napětí překročilo mez kluzu a v tělese zůstává zbytkové napětí.

3.2 Elementární deformace svarového spoje

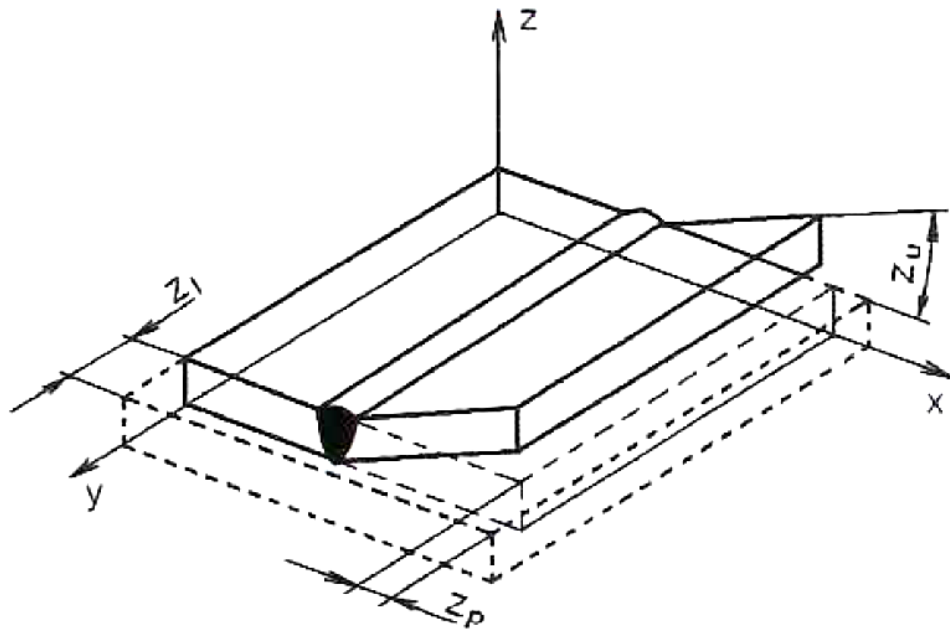
Jedná se o zbytkové deformace, které vznikají při tuhnutí svaru a s tím spojené smršťování kovu ve všech směrech.

Tato deformace se skládá ze tří druhů smrštění, viz obr. 13:

z_p – příčné smrštění

z_l – podélné smrštění

z_u – úhlové smrštění



Obrázek 13 - Elementární deformace svarového spoje [16]

3.2.1 Příčné smrštění z_p

Jak je z obr. 13 patrné, jedná se o deformaci, která je kolmá na podélnou osu svaru. Jeho velikost závisí na:

- metodě svařování,
- způsobu svařování,
- profilu svaru a jeho délce,
- tloušťce svařovaného materiálu,
- tuhosti svařence.

Velikost příčné deformace je u tupých svarů větší než u koutových z důvodu menšího objemu nataveného základního materiálu. U tupých svarů je deformace nejmenší u symetrického X svaru, naopak největší je u jednostranného V svaru s maximálním úhlem rozevření.

U koutových svarů je příčná deformace při poměru velikosti svaru a tloušťky plechu vyšší s rostoucí tloušťkou plechu [16].

3.2.2 Podélné smrštění z_1

Je deformace, které vzniká u svařovaného dílu ve směru osy svařování. Velikost této deformace závisí na:

- metodě svařování,
- tuhosti dílu ve směru svařování,
- vyplňování profilu svaru.

Podélné smrštění může vyvolat i prostorové deformace svařovaných dílů. Způsob deformace záleží na poloze působící síly vzhledem k těžišti průřezu nosníku [16].

3.2.3 Úhlová deformace z_u

Představuje zvláštní druh příčné deformace, kdy se jedná o odchýlení roviny jedné desky od původní roviny druhé desky vlivem svařování. Je obvyklá u nesymetrických svarů a svarů vyplňovaných na více vrstev a její velikost závisí na úhlu rozevření svaru, počtu výplňových vrstev svarů a na způsobu kladení těchto vrstev. Při porovnání svařování stejné tloušťky materiálu deformace roste s počtem výplňových vrstev.

U koutových svarů jsou úhlové deformace závislé na poměru velikosti svaru a svařované tloušťce materiálu. Při stejném poměru velikosti svaru a tloušťky plechu se s rostoucí tloušťkou plechu zvyšuje úhlová deformace [16].

3.3 Snižování svarových napětí a deformací

Napětí vznikající při svařování jsou zdrojem deformací a každé opatření ovlivňující svarová napětí mají bezprostřední vliv na deformace. Oceli určené ke svařování ocelových konstrukcí mají dostatečnou rezervu plasticity. Opatření týkající se snížení deformací mají za cíl snížení nákladů na dodatečné rovnání nebo opracování. Tato opatření mají konstrukční nebo technologický charakter jako například [16]:

- volba svařovací metody a postupu svařování,
- volba svařovacích parametrů,
- teplotní režim během svařování,
- teplotní režim po svařování (volba žíhání),
- výběr základního a přídavného svařovacího materiálu,
- tloušťka základního materiálu,
- umístění, velikost, druh a počet svarů,
- konstrukční řešení ocelové konstrukce a svarových spojů.

Snížení příčných deformací [16]:

- vnější tuhé upnutí,
- zmenšení průřezu svaru,
- svařování s malým tepelným příkonem,
- vhodné stehování.

Snížení podélných deformací [16]:

- svařování s menším tepelným příkonem,
- vyplnění průřezu svaru větším počtem svarových housenek menšího průřezu,
- svařování s malým závarem,
- vyplnění svarového úkosu vhodným způsobem (střídavě vratný krok, přestávka mezi svary atd.).

Snížení úhlových deformací [16]:

- vnějším tuhým upnutím,
- vyplněním průřezu svaru co nejmenším počtem svarových housenek,
- vhodnou volbou svařovacího režimu (střídavě vratný krok),
- vhodným sestavením dílu před svařováním,
- předběžnou deformací svařovaného dílu před svařením opačného směru, než bude výsledná deformace.

4. Rovnění svařovaných dílů po svařování

Deformace vznikající při procesu svařování popsaná v předchozí kapitole lze snížit konstrukčními a technologickými úpravami, ale nelze je zcela vyloučit. Proto je následující operací po svařování rovnání. Toto rovnání může být provedeno s ohledem na základní materiál:

- pomocí mechanické energie – rovnání za studena,
- pomocí tepelné energie – rovnání za tepla,
- kombinací obou předchozích metod.

4.1 Rovnění pomocí mechanické energie

Provádí se pomocí mechanických, hydraulických lisů a přípravků u dílů, u kterých je to konstrukčně i rozměrově možné. Dále se tato metoda provádí u materiálů, které nelze rovnat pomocí rovnání za tepla, kdy by vnesené teplo degradovalo základní materiál. Jedná se o materiály termomechanicky zpracované, zušlechtěné a kalené. Tato metoda rovnání je limitována velikostí a členitostí svařence a rovnací silou. Výsledek rovnání není vždy v toleranci podle požadované normy [16].

4.2 Rovnění pomocí tepelné energie

Nejrozšířenější metoda rovnání ocelových konstrukcí vyráběných svařováním. Vhodná pro nízkouhlíkové oceli, případně pro vybrané legované oceli, kdy vzniklé deformace nelze jinou metodou odstranit či alespoň snížit na únosnou mez a nedojde k degradaci vlastností rovnaného materiálu vlivem vnesené tepelné energie.

Nevýhodou je nutnost vnesení tepla do materiálu a jeho možná degradace vlivem změny struktury (zhrubnutí zrna), kontrola maximální teploty ohřevu pomocí vhodných zařízení (např. dotykový teploměr). Možnost odhadu ohřevu oceli podle zabarvení oceli je ryze orientační a závisí na zkušenostech pracovníka zabývajícího se rovnáním, ale není dostatečně přesné pro oceli citlivé na přehřátí. Zde musí být použito měření teploměry, ať už bezdotykovými nebo dotykovými [16].

4.2.1 Rovnění kyslíko-acetylenovým plamenem

Tato metoda rovnění je nejběžnějším způsobem rovnění a je použita i v experimentální části práce. Metoda spočívá v lokálním ohřevu deformované části konstrukce a z toho pramenícího rozdílného součinitele teplotní roztažnosti deformované části ocelové konstrukce. Následuje volné ochlazení na vzduchu. V případě velké deformace lze ohřev provést opakovaně [16].

Teplota ohřevu materiálu při rovnění plamenem by neměla překročit hodnoty dle tab. 3, jinak hrozí hrubnutí zrna v TOO a degradace mechanických vlastností materiálu.

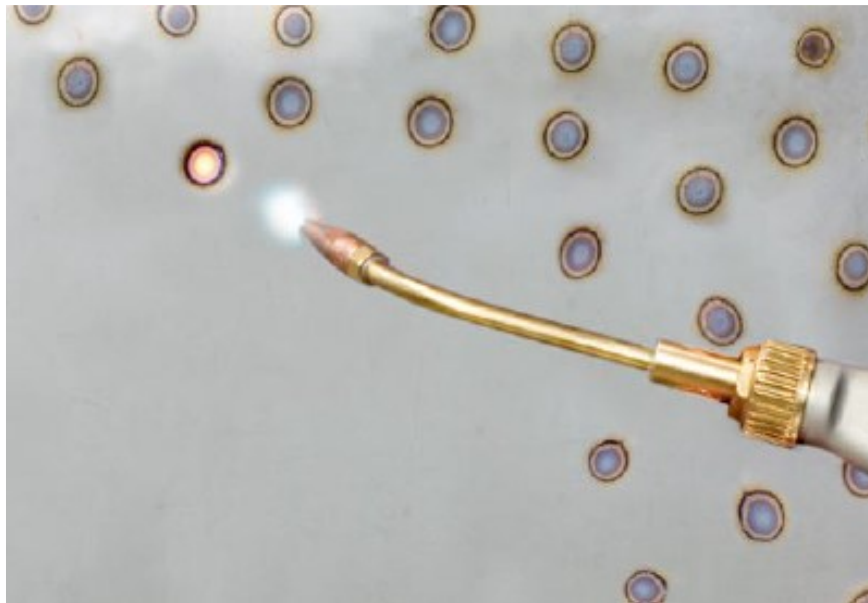
Tabulka 3 - Doporučené nejvyšší teploty při rovnění plamenem [17]

Dodací podmínky	Doporučené nejvyšší hodnoty teplot při rovnění plamenem		
	Krátkodobý ohřev [°C]	Krátkodobý ohřev plného příčného průřezu [°C]	Ohřev plného průřezu s delší výdrží [°C]
Normalizačně žháno	≤ 900	≤ 700	≤ 650
Termomechanicky válcováno až do S460	≤ 900	≤ 700	≤ 650
Termomechanicky válcováno S500 až S700	≤ 900	≤ 600	≤ 550
Zušlechtěno	≤ teplota popouštění použita k původnímu výrobku – 20 K (obecně pod 550 °C)		

4.2.2 Způsoby provádění rovnění

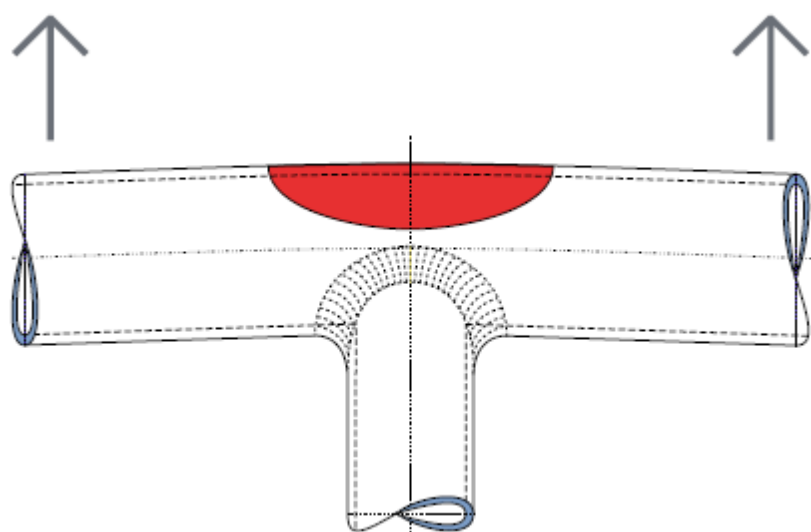
V závislosti na tvaru rovnané součásti se provádí různé způsoby rovnění plamenem. Jiným způsobem se rovnají svařované „I“ profily a jiným způsobem tenké plechy s navařenými výztuhami. Technika provádění je závislá na zručnosti a zkušenostech pracovníka, který tuto práci vykonává a je vysoce ceněna.

Bodový ohřev je využíván především k rovnání tenkých plechů, kdy se ohřívá rastr bodů vykreslených v dané rovnací ploše s cílem eliminace deformace (vyboulení) plechu, viz obr. 14 [2] [18].



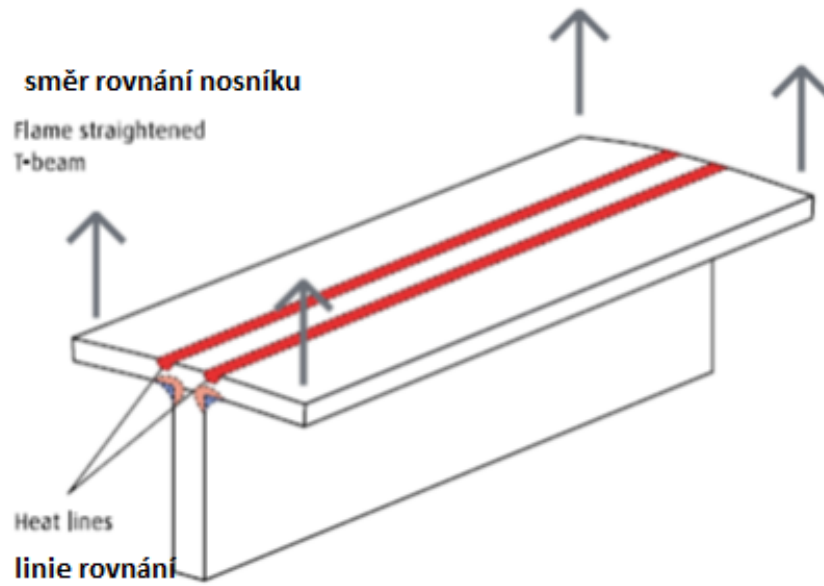
Obrázek 14 - Bodový ohřev [18]

Prstencový ohřev je s výhodou využíván u trubkových konstrukcí a dílů, které jsou rotačního tvaru s osou symetrie a jeho princip je na obr. 15 [2] [18].



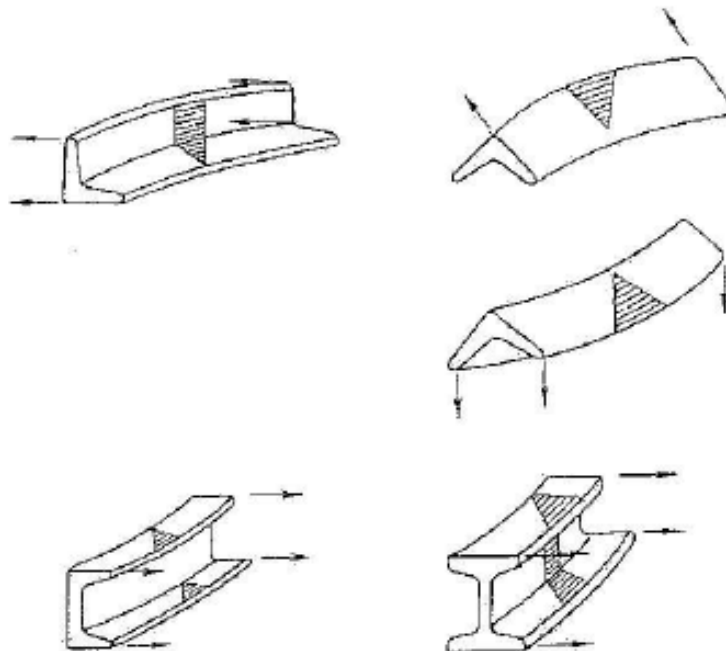
Obrázek 15 - Prstencový ohřev [18]

Pásový ohřev je využíván pro rovnání svařovaných konstrukcí, kdy nahřívací pásy jsou umístěny na straně protilehlé svaru, viz obr. 16 [2] [18].



Obrázek 16 - Pásový ohřev [18]

Klínový ohřev je nejčastěji používán pro rovnání profilů, viz obr. 17 [2] [18].



Obrázek 17 - Klínový ohřev [2]

4.2.3 Plyny používané pro rovnání plamenem

Pro rovnání plamenem se používají dvě skupiny plynů, a to plyny oxidující a plyny hořlavé. Zde je zmíněna pouze kombinace nejrozšířenějších plynů používaných v praxi, a to kyslík a acetylen [2].

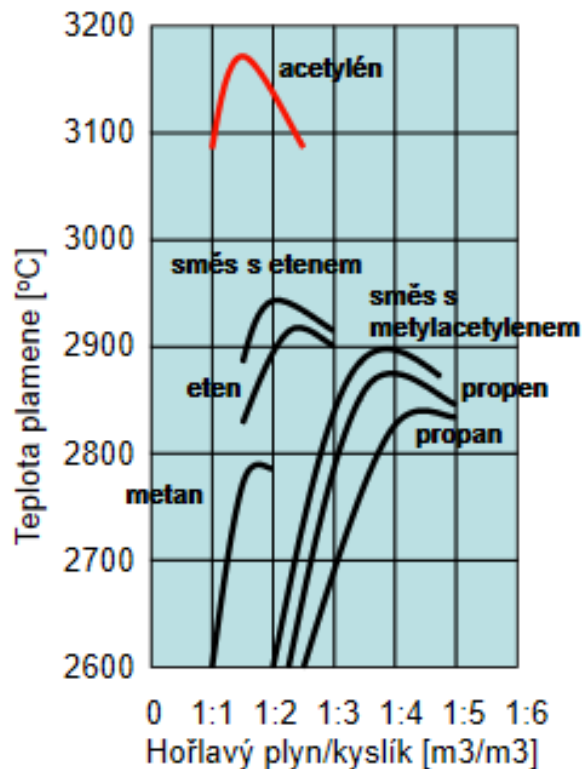
Oxidující plyn kyslík (O₂) je bez barvy a zápachu, nehořlavý, ale hoření podporující. Kyslík lze zkapalnit při atmosférickém tlaku při teplotě -182,92 °C. Z jednoho litru kapalného kyslíku lze odpařením získat 874 litrů plynného kyslíku. Vyrábí se destilací kapalného vzduchu nebo elektrolýzou [2].

Hořlavý plyn acetylen (C₂H₂) je plynem nejvíce používaným pro svařování plamenem, pálení a rovnání. Čistý acetylen je bez zápachu, technický acetylen je výrazně cítit po česneku. Hoří bílým plamenem s velkým výskytem sazí. Acetylen se vyrábí rozkladem karbidu vápníku vodou v tzv. vyvíječích podle vztahu (4.1) [2]:



kde	CaC_2	je karbid vápníku	[kg],
	H_2O	voda	[kg],
	$Ca(OH)_2$	hydroxid vápenatý	[kg],
	C_2H_2	acetylen	[l],
	Q	teplo	[J].

Při hoření kyslíku a acetyleny má vyvinuté teplo nejvyšší hodnotu ze všech běžných kombinací plynů a dosahuje teploty až 3150 °C. Tím je rychlejší přenos tepla do ohřívajícího materiálu a menší tepelně ovlivněná oblast. Srovnání hodnot dosažených teplot pro různé hořlavé plyny je na obr. 18 [2].

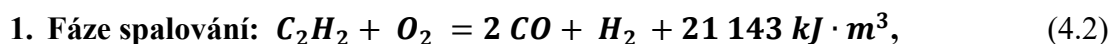


Obrázek 18 - Srovnání dosažených teplot hořlavých plynů a kyslíku [2]

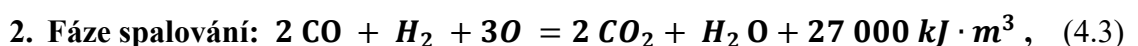
4.2.4 Typy kyslíko-acetylenového plamene

Vzniklý plamen směsi kyslíku s acetylenem po zapálení můžeme regulovat nastavením poměru kyslíku vůči acetylenu. Tím můžeme dosáhnout tří typů plamene a každý tento typ lze využít k jinému technologickému použití.

Spalování směsi kyslíku s acetylenem probíhá obvykle ve dvou fázích. V první fázi probíhá nedokonalé spalování na povrchu svařovacího kužele. Acetylen se rozkládá, vodík zůstává z větší části volný, uhlík se spaluje na oxid uhelnatý. Oblast plamene do 10 mm od vrcholu svařovacího kužele má redukční účinky podle vztahu (4.2) [2] [11].



Ve druhé fázi dochází ke spalování na vnějším kuželu, kde si plamen odebírá kyslík potřebný k reakci ze vzduchu se značným přebytkem, proto má vnější plamen oxidační účinky podle vztahu (4.3) [2] [11].



Rozdělení typů plamene podle poměru $O_2 : C_2H_2$:

- **Neutrální plamen, poměr $O_2 : C_2H_2 = 1-1,1 : 1$**

Nejčastěji používaný plamen pro svařování oceli, nahřívací plamen pro řezání kyslíkem a plamen používaný pro rovnění. Plamen s přebytkem acetyleny by mohl způsobit nauhličování rovnaného povrchu a plamen s přebytkem kyslíku by mohl způsobit opal základního materiálu [2] [11].

- **Redukční plamen, poměr $O_2 : C_2H_2 < 1$**

Plamen s přebytkem acetyleny (20–50 %) se používá ke svařování hliníku, hořčíku a jejich slitin, k navařování tvrdokovů a k cementování plamenem [2] [11].

- **Oxidační plamen, poměr $O_2 : C_2H_2 = 1,2 : 1$**

Plamen s přebytkem kyslíku (20–80 %) se používá ke svařování mosazi a bronzů [2] [11].

4.2.5 Zařízení pro rovnění plamenem

Tento název souhrnně zahrnuje veškeré prostředky sloužící k danému účelu. Jedná se tedy o:

- **Zdroj plynů**

Jako zdroj plynu je nejčastěji používána tlaková láhev s rozdílným typem šroubení pro jednotlivé typy plynů, aby nemohlo dojít k záměně. Dále je láhev označena barevně dle normy ČSN EN 1089-3 [19] ze stejného důvodu. Barevné značení je předepsáno pouze pro horní zaoblenou část lahve. Pro kyslík je to barva bílá s písmenem N na protilehlých stranách (nové značení), pro acetylen je to barva kaštanová s písmenem N na protilehlých stranách (nové značení). Tak zvaný vodní obsah tlakových lahví je 10, 20, 40 a 50 l.

Jiný zdroj pro větší odběr plynu je baterie lahví, svazky. Z důvodu finanční úspory mají firmy také zásobníky technických plynů, které jsou na příslušné pracoviště dopravovány pomocí rozvodů [2].

- **Lahvové ventily**

Každá plynová láhev je na vrcholu osazena lahvovým ventilem, který slouží jednak k plnění prázdných lahví a jednak k odběru plynu z lahví plných. Ventily pro kyslík a acetylen se záměrně liší, aby nemohlo dojít k záměně při šroubování redukčních ventilů [2].

- **Redukční ventily**

Jejich úkolem je nastavení výstupního tlaku z tlakové lahve na požadovaný provozní tlak potřebný k danému účelu (svařování, rovnání, řezání) a udržení tohoto tlaku po celou dobu odběru bez ohledu na množství a tlak plynu v tlakové lahvi [2].

- **Hadice**

Mají za úkol přenos plynu z jeho zdroje k odběrnému místu. Používají se vysokotlaké pryžové hadice, které mají textilní vložku a jsou barevně rozlišené. Pro kyslík je to barva modrá, pro acetylen barva červená. Vnitřní průměr (světlost) je pro kyslíkové hadice 6–9 mm, pro acetylen 9–14 mm s tloušťkou stěny 4–6 mm [2].

- **Pojistka proti zpětnému šlehnutí**

Pojistka proti zpětnému šlehnutí se umísťuje mezi hořák a redukční ventil a má za úkol zabránit zpětnému šlehnutí do redukčního ventilu. Jejím dalším úkolem je zabránění vniknutí kyslíku do hořlavého plynu, a tím vzniku výbušné směsi [2].

- **Svařovací hořáky**

Svařovací hořák je zařízení, ve kterém dochází k promísení oxidačního a hořlavého plynu s požadovanou výstupní rychlostí z hořáku a s možností nastavení plamene pro potřebné technologické podmínky svařování, rovnání a nahřívání [2].

Podle provedení se hořáky dělí na:

- **Nízkotlaké (injektorové)** jsou nejčastěji používané hořáky. Acetylen má nižší tlak než kyslík, a je proto pomocí injektoru nasáván do hořáku, kde ve směšovací komoře dochází k promísení plynů. Hořák se skládá z rukojeti hořáku a sady vyměnitelných nástavců označených 0–7, kde číslo udává i tloušťku svařovaného materiálu pro daný nástavec. Princip injektorového hořáku je na obr. 19. Čísla nástavců a tomu odpovídající tloušťka svařovaného materiálu a další parametry jsou v tab. 4 [2].



Obrázek 19 - Princip injektorového hořáku [2]

Tabulka 4 - Označení svařovacích nástavců [20]

Číslo nástavce	Tloušťka svařovaného materiálu [mm]	Tlak kyslíku [bar]	Průměrná spotřeba kyslíku (m ³ /h)	Tlak plynu [bar]	Průměrná spotřeba plynu (m ³ /h)	Průměr otvoru špičky (mm)
0	0,5–1	3,0	0,075	0,1–1	0,075	0,8
1	1–2	3,0	0,150	0,1–1	0,150	1
2	2–4	3,0	0,300	0,1–1	0,300	1,2
3	4–6	3,0	0,500	0,1–1	0,500	1,5
4	6–9	3,0	0,750	0,1–1	0,750	1,9
5	9–14	3,0	1,150	0,1–1	1,150	2,1
6	14–20	3,0	1,700	0,1–1	1,700	2,5
7	20–30	3,0	2,500	0,1–1	2,500	3

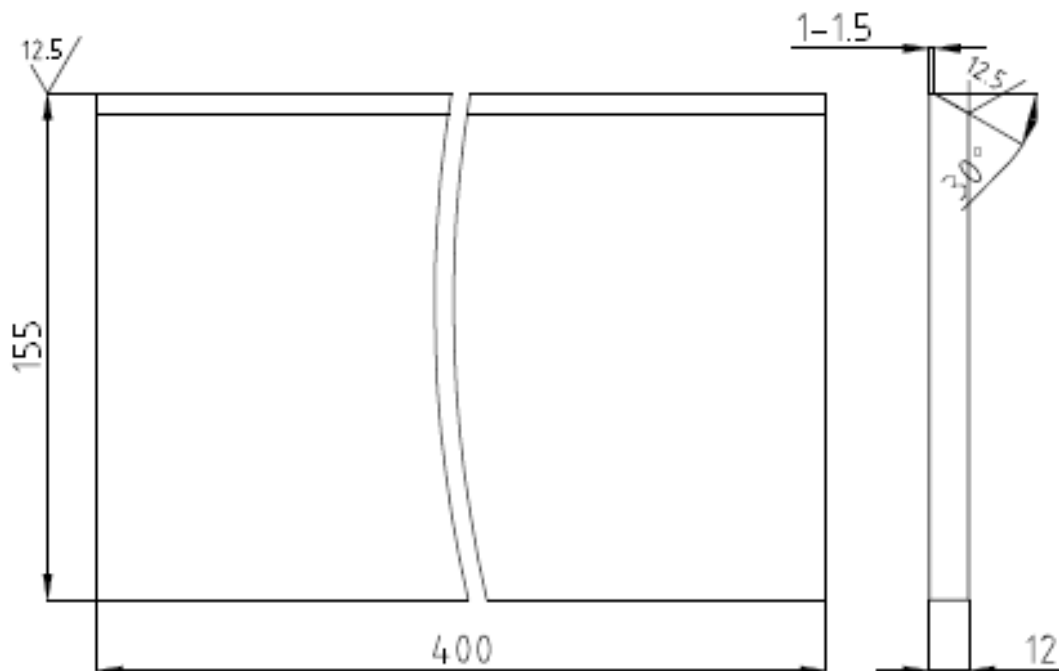
- **Vysokotlaké hořáky** se používají v kombinaci s rozpuštěným acetylenem v tlakové lahvi při tlaku cca 0,8 MPa. Ve svařovacím hořáku pak dochází k mísení plynů [2].
- **Speciální hořáky** například pro nahřívání, čištění povrchu od okují, drážkovací [2].

5. Návrh parametrů svařování zkušebních kusů

Pro experimentální část diplomové práce byl zvolen základní materiál plech síly 12 mm dle normy ČSN EN 10149-2 [6] v jakosti S355MC. Celkově se jednalo o 6 kusů plechu P12-160×400 pro 3 vzorky tupého spoje.

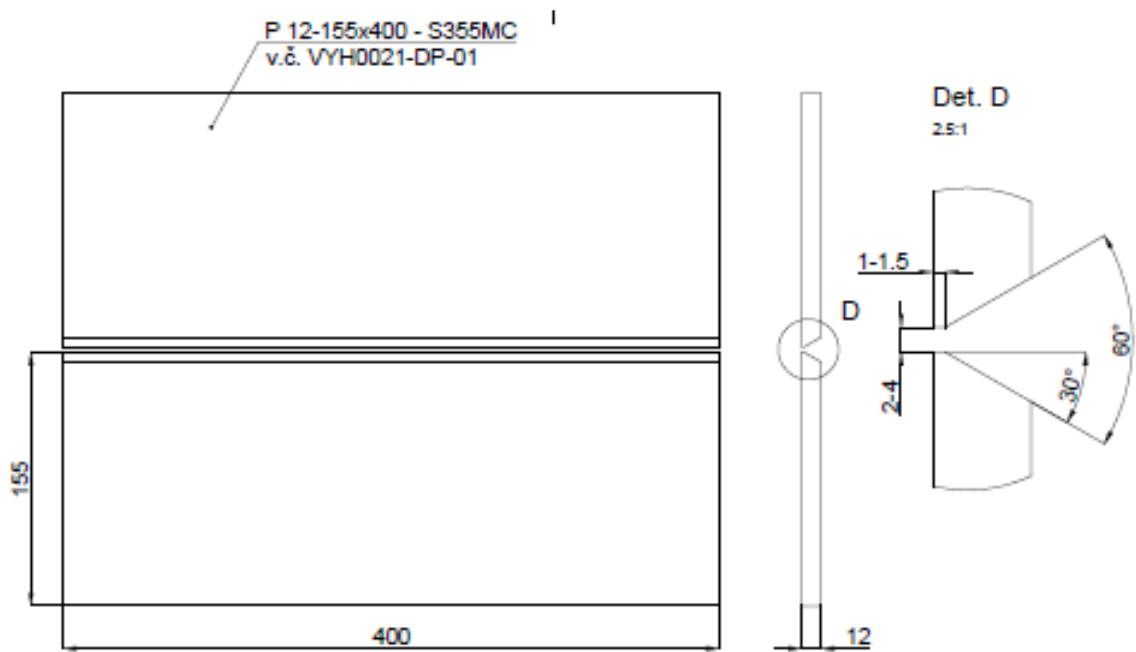
5.1 Příprava zkušebních kusů

U desek byla ofrézována jedna hrana, aby byla odstraněna tepelně ovlivněná oblast po pálení laserem. Na této hraně byl následně frézován úkos 30° s otupěním 1 mm dle normy ČSN EN ISO 9692-1 [21], viz obr. 20.



Obrázek 20 - Příprava vzorku pro svar

Desky byly sestaveny s mezerou pro provaření kořenové vrstvy. Sestavení a sestehování provedl svářeč s úřední zkouškou dle ČSN EN ISO 9606-1 [22], viz obr. 21.



Obrázek 21 - Sestavení vzorku pro svařování

5.2 Podmínky svařování

Při svařování uhlíkových ocelí je důležitým aspektem rychlost ochlazování tepelně ovlivněné oblasti, která závisí na množství tepla do svaru dodaného. Proto je v některých případech nutný předehřev, který zpomaluje ochlazování. Obecně se při svařování uhlíkových ocelí předehřev používá pro svařování materiálu o tloušťce $t \geq 25$ mm nebo obsahu uhlíku $C > 0,22$ hm. % [23]. Dalším parametrem ovlivňujícím svařitelnost oceli je uhlíkový ekvivalent C_E . Je to parametr zahrnující všechny prvky dané oceli, které mají vliv na kalitelnost tepelně ovlivněné oblasti, a tím zhoršují svařitelnost oceli. Při obsahu $C_E \leq 0,45$ hm. % a tloušťce svařovaného materiálu menší než 25 mm není potřeba předehřev, je-li $C_E > 0,45$ hm. %, je předehřev nutný [23].

5.2.1 Výpočet uhlíkového ekvivalentu C_E

Pro výpočet C_E existuje řada vzorců s ohledem na chemické složení dané oceli, některé výrazy zahrnují i tloušťku svařovaného materiálu, viz výraz (5.1) [23].

$$C_E = C + \frac{Mn}{6} + \frac{Cr}{5} + \frac{Ni}{15} + \frac{Mo}{4} + \frac{Cu}{13} + \frac{P}{2} + 0,0024 \cdot s \quad [\%] \quad (5.1)$$

Tento výraz platí pro materiály do obsahu prvků dle ČSN 051310 [24]:

$C = 0,22$ hm. %, $Mn = 1,6$ hm. %, $Cr = 1$ hm. %, $Ni = 3,0$ hm. %, $V = 0,14$ hm. %, $Cu = 0,30$ hm. %, $s =$ tloušťka svařovaného materiálu.

Mezinárodní svářečský institut (IIW/IIS) navrhl vzorec (5.2) (pro oceli $C > 0,18$ hm. %) [16]:

$$C_E = C + \frac{Mn}{6} + \frac{Cr+Mo+V}{5} + \frac{Ni+Cu}{15} \quad [\%] \quad (5.2)$$

5.2.2 Výpočet C_E pro ocel S355MC

Ocel S355MC má chemické složení dle tabulky 1 strana 13 a tloušťku materiálu zkušební vzorku 12 mm.

Vzhledem k obsahu uhlíku 0,12 hm. % je pro výpočet vhodný výraz dle (5.1):

$$C_E = 0,12 + \frac{1,5}{6} + \frac{0}{5} + \frac{0}{15} + \frac{0}{4} + \frac{0}{13} + \frac{0,025}{2} + 0,0024 \cdot 12 \quad (5.3)$$

$$C_E = 0,4113 \text{ hm. \%}$$

5.2.3 Výpočet teploty předehřevu pro svařování

Pro výpočet teploty předehřevu existuje řada vzorců. Pro tento případ byl zvolen výpočet podle Seferiána (5.4) [16]:

$$T_p = 350 \cdot \sqrt{C_p - 0,25} \quad (5.4)$$

kde T_p je teplota předehřevu $[\text{°C}]$,

$$C_p = C_c + C_s \quad [\%], \quad (5.5)$$

$$C_c = \frac{360C + 40(Mn + Cr) + 20Ni + 28Mo}{360} \quad [\%], \quad (5.6)$$

$$C_s = 0,005 \cdot s \cdot C_c \quad [\%], \quad (5.7)$$

s svařovaná tloušťka [mm].

Po dosazení hodnot do výše uvedených vzorců (5.4) – (5.7) dostaneme:

$$C_c = \frac{360 \cdot 0,12 + 40(1,5 + 0) + 20 \cdot 0 + 28 \cdot 0}{360},$$

$$C_c = 0,287 \%$$

$$C_s = 0,005 \cdot 12 \cdot 0,287,$$

$$C_s = 0,01722 \%$$

$$C_p = 0,287 + 0,01722,$$

$$C_p = 0,30422 \%$$

$$T_p = 350 \cdot \sqrt{0,30422 - 0,25},$$

$$T_p = 81,5 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Teplota předehřevu výpočtem vyšla 81,5 °C pro materiál S355MC tloušťky 12 mm.

5.2.4 Návrh předběžného postupu svařování pWPS

Detail přípravy svarového spoje a následně sestavení desek do celku upřesňuje obr. 20 a obr. 21. Sestehování a svařování bylo provedeno plným svařovacím drátem G4Si1 dle DIN EN ISO 14341 [25] o průměru 1,2 mm s obchodní značkou WEKO 4.

Svařování TMZ ocelí má být prováděno s limitovaným tepelným příkonem, aby nebyly snižovány účinky TMZ zpracování, nedošlo k poklesu meze pevnosti, meze kluzu a tvrdosti. Limitováním vneseného tepla je také zmenšována šířka TOO.

Parametry svařování byly zvoleny následovně:

- Pro kořenovou vrstvu přenos kovu zkratový:
 - svařovací proud 120–140 A, napětí 16,5–17 V
- Pro výplňové a krycí vrstvy přenos kovu sprechový:
 - svařovací proud 190–220 A, napětí 25–26 V

Teplota předehřevu byla zvolena dle výpočtu na 80 °C, a to z důvodu snížení rizika vzniku trhlin vlivem působení vodíku.

Maximální teplota interpass pro aplikaci jednotlivých svarových housenek po konzultaci s techniky fa ESAB byla stanovena na maximální výši 250 °C. Teplota interpass je teplota svarového kovu těsně před svařováním další vrstvy u vícevrstvých svarů. Překročení této teploty může velmi nepříznivě ovlivnit mechanické vlastnosti základního materiálu [26].

Jednotlivé napojení svarových housenek je nutno pečlivě vybrousit a kontrolovat na možnost výskytu trhlin vizuálně. Před kladením dalších vrstev je nutno dodržet maximální teplotu interpass 250 °C a také je nutno předešlé vrstvy čistit ocelovým kartáčem, případně brusným kotoučem, od strusky, která by mohla být zdrojem vad. Také napojování svarů je vhodné zabrousit a kontrolovat na přítomnost studených spojů, případně trhlin, které jsou jako vada nepřijatelné. Formulář předběžného postupu svařování pWPS je v příloze B.

5.2.5 Předehřev

V experimentální části diplomové práce bylo k předehřevu na teplotu určenou výpočtem použito nahřívacího hořáku vyrobeného v bývalé STS Přerov. Tento hořák je využíván v praxi pro náhřev svařenců větších tloušťek. Jako ohřívací plyn je používán propan-butan, viz obr. 22.



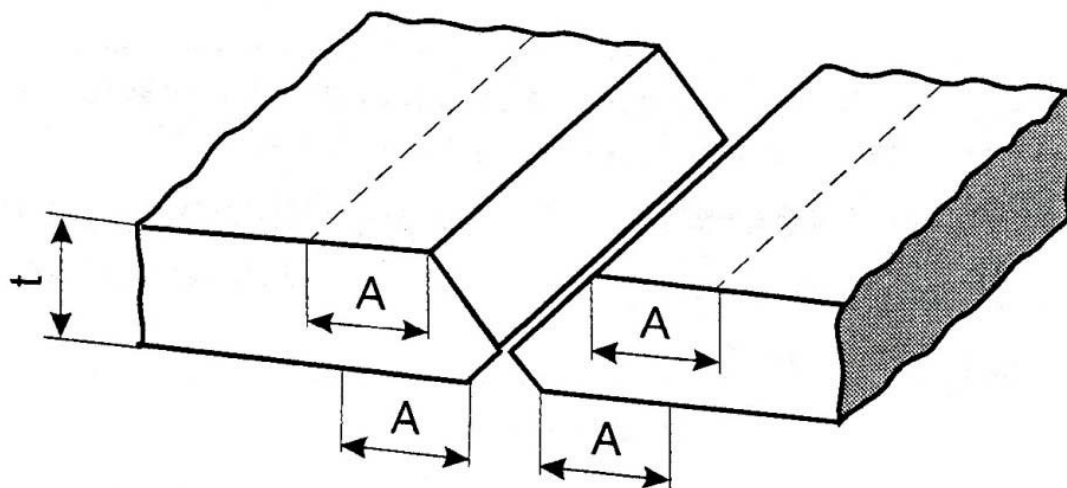
Obrázek 22 - Nahřívací hořák na propan-butan

5.2.6 Kontrola teploty předehřevu a teploty interpass

Podmínky pro kontrolu teploty předehřevu, teploty interpass a teploty dohřevu udává směrnice ČSN EN ISO 13916 [27]. Předehřev by se měl provádět ze strany protilehlé měřenému místu. Měření se má provádět po odstranění zdrojů tepla a vyrovnání teploty v intervalu 2 minuty na každých 25 mm ohřívaného materiálu. Měřená vzdálenost podle svařované tloušťky materiálu a typu svarového spoje je na obr. 23 a obr. 24 [26].

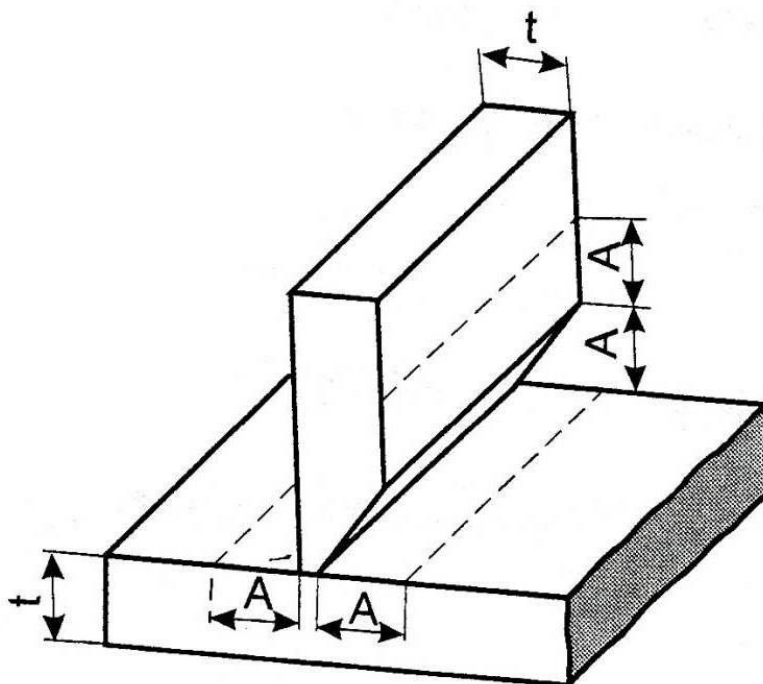
$$t \leq 50 \text{ mm} \dots A = 4 \cdot t \dots \text{max } 50 \text{ mm} \quad (5.8)$$

$$t > 50 \text{ mm} \dots A = 75 \text{ mm} \quad (5.9)$$



a) tupý spoj

Obrázek 23 - Měřená vzdálenost pro tupý spoj [26]



b) koutový spoj

Obrázek 24 - Měřená vzdálenost pro T-spoj [26]

Pro kontrolu teploty v experimentální části práce byl použit dotykový elektrický kontaktní teploměr Voltcraft PL-120 T1, viz obr. 25. Je to jednobaný teploměr s rozsahem měření podle typu čidla, viz tab. 5. K vlastnímu měření bylo použito teplotní čidlo Greisinger GOF 130 s vinutými pružinami NiCr-Ni v keramické trubce průměru 8 mm a konektorem typu K pro připojení k teploměru, viz obr. 26, s rozsahem měření -65 °C až $+900\text{ °C}$ [28]. Parametry teplotního čidla viz tab. 6. K měření je využita závislost odporu určitého druhu kovu na teplotě [29].

Tabulka 5 - Parametry přístroje Voltcraft PL-120 T1 [28]

Rozměry	(D × Š × V) 162 × 62 × 28 mm
Kalibrace (dle normy)	ISO/DKD
Kalibrace možná dle	ISO/DKD
Typ (výrobce)	PL-120 T1
Provedení	1-kanálový
Typ čidla	K/J
Základní přesnost	$\pm 0,3\% + 1\text{ °C}$
Napájení	3 baterie AAA
Rozlišení teploty	0,1 °C
Teplotní rozsah	Čidlo typu K: -200 až $+1372\text{ °C}$ /čidlo typu J: -210 až $+1100\text{ °C}$
Hmotnost	184 g



Obrázek 25 - Teploměr Voltcraft PL-120 T1 [28]



Obrázek 26 - Teplotní čidlo Greinsinger GOF 130, typ K (NiCr-Ni) [29]

Tabulka 6 - Parametry teplotního čidla Greisinger GOF 130, typ K (NiCr-Ni) [29]

Doba odezvy	3 s
Vnější Ø	8 mm
Připojení (měřicí technika)	Termočláňková zástrčka
Typ senzoru	K
Kalibrováno dle	Bez certifikátu
Teplotní rozsah	-65 až +900 °C
Vnější délka	130 mm
Min. teplotní rozsah	-65 °C
Max. teplotní rozsah	+900 °C
Kategorie produktu	Povrchová sonda

6. Vlastní zhotovení zkušebních spojů

Na základě vypracovaných výkresů opracování a přípravy svarových hran byly zkušební vzorky ofrézovány s požadovaným úhlem zkosení 30° a otupením 1 mm, viz obr. 27.



Obrázek 27 - Opracované vzorky

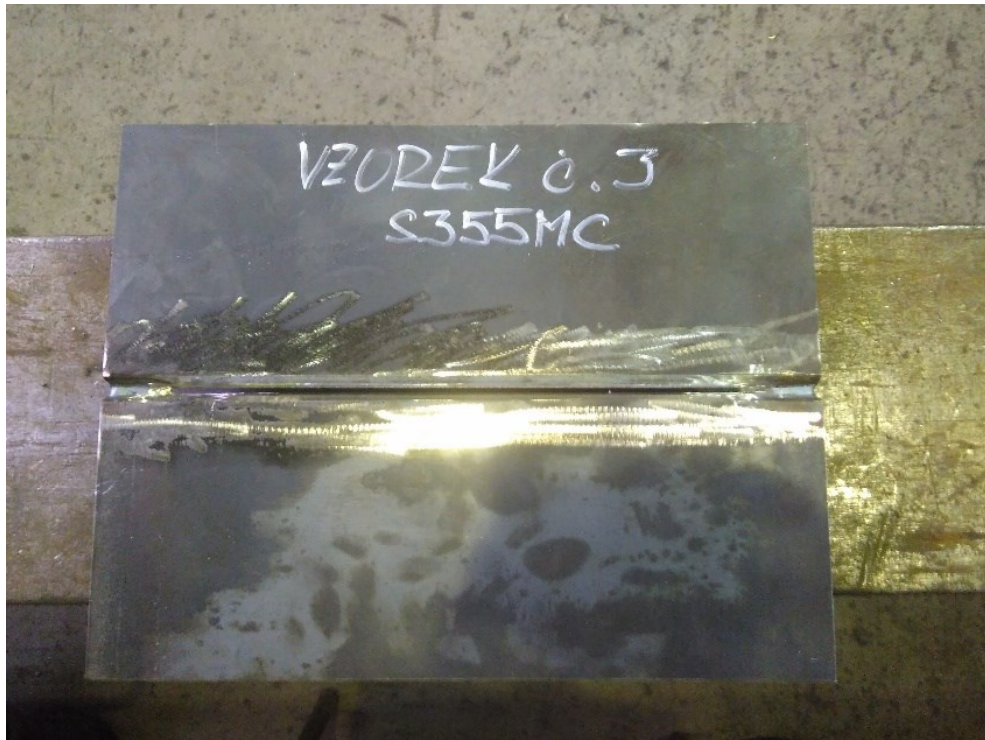
Následně byly jednotlivé desky sestehovány svářečem s úřední zkouškou dle ČSN EN ISO 9606-1 [22] zvoleným přídatným svařovacím drátem dle pWPS. Sestehování provedl svářeč podle svých zvyklostí v toleranci předepsaného výkresu. Celkem byly sestehovány 3 kusy vzorků a označeny nápisem vzorek č.1, vzorek č.2 a vzorek č.3, viz obr. 28 – obr. 30.



Obrázek 28 - Sestavený vzorek číslo 1



Obrázek 29 - Sestavený vzorek číslo 2



Obrázek 30 - Sestavený vzorek číslo 3

Byla provedena kontrola sestehování, svářeč stehy očistil a vybrousil náběhy pro plynulé napojení kořenové vrstvy. Provedl ohřev na požadovanou minimální teplotu, která byla zaznamenána a začal svařovat kořenovou vrstvu, viz obr. 31 a obr. 32.



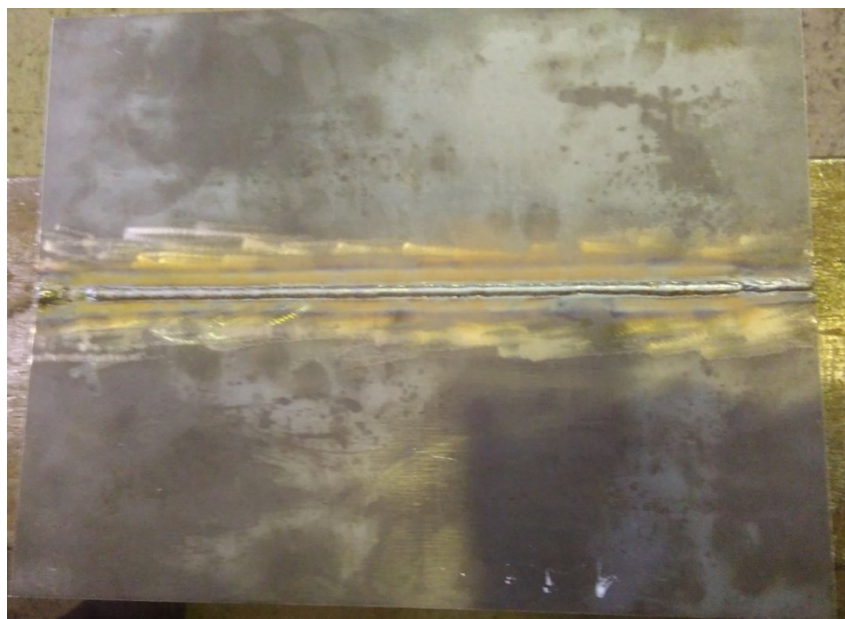
Obrázek 31 - Předehřev vzorku před svařením



Obrázek 32 - Kontrola předehřevu

Po svaření kořenové vrstvy byla tato vrstva očištěna ocelovým kartáčem a všechna napojení vybroušena ruční úhlovou bruskou. Svar byl vizuálně kontrolován, zda se v něm nevyskytují viditelné vady (póry, trhliny). Proběhla kontrola teploty vzorku, zda nebyla podkročena požadovaná teplota předehřevu (80 °C). Po zjištění, že je vše vyhovující, byla svařena druhá svarová housenka. Stejným způsobem byly provedeny všechny nejprve výplňové vrstvy, a nakonec i vrstvy krycí. Stejným postupem proběhlo svařování vzorků s označením 2 a 3.

Hodnoty parametrů svařování jednotlivých vzorků byly zaznamenány do formulářů záznamu o průběhu svařování. U vzorků označených 2 a 3 byly pro kořenovou vrstvu zvýšeny parametry svařovacího proudu a napětí na základě průběhu svařování vzorku číslo 1. Záznamy o průběhu svařování pro vzorky 1, 2 a 3 jsou přiloženy jako přílohy C, D a E. Průběh svařování je doložen na obr. 33 – obr. 41.



Obrázek 33 - Pohled na kořenovou vrstvu vzorku číslo 1



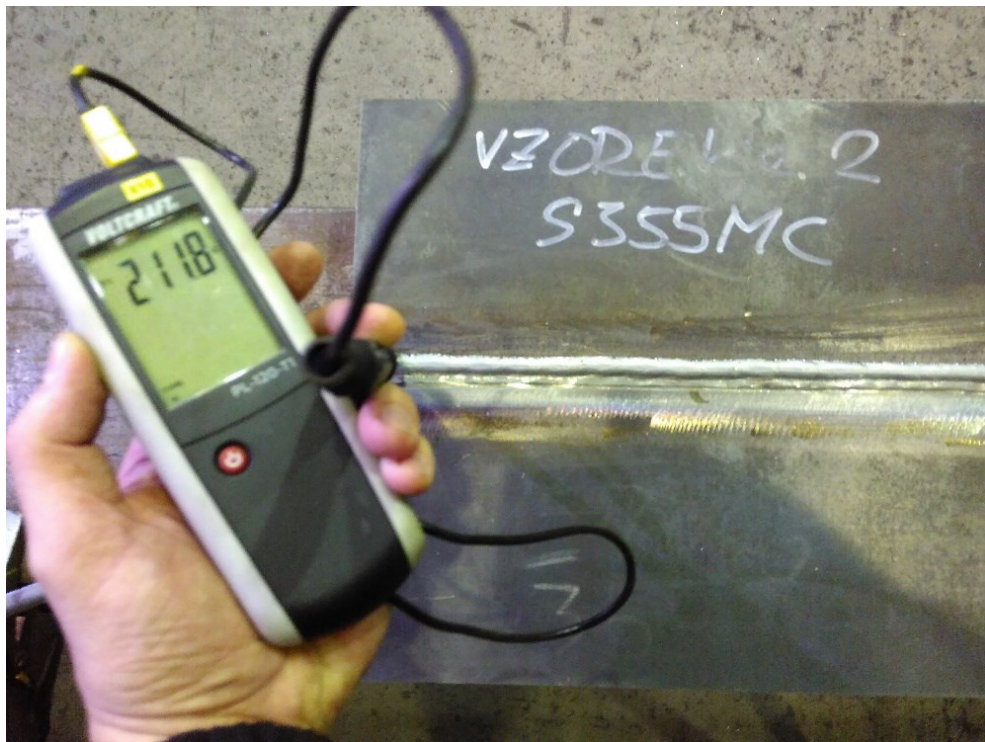
Obrázek 34 - Kontrola teploty předehřevu před položením třetí vrstvy u vzorku číslo 1



Obrázek 35 - Finální podoba svaru vzorku číslo 1



Obrázek 36 - Kontrola teploty interpass před položením druhé vrstvy u vzorku číslo 2



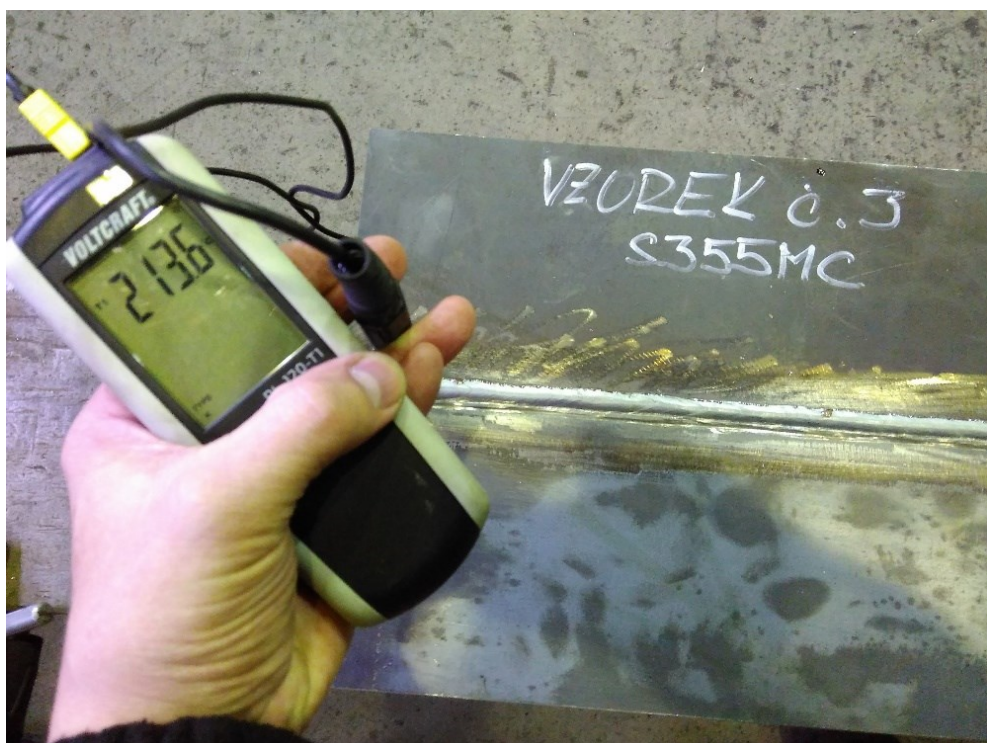
Obrázek 37 - Kontrola teploty interpass před položením poslední vrstvy u vzorku číslo 2



Obrázek 38 - Druhá vrstva u vzorku číslo 3



Obrázek 39 - Kontrola teploty interpass před položením čtvrté vrstvy u vzorku číslo 3



Obrázek 40 - Kontrola teploty interpass před položením poslední vrstvy vzorku číslo 3



Obrázek 41 - Finální svar vzorku číslo 3

Do záznamu svařování byl na základě svařovacích parametrů vypočítán a doplněn tepelný příkon pro jednotlivé svařované vrstvy, který má vliv na rychlost ochlazování svaru a TOO.

Výpočet tepelného příkonu dle výrazu (6.1) pro záznam svařování [23]:

$$Q = \eta \cdot \frac{I \cdot U}{1000 \cdot v} \quad (6.1)$$

kde	Q	je tepelný příkon	$[\text{kJ} \cdot \text{mm}^{-2}]$
	η	součinitel účinnosti procesu svařování (pro MAG 0,75–0,93, doporučeno 0,85)	$[-]$
	I	svařovací proud	$[\text{A}]$
	U	svařovací napětí	$[\text{V}]$
	v	svařovací rychlost	$[\text{mm} \cdot \text{s}^{-1}]$

Příklad výpočtu pro kořenovou vrstvu vzorku číslo 1:

$$\eta = 0,85, I = (125-140) \text{ A}, U = (16,6-16,9) \text{ V}, v = 3,101 \text{ mm} \cdot \text{s}^{-1}$$

$$Q_1 = 0,85 \cdot \frac{125 \cdot 16,6}{1000 \cdot 3,101} = 0,57 \text{ kJ} \cdot \text{mm}^{-2},$$

$$Q_2 = 0,85 \cdot \frac{140 \cdot 16,9}{1000 \cdot 3,101} = 0,65 \text{ kJ} \cdot \text{mm}^{-2}$$

7. Rovnění kyslíko-acetylenovým plamenem

Po svaření zkušebních vzorků bylo provedeno jejich očištění a vizuální kontrola provedení svarů. Pro další experimentální část byly vybrány vzorky číslo 2 a 3, jelikož vzorek číslo 1 vykazoval drobné vady v kořeni svaru. Pro další postup, kdy bylo cílem srovnat vlastnosti vzorku pouze svařeného a vzorku svařeného a následně rovnaného kyslíko-acetylenovým plamenem, byl pro rovnání vybrán vzorek číslo 3. Vlivem svařování došlo k viditelné úhlové deformaci nejen ve směru podélném s osou svaru, ale i v ose kolmé na osu svaru. Deformace kolmá na osu svaru byla výrazná ze strany krycí vrstvy, což je dáno provedením nesymetrického V svaru.



Obrázek 42 - Úhlová deformace svařeného vzorku

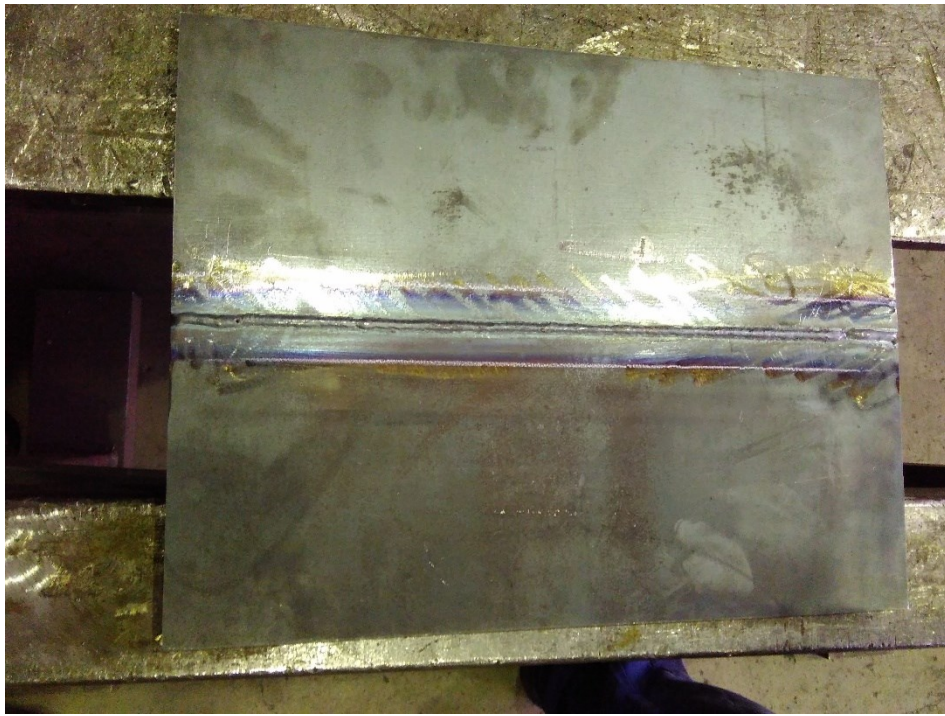
Pro simulaci rovnání byla jako rovnaná strana vybrána plocha ze strany kořene (viz obr. 43) tak, aby se deformace vzniklé svařováním vyrovnaly. Křídou byly označeny čáry pro pásový ohřev rovnoběžný s kořenem svaru.

Pro rovnání byl vybrán hořák číslo 5 pro tloušťky plechu 9–14 mm. Po zapálení byl nastaven neutrální plamen, tedy plamen s poměrem $O_2 : C_2H_2 = 1-1,1 : 1$ a z pohledu dynamiky plamen střední, tedy s optimální výstupní rychlostí a plamenem, který by zbytečně nenarušoval a nedegradoval povrch materiálu.

Pro orientační spotřebu plynu pro daný hořák platí vztah (6.2) [11]:

$$S = \frac{9+14}{2} \cdot 100 = 1150 \text{ l} \cdot \text{h}^{-1} = 1,15 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}, \quad (6.2)$$

což odpovídá hodnotám spotřeby pro hořáky uvedené v tab. 4 na str. 43.

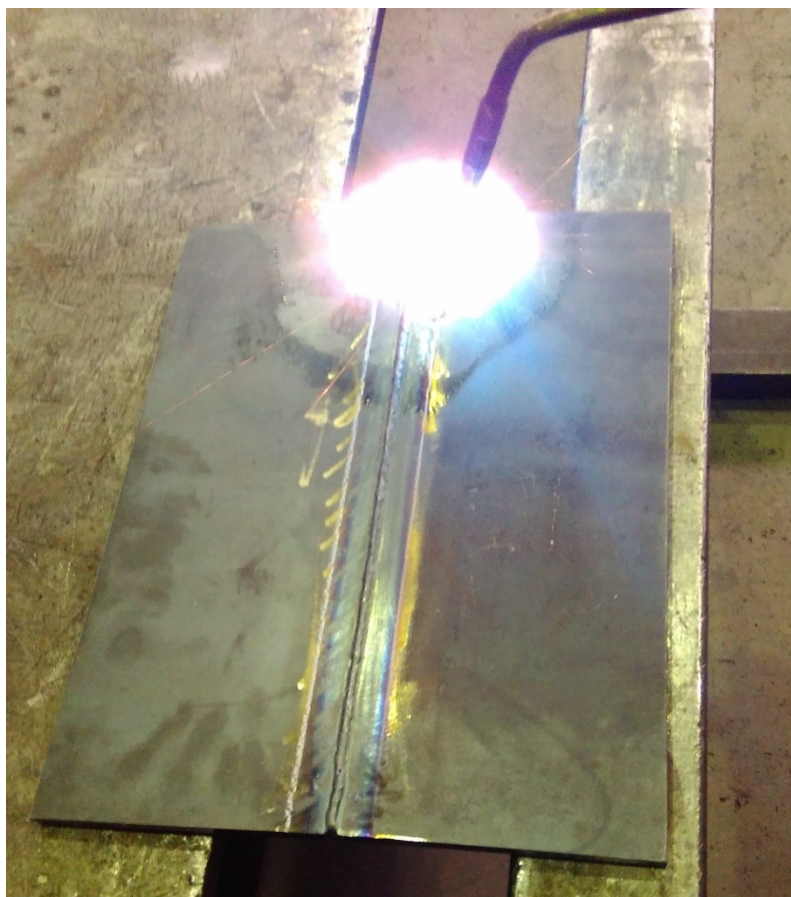


Obrázek 43 - Vyznačení pásů ohřevu ze strany kořene svaru

Rovnění začalo z okraje plechu a bylo přerušováno při kontrole dosažené teploty, která byla stanovena jako maximální 800 °C. Pro orientační určení dosažené teploty byly využity kovářské pomůcky, zabarvení oceli podle teploty, viz obr. 44. Průběh rovnění a kontrolu teploty dokládají obr. 45 – obr. 48.

Barva ohřáté oceli	Teplota	Barva
	1250 - 1350°C	bílá
	1150 - 1250°C	světle žlutá
	1050 - 1150°C	tmavě žlutá
	880 - 1050°C	žlutočervená
	830 - 880°C	světle oranžová
	800 - 830°C	tmavě oranžová
	780 - 800°C	třešňově červená
	750 - 780°C	tmavě třešňově červená
	650 - 750°C	tmavě červená
	580 - 650°C	hnědočervená
	520 - 580°C	černohnědá

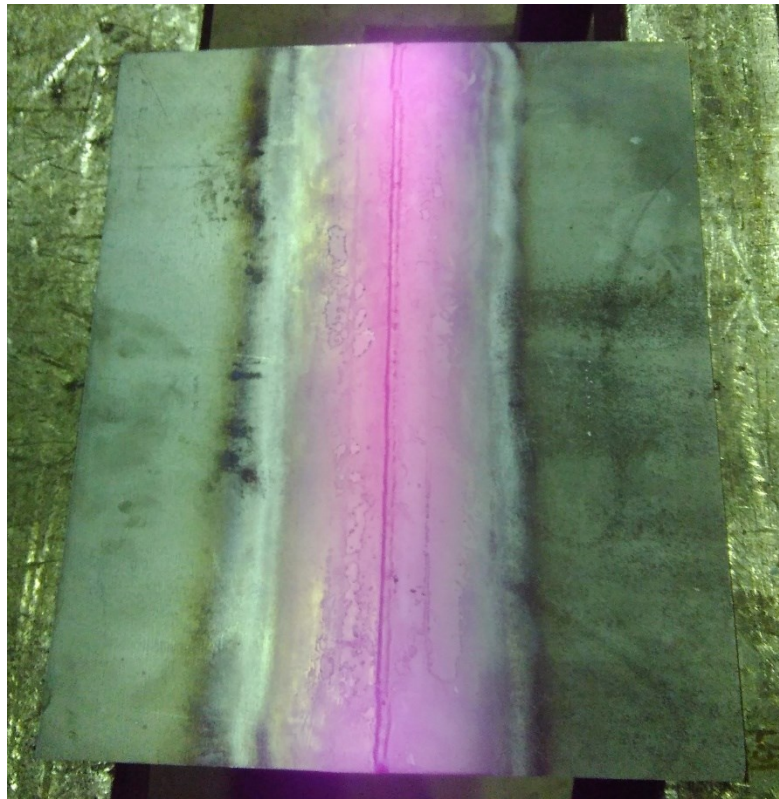
Obrázek 44 - Zabavení oceli podle teploty [30]



Obrázek 45 - Začátek rovnání vzorku číslo 3



Obrázek 46 - Kontrola teploty vzorku číslo 3



Obrázek 47 - Kompletní ohřev vzorku číslo 3

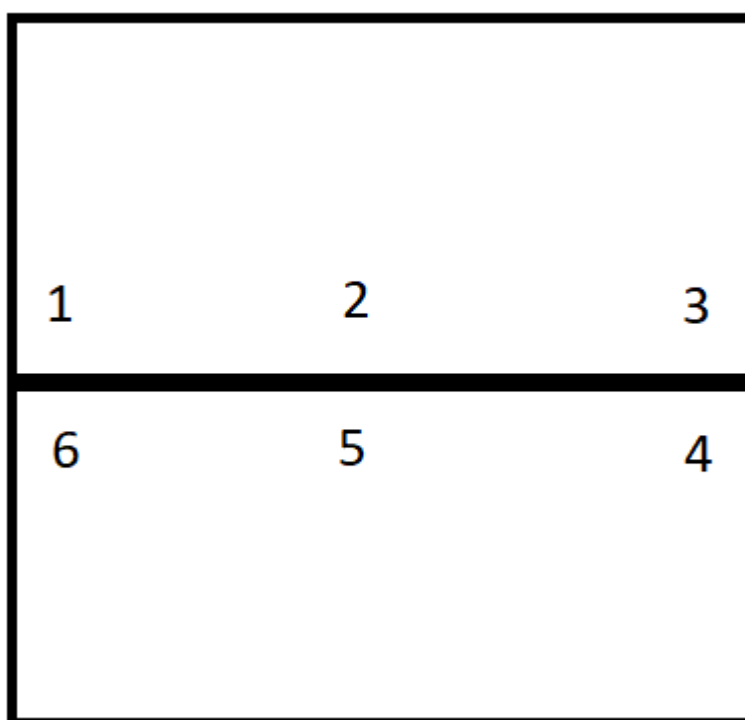


Obrázek 48 - Kontrola teploty vzorku číslo 3

Místa měření teploty jsou uvedeny na obr. 49 a dosažené hodnoty teplot jsou zaznamenány v tab. 7.

Tabulka 7 - Dosažené teploty rovnání vzorku

Maximální teplota rovnání plamenem u vzorku číslo 3						
Měřená místa	1	2	3	4	5	6
Teplota [°C]	763,3	788,8	714,3	715,7	735,5	741,9



Obrázek 49 - Označení měřených míst na vzorku číslo 3

8. Nedestruktivní a destruktivní zkoušky

Kontrola provedených svarových spojů je nutná k posouzení, zda jsou tyto spoje vyhovující k použití pro daný účel. Tato kontrola je dvojitá, a to kontrola bez porušení zkoumaného vzorku, tzv. nedestruktivní zkoušení (NDT), a kontrola, která daný vzorek znehodnotí trvale, tzv. destruktivní zkoušení.

8.1 Nedestruktivní zkoušení (NDT)

Tato oblast zahrnuje širokou skupinu zkoušek, jejímž cílem je schopnost kontrolovat vzorky i zařízení bez toho, že by došlo k jakémukoli porušení a u některých zařízení je možno provádět testování i přímo za provozu. Těmito metodami lze kontrolovat jak povrchové, vnější vady, tak i vady vnitřní a na základě vyhodnocení povahy těchto vad i vyhodnotit způsobilost k dalšímu použití. To je ekonomicky výhodné nejen z pohledu prostojů z pohledu odstávky zařízení, ale i k posouzení životnosti zařízení [16]. Vybrané základní NDT metody jsou ve stručnosti představeny v odstavcích níže.

8.1.1 Vizuální kontrola (VT)

VT patří mezi základní metody nedestruktivní kontroly pro svou jednoduchost a nenáročnost na vybavení. VT je také rozhodující při kontrole svarů, kdy na základě výsledků VT kontroly se rozhoduje, zda je svar vhodný k podstoupení kontroly jinou metodou. Touto metodou se kontrolují pouze povrchové vady svarů z krycí i z kořenové strany. Posuzuje se velikost svaru, tvar a převýšení svaru, výskyt studených spojů, pórů, trhlin, zápalů atd. Provedení VT může být [16]:

- **Přímé** – kdy se kontrola provádí pouhým okem, nebo lupou se zvětšením $3\times - 6\times$ při předepsaném minimálním osvětlení povrchu 500 lx.
- **Nepřímé** – pro kontrolu nepřístupných povrchů (např. vnitřní svary potrubí), které se provádí pomocí optických nebo optoelektronických zařízení – endoskopů.

Kontrolu mohou provádět pouze pracovníci zaškolení dle ČSN EN ISO 9712 [31]. Vlastní provádění VT kontroly je dáno normou ČSN EN ISO 17637 [32]. Stupně přípustnosti udává norma ČSN EN ISO 5817 [8].

8.1.2 Penetrační metoda (PT)

Metoda pro kontrolu pouze povrchových vad, které jsou na povrchu otevřené, tzn. vady typů trhlina, pór, studený spoj, aby do nich mohla vniknout detekční kapalina-penetrant, která je poté vyvolána nanesením vývojky [16].

PT metoda se provádí dle normy ČSN EN ISO 3452-1 [33], stupně přípustnosti dle ČSN EN ISO 23277 [34].

8.1.3 Metoda magnetická prášková (MT)

Tato metoda je určena ke zjišťování povrchových vad nebo vad ležících těsně pod povrchem. Metoda je použitelná pouze pro materiály feromagnetické, tedy pro oceli obvyklých jakostí. Princip metody spočívá v rozptýlení feromagnetického prášku ve vhodné kapalině na zkoušený povrch. V místě vady dochází ke změně magnetického odporu a hromadí se zde prášek, který kopíruje tvar vady [16].

MT metoda se provádí dle normy ČSN EN ISO 17638 [35]. Stupně přípustnosti udává norma ČSN EN ISO 23278 [36].

8.1.4 Metoda ultrazvuková (UT)

Jedna z metod pro kontrolu vnitřních vad materiálu. Principem je šíření akustického vlnění materiálem a zaznamenání změn rozdílných akustických vlastností vyvolaných přítomností vady v homogenním základním materiálu. UT využívá ultrazvuk v pásmu frekvencí 0,5–25 MHz [16].

Provedení metody je dle ČSN EN ISO 16810 [37], stupeň přípustnosti ČSN EN ISO 11666 [38].

8.1.5 Metoda prozařovací (RT)

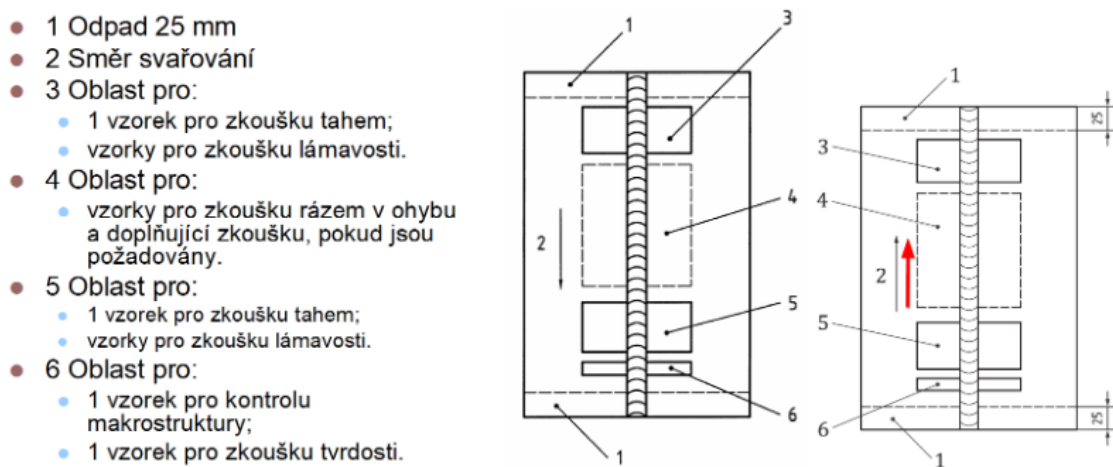
Princip této metody spočívá v průchodu použitého záření (rtg, gama, urychlovačů) zkoušeným tělesem a následný výstup za zkoušeným materiálem buď zviditelnit nebo trvale zachytit. Při průchodu je záření zeslabováno materiálem rovnoměrně, v místě vady je záření zeslabeno a má tvar odpovídající tvaru vady a takto je zachycen na výstupu [16].

Podle použitého záření se metody dělí na:

- **Radioskopické** – použití u sériové výroby, zobrazuje prozářený obraz v reálném čase.
- **Radiografické** – prošlé záření a tím prošlý obraz je zachycen na film k trvalému uchování.
- **Radiometrické** – měření lokálních změn prošlého záření, vhodné pro měření tloušťek materiálu.

8.2 Destruktivní zkoušení

Nedestruktivní zkoušení nám pomáhá objevovat vady, které mají vliv na výsledné vlastnosti svaru. Destruktivní zkoušky nám pomáhají určit změnu mechanických vlastností nebo změnu struktury svaru a tepelně ovlivněné oblasti (TOO). To je důležité pro použití optimální technologie svařování a optimálních podmínek a parametrů svařování, aby měl výsledný svar zaručené mechanické vlastnosti. Odběr vzorků ze svařeného zkušebního kusu je dán normou ČSN EN ISO 15614-1 [39], viz obr. 50.



Obrázek 50 - Odběr vzorků ze svařového spoje pro zkoušky [40]

Základní destruktivní zkoušky svarů jsou popsány v odstavcích níže.

8.2.1 Zkouška tahem

Patří mezi základní mechanické zkoušky prováděné na normalizované zkušební tyči s umístěním svaru podél, nebo napříč, zatěžované až do porušení vzorku. Výsledné hodnoty nám dávají tyto mechanické vlastnosti:

- mez pevnosti – R_m [MPa]
- maximální síla – F_{max} [N]

Provádění příčné zkoušky tahem předepisuje norma ČSN EN ISO 4136 [41] v souladu s normou ČSN EN ISO 6892 [42]. Podélnou zkoušku tahu svarem předepisuje norma ČSN EN ISO 5178 [43] v souladu s normou ČSN EN ISO 6892 [42] [44].

8.2.2 Zkouška rázem v ohybu

Tato zkouška patří mezi mechanické zkoušky dynamické a zjišťuje se její pomocí houževnatost materiálu, a to za normálních nebo snížených teplot. Zkouška se provádí pomocí Charpyho kladiva na normalizovaném zkušebním vzorku s normalizovaným vrubem tvaru V, nebo U, v oblasti svaru (VWT) nebo v přechodové oblasti (VHT). Výsledná hodnota KV (KU) uvádí minimální práci v Joulech potřebnou k přeražení zkušebního vzorku při požadované teplotě. Prováděním zkoušek za různých teplot zkušebních vzorků lze určit i tranzitní teplotu, tj. teplotu, kdy má výsledný lom strukturu z 50 % tvárnou. Podle místa odběru zkušební tyče ze vzorku, tvaru vrubu a jeho orientaci existuje jednotné značení, které se zapisuje do protokolů [44]. Zkoušku rázem v ohybu předepisuje norma ČSN EN ISO 9016 [45] v souladu s normou ČSN EN ISO 148-1 [46].

8.2.3 Zkouška ohybem

Provádí se na normalizovaném zkušebním vzorku odebraném ze svarového spoje, který je následně ohýbán buď ze strany lícové svaru (TFBB), ze strany kořene svaru (TRBB) nebo ze strany boční (SBB) až na předepsaný úhel. Výsledkem je úhel ohybu, kdy dojde k porušení, počet a velikost vad [44]. Zkouška ohybem se provádí dle ČSN EN ISO 5173 [47].

8.2.4 Zkouška tvrdosti

Provádí se na příčném řezu svarového spoje jednotlivými vpichy nebo řadou vpichů ve vzdálenostech definovaných normou, a to na základním materiálu 1, TOO, svarovém kovu, TOO a základním materiálu 2. Měření probíhá jak v oblasti blízké krycí části svaru, tak v oblasti kořenové. Nejvíce se využívá zkouška tvrdosti dle Vickerse při zatížení 49,03 N (HV5) nebo zatížení 98,07 N (HV10) [19]. Zkouška tvrdosti svarových spojů se provádí dle ČSN EN ISO 9015-1 [48], zkouška tvrdosti dle Vickerse se provádí dle ČSN EN ISO 6507-1 [49].

8.2.5 Makro a mikrostruktura

Jsou to doplňkové zkoušky, které nám umožňují hodnotit průběh kladení svarových housenek, jejich napojení, tvar svaru, tvar a velikost tepelně ovlivněné oblasti, hranici ztavení, velikost zrn a strukturní složení svarového kovu, tepelně ovlivněné oblasti a základního materiálu. Zkoušky se provádí na pečlivě připraveném, broušeném a leptaném povrchu, kdy při použití správného leptadla vyniknou požadované obrysy k vyhodnocení.

Pro makrostrukturu se využívá maximální zvětšení 30×, pro mikrostrukturu se používá zvětšení až 2000× za použití mikroskopu. Tyto metody vyžadují zkušenost a odbornost při vyhodnocování [50].

8.3 Zkoušky provedené v experimentální části

Po provedení svaření všech vzorků a rovnání vzorku číslo 3 byly očištěny povrchy od strusky a okují. Jako hlavní vzorky pro další zkoušení byly vybrány vzorky číslo 2 a 3, vzorek číslo 1 byl ponechán jako rezervní pro případ defektních svarů vybraných vzorků. Vzorek svarového spoje číslo 2 byl označen jako „*pouze svařeno*“ a vzorek svarového spoje číslo 3 byl označen jako „*svařeno a rovnáno plamenem za teploty cca 800 °C*“.

Vzorky byly k odbornému vyhodnocení předány do Vítkovice Testing Center v Ostravě. Zde byly provedeny zkoušky prozářením dle protokolu o zkoušení číslo VTC.40/1904240 a zkouška ultrazvukem dle protokolu VTC.40/1904241, viz přílohy. Obě zkoušky pro vzorky číslo 2 a 3 byly vyhovující.

Následně bylo provedeno dělení svarového spoje a byly provedeny následující destruktivní zkoušky:

8.3.1 Zkouška ohybem-boční

Dle protokolu o zkoušení číslo 9438Z19 strana 1/4 pro svarový spoj číslo 2 a protokolu číslo 9439Z19 strana 1/4 pro svarový spoj číslo 3 byly provedeny zkoušky ohybem z boční strany svarového spoje – dle normy boční strana je označena SBB. Z každého spoje byly zhotoveny 4 vzorky, které byly testovány. Průměr ohýbacího trnu byl 40 mm a vzdálenost mezi opěrami 70 mm. Požadovaný úhel ohybu $\alpha=180^\circ$ byl dosažen u všech vzorků bez vad, viz tab. 8. Zde jsou seřazeny výsledky z výše uvedených protokolů mechanických zkoušek.

Tabulka 8 - Porovnání výsledků zkoušky ohybem pro svarový spoj číslo 2 a 3

Číslo protokolu	Číslo vzorku	Svarový spoj číslo	Rozměr vzorku T × Š × L (mm)	Typ tyče	Úhel ohybu (°)	Druh vady
9438Z19 list 1/4	201	2 (jen svařeno)	10 × 12 × 300	Boční SBB	180	bez vad
9438Z19 list 1/4	202	2 (jen svařeno)	10 × 12 × 300	Boční SBB	180	bez vad
9438Z19 list 1/4	203	2 (jen svařeno)	10 × 12 × 300	Boční SBB	180	bez vad
9438Z19 list 1/4	204	2 (jen svařeno)	10 × 12 × 300	Boční SBB	180	bez vad
9439Z19 list 1/4	301	3 (svařeno + rovnáno)	10 × 12 × 300	Boční SBB	180	bez vad
9439Z19 list 1/4	302	3 (svařeno + rovnáno)	10 × 12 × 300	Boční SBB	180	bez vad
9439Z19 list 1/4	303	3 (svařeno + rovnáno)	10 × 12 × 300	Boční SBB	180	bez vad
9439Z19 list 1/4	304	3 (svařeno + rovnáno)	10 × 12 × 300	Boční SBB	180	bez vad

8.3.2 Zkouška tahem

Tahová zkouška byla provedena na dvou zkušebních vzorcích z každého svarového spoje při zkušební teplotě 20 °C. Výsledkem je maximální zatížení, mez pevnosti a určení místa lomu. Hodnoty, převzaté z protokolů mechanických zkoušek, jsou uvedeny pro srovnání v tab. 9.

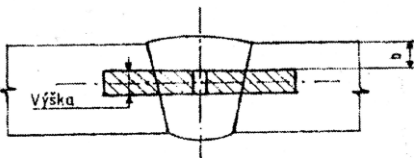
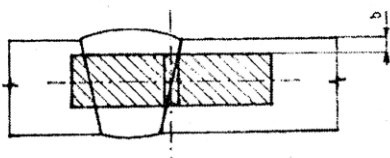
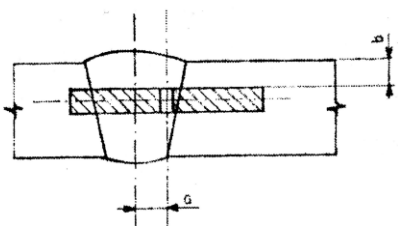
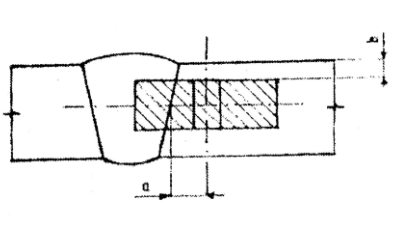
Tabulka 9 - Srovnání výsledků zkoušky tahem pro svarový spoj číslo 2 a 3

Číslo protokolu	Číslo vzorku	Svarový spoj číslo	Rozměr vzorku T × Š (mm)	Maximální zatížení F _{max} (kN)	Mez pevnosti R _m (Mpa)	Místo lomu
9438Z19 list 2/4	2T1	2 (jen svařeno)	12 × 25	152,0	507	mimo svar
9438Z19 list 2/4	2T2	2 (jen svařeno)	12 × 25	153,0	510	mimo svar
9439Z19 list 2/4	3T1	3 (svařeno + rovnáno)	12 × 25	122,0	407	mimo svar
9439Z19 list 2/4	3T2	3 (svařeno + rovnáno)	12 × 25	124,0	413	mimo svar

8.3.3 Zkouška rázem v ohybu

Zkouška rázem v ohybu byla provedena na dvou zkušebních vzorcích z každého svarového spoje při zkušební teplotě $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$. Jeden vzorek z každého spoje byl vybrán ze svarového kovu (VWT 0/2) a druhý z TOO oblasti (VHT 2/2). Symbol VWT 0/2 znamená, že vzorek byl vybrán z osy svaru (hodnota 0) a 2 mm od povrchu svaru (hodnota 2) s vrubem typu V kolmým k povrchu svaru. To znamená, že byl zkoušen svarový kov. Symbol VHT 2/2 znamená, že vzorek byl vybrán 2 mm od osy natavení, 2 mm od povrchu svaru a s vrubem typu V umístěným kolmo k povrchu svaru, viz obr. 51.

Naměřené výsledky jsou převzaty z protokolů o mechanickém zkoušení a uvedeny pro srovnání v tab. 10.

Odkaz	Sříd svaru	Odkaz	Linie natavení (svaru)
Značení	Znázornění	Značení	Znázornění
VWT 0/b		VHT 0/b	
VWT a/b		VHT a/b	

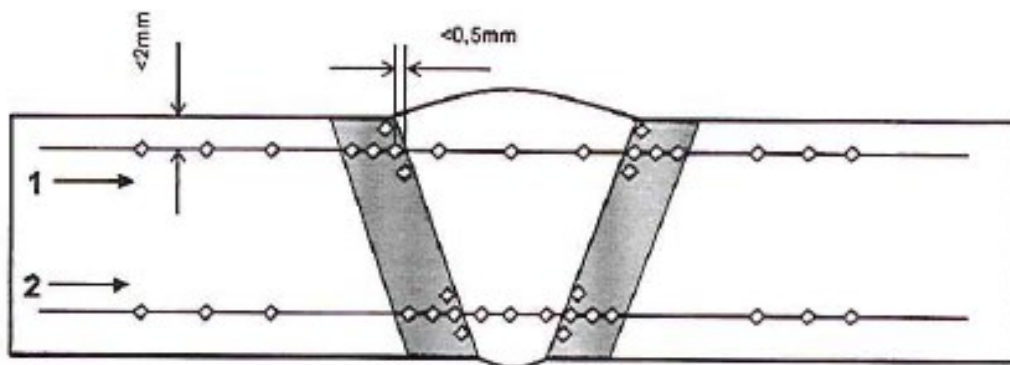
Obrázek 51 - Význam značek odběru vzorků pro vrubovou houževnatost [20]

Tabulka 10 - Srovnání výsledků nárazové práce pro svarový spoj číslo 2 a 3

Číslo protokolu	Číslo vzorku	Umístění	Svarový spoj číslo	Materiál	Typ tyče	Zkušební teplota (°C)	Nárazová práce (J)	Průměrná hodnota ze 3 zkoušek nárazové práce (J)
9438Z19 list 3/4	2V1-3	VWT 0/2	2 (jen svařeno)	G4Si1	KV2 10x7,5	-20	109 90 93	97,3
9438Z19 list 3/4	2V4-6	VHT 2/2	2 (jen svařeno)	S355MC	KV2 10x7,5	-20	171 184 188	181,0
9439Z19 list 3/4	3T1	VWT 0/2	3 (svařeno + rovnáno)	G4Si1	KV2 10x7,5	-20	140 145 148	144,3
9439Z19 list 3/4	3T2	VHT 2/2	3 (svařeno + rovnáno)	S355MC	KV2 10x7,5	-20	172 196 202	190,0

8.3.4 Zkouška tvrdosti

Tato zkouška byla provedena metodou dle Vickerse HV10 (zatížení 98,07 N), při teplotě +20 °C na jednom vzorku z každého spoje. Měření bylo provedeno vždy v oblasti blízké se povrchu svaru, viz šipka 1, a v oblasti blízké se kořeni svaru, viz šipka 2, jak je znázorněno na obr. 52 převzatého z přílohy H a I.



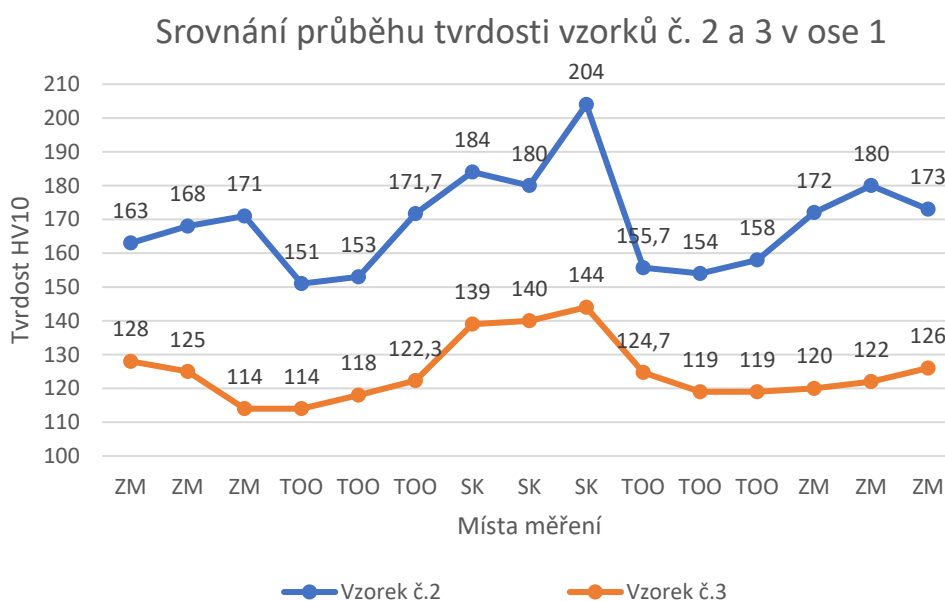
Obrázek 52 - Místa měření tvrdosti zkušebních vzorků

V tab. 11 je srovnání naměřených hodnot tvrdostí HV10 v jednotlivých místech v ose měření: základní materiál-TOO-svarový kov-TOO-základní materiál, viz obr. 52. Barevně jsou odlišeny maxima a minima hodnot tvrdosti HV10, žlutá barva je pro maximální tvrdost v ose měření a oranžová pro minimální tvrdost v ose měření.

Tabulka 11 - Srovnání výsledků zkoušek tvrdosti HV10 pro svarový spoj číslo 2 a 3

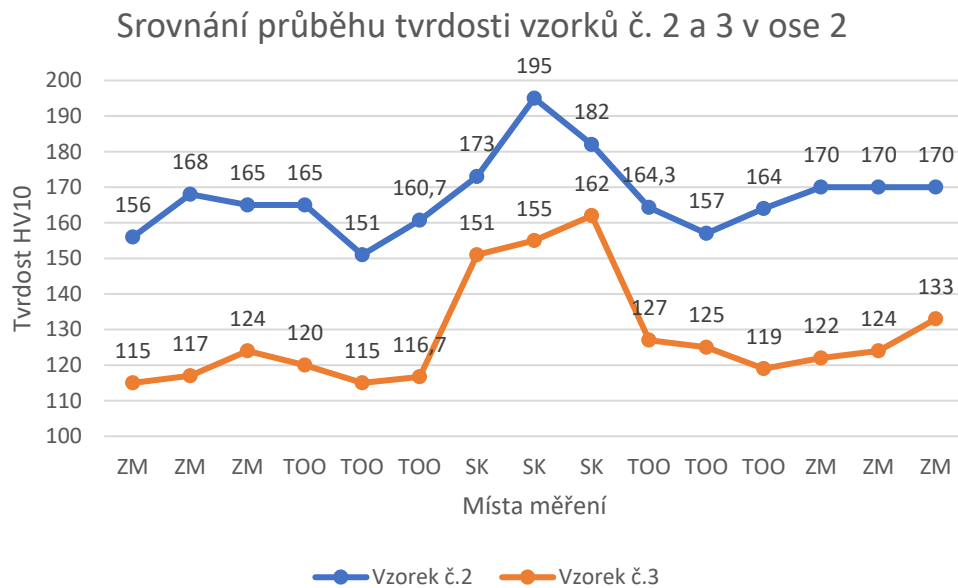
Svarový spoj číslo 2 (jen svařeno) - Zkušební protokol 9438Z19 list 4/4															
Tvrdość HV10															
Směr	Základní materiál			TOO			Svarový kov			TOO			Základní materiál		
1 →	163	168	171	151	153	168 180 167	184	180	204	154 155 158	154	158	172	180	173
2 →	156	168	165	165	151	159 166 157	173	195	182	159 173 161	157	164	170	170	170
Svarový spoj číslo 3 (svařeno + rovnáno) - Zkušební protokol 9439Z19 list 4/4															
Tvrdość HV10															
Směr	Základní materiál			TOO			Svarový kov			TOO			Základní materiál		
1 →	128	125	114	114	118	123 116 128	139	140	144	127 128 119	119	119	120	122	126
2 →	115	117	124	120	115	114 121 115	151	155	162	131 124 126	125	119	122	124	133

Srovnání průběhu tvrdosti vzorku číslo 2 a 3 v ose měření 1 je uvedeno v grafu na obr. 53.



Obrázek 53 - Graf srovnání průběhu tvrdosti v ose 1

Srovnání průběhu tvrdosti vzorku číslo 2 a 3 v ose měření 2 je uvedeno v grafu na obr. 54.

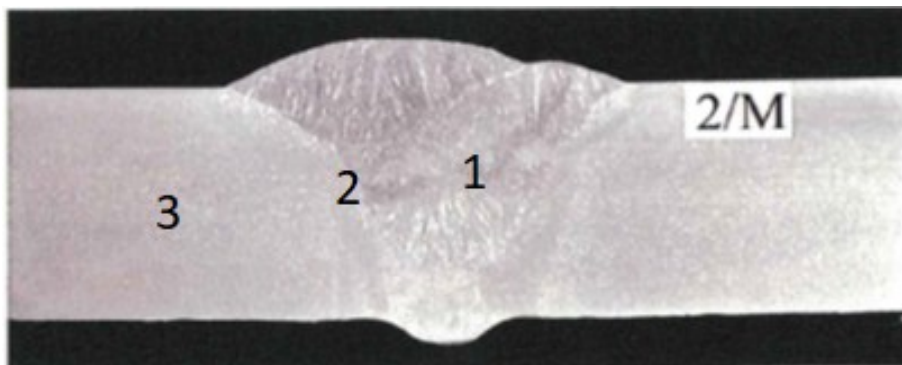


Obrázek 54 - Graf srovnání průběhu tvrdosti v ose 2

8.3.5 Makro a mikrostruktura svarových spojů

Vzorek číslo 2 (jen svařeno)

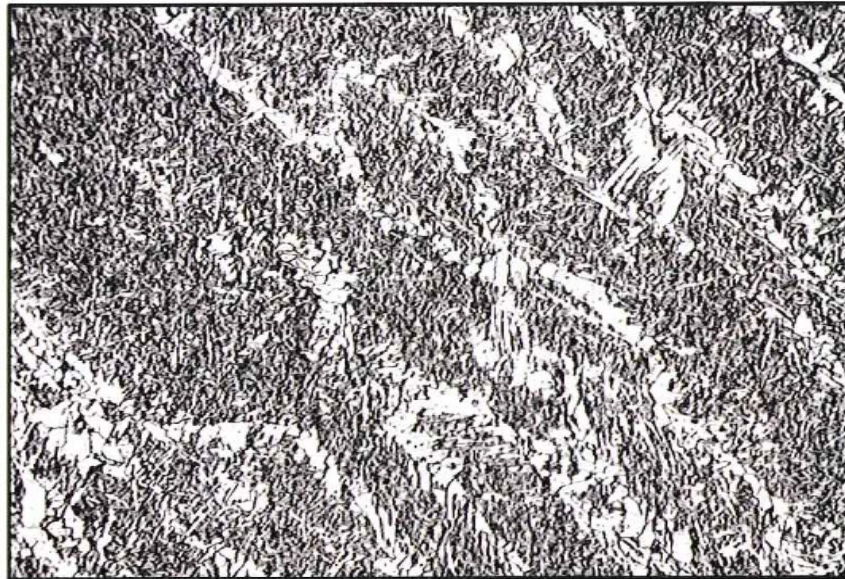
Makro a mikrostruktura zkušebního svarového spoje číslo 2 je uvedena v protokolu číslo P2200/19, viz příloha H. Makrostruktura na obr. 55 nám ukazuje složení svarových housenek, svarový kov, hranice ztavení, TOO i základní materiál. Spoj nevykazuje žádné vady.



Obrázek 55 - Makrostruktura svarového spoje číslo 2 - zvětšeno 3×

1. Svarový kov svarového spoje číslo 2

Mikrostruktura svarového kovu je licí, bainiticko-feritická – viz obr. 56.



Obrázek 56 - Mikrostruktura svarového kovu spoje číslo 2 - zvětšeno 200×

2. Tepelně ovlivněná oblast svarového spoje číslo 2

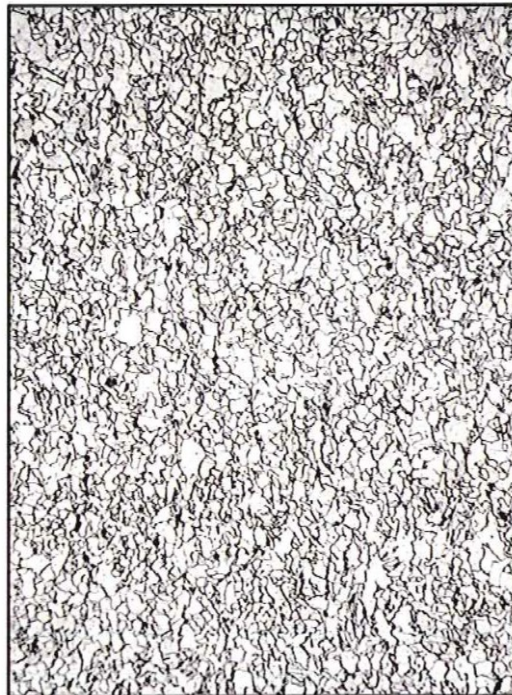
Tepelně ovlivněná oblast na hranici ztavení svarový kov/základní materiál je hrubozrnná, tvořena bainitem, viz obr. 57.



Obrázek 57 - Mikrostruktura TOO svarového spoje číslo 2 - zvětšeno 200×

3. Základní materiál svarového spoje číslo 2

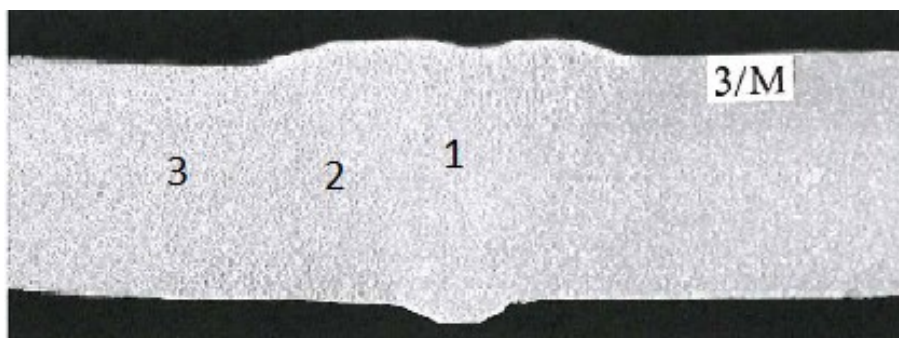
Struktura základního materiálu je tvořena feritem se zbytky bainitu (perlitu), viz obr. 58.



Obrázek 58 - Mikrostruktura ZM svarového spoje číslo 2 - zvětšeno 200×

Vzorek číslo 3 (svařeno a rovnáno)

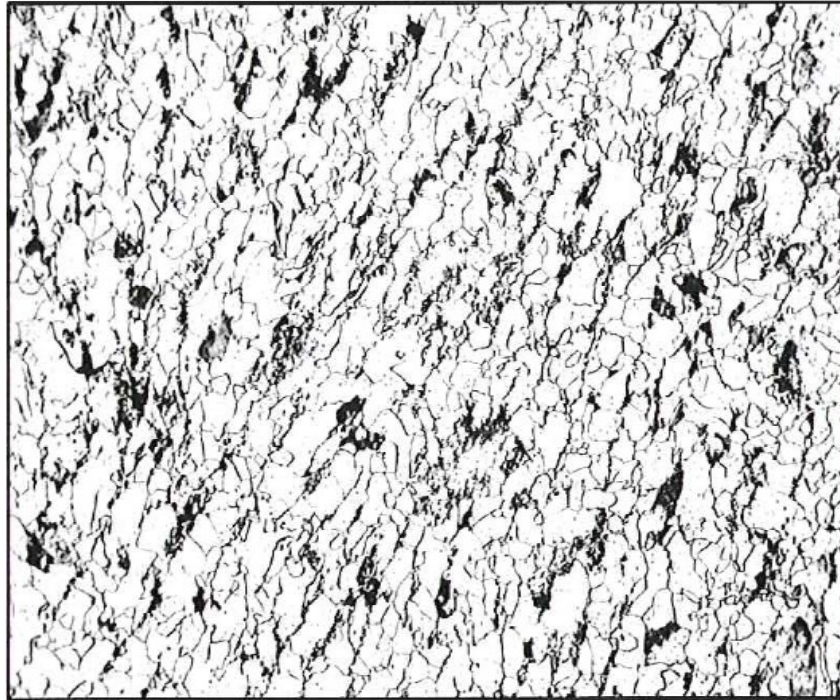
Makro a mikrostruktura zkušebního svarového spoje číslo 3 je uvedena v protokolu číslo P2200-1/19, viz příloha I. Makrostruktura na obr. 59 nám ukazuje zrovnoměnění struktury svarového spoje bez výraznějších náznaků kladení housenek či hranice ztavení. Spoj nevykazuje žádné vady.



Obrázek 59 - Makrostruktura svarového spoje číslo 3 - zvětšeno 3x

1. Svarový kov svarového spoje číslo 3

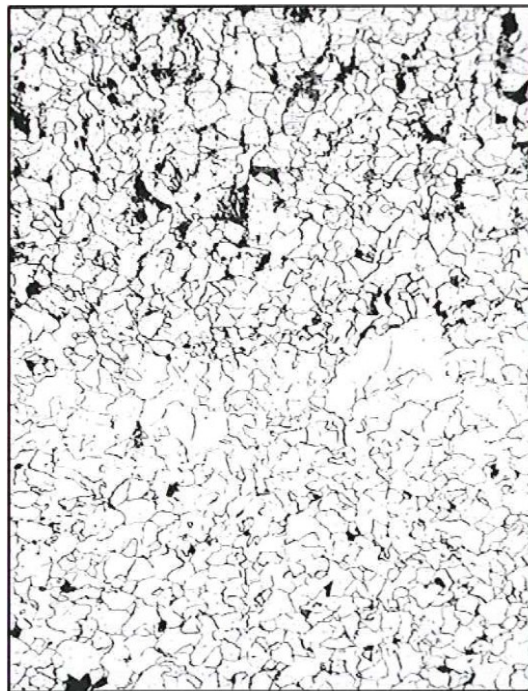
Mikrostruktura svarového kovu je lící, bainiticko-feriticko-perlitická, viz obr. 60.



Obrázek 60 - Mikrostruktura svarového kovu spoje číslo 3 - zvětšeno 200×

2. Tepelně ovlivněná oblast svarového spoje číslo 3

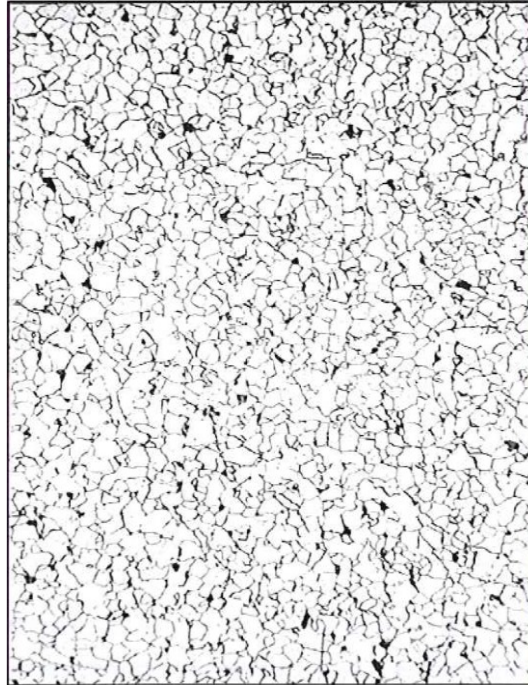
Mikrostruktura tepelně ovlivněné oblasti na hranici ztavení svarový kov/základní materiál je rovnoměrná, tvořena feritem a ojediněle vyloučeným perlitem, viz obr. 61.



Obrázek 61 - Mikrostruktura TOO svarového spoje číslo 3 - zvětšeno 200×

3. Základní materiál svarového spoje číslo 3

Struktura základního materiálu je feritická s ojedinělým výskytem perlitických nodulí, viz obr. 62.



Obrázek 62 - Mikrostruktura ZM svarového spoje číslo 3 - zvětšeno 200×

9. Závěr

V teoretické části diplomové práce je popsán princip výroby termomechanických ocelí a mechanismy příčin jejich zvýšených mechanických vlastností. Pro experimentální část diplomové práce byla vybrána ocel S355MC. V další části je popsána metoda svařování 135 (MAG) a použité přenosy kovu v oblouku, vznik deformací a mechanismy rovnání s vyzdvižením nejpoužívanější metody rovnání kyslíko-acetylenovým plamenem.

V experimentální části byla popsána příprava vzorků pro svařování, výpočet teploty přehřevu pro danou ocel, byly navrženy svařovací parametry a vypracován předběžný postup svařování pWPS, podle kterého byly vzorky sestaveny, svařeny a následně vzorek číslo 3 rovnán kyslíko-acetylenovým plamenem při maximální teplotě 800 °C. Všechny parametry a hodnoty byly zapsány do záznamů o svařování. Po provedení a ukončení svařování a rovnání byly vybrané vzorky číslo 2 a 3 předány do zkušebny k provedení potřebných zkoušek, aby mohly být porovnány a vyhodnoceny mechanické hodnoty a struktura svarového kovu, TOO i základního materiálu.

Ze záznamů o průběhu svařování je patrné, že oproti pWPS byl počet svarových housenek ve skutečnosti šest namísto pěti. Důvodem bylo provádění menších svarových housenek bez rozkyvu a tím zmírnění možnosti vytváření vrubů, zápalů a také z důvodu lepšího vyplnění svarového úkosu. Svařovací proud pro kořen svaru byl při reálném svařování v rozmezí pWPS, svařovací napětí bylo při prováděném svařování vyšší než předpokládané. Pro svařování výplňových a krycích vrstev byl svařovací proud oproti předpokladu použit vyšší, svařovací napětí bylo v rozmezí pWPS.

Hodnoty výsledků mechanických zkoušek jsou pro srovnání seřazeny v tab. 12, mimo zkoušky ohybem, kdy bylo u obou vzorků dosaženo ohybu 180° bez výskytu vad.

Tabulka 12 - Porovnání výsledků naměřených hodnot pro vzorky 2 a 3

	Mez pevnosti Rm		Průměrná nárazová práce		Tvrdość HV10 oblast svarového spoje s maximální a minimální naměřenou hodnotou					
	základní materiál	(Mpa)	základní materiál	(J)	směr	místo měření	HV10 max.	směr	místo měření	HV10 min.
Svarový spoj č.2 (jen svařeno) číslo protokolu 94378Z19	S355MC	507	G4SiI	97,3	1	svarový kov	204	1	TOO	151
	S355MC	510	S355MC	181	2	svarový kov	195	2	TOO	151
Svarový spoj č.3 (svařeno+rovnáno) číslo protokolu 9439Z19	S355MC	407	G4SiI	144,3	1	svarový kov	144	1	TOO	114
	S355MC	413	S355MC	190	2	svarový kov	162	2	TOO	114

Z porovnání naměřených hodnot vyplývá, že vzorek číslo 2, který byl jen svařen, má naměřenou hodnotu meze pevnosti 510 MPa, která je v rozmezí meze pevnosti základního materiálu. Ta je v rozmezí 430–550 MPa. Kdežto mez pevnosti 413 MPa u vzorku číslo 3, který byl rovnán plamenem, nedosahuje ani minimální hodnoty rozsahu pevnosti základního materiálu.

Naměřená tvrdost je u obou vzorků nejvyšší ve svarovém kovu a nejnižší v tepelně ovlivněné oblasti svarového spoje, přičemž jsou hodnoty tvrdosti u vzorku číslo 3 (svařeno a rovnáno) nižší než u vzorku jen svařeného.

Naopak vyšší jsou hodnoty pro nárazovou práci u vzorku číslo 3 rovnaného plamenem, zejména je to patrné pro oblast svarového kovu.

Z pohledu makrostruktury jsou oba vzorky bez jakýchkoli vad. Kořen svaru, výplně i krycí vrstvy jsou bez zápalů a vrubů. Makrostruktura rovněž nevykazuje žádné studené spoje, trhliny, póry, ani vměstky.

Mikrostruktura svarového kovu obou vzorků je licí, bainiticko-feritická. Na hranici ztavení/základní materiál je pro vzorek 2 (jen svařeno) struktura bainitická, pro vzorek 3 (svařeno a rovnáno) je struktura převážně feritická. Základní materiál je u vzorku číslo 2 feritický se zbytky bainitu. Vzorek číslo 3 má základní materiál tvořen feritem s ojedinělými zbytky perlitu.

Z toho vyplývá, že vzorek číslo 2 (jen svařeno) by byl pro další použití jako výrobek vyhovující. A to jak z pohledu hodnot meze pevnosti, kdy hodnota 510 MPa je v rozmezí tolerance meze pevnosti oceli S355MC, tak i z pohledu nárazové práce, která je pro tuto ocel a teplotu zkoušky $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ minimálně 40 J, tak i z pohledu tvrdosti, kdy pro oceli S260 až S700 dle EN 10149-2 může být hodnota tvrdosti HV10 až 450.

Vzorek číslo 3 (svařeno a rovnáno) je z hlediska pevnosti nevyhovující pro značný pokles meze pevnosti pod minimální hodnotu dané oceli. Ostatní mechanické hodnoty jsou vyhovující.

Z pohledu mikrostruktury je zřejmé, že u vzorku číslo 3 (svařeno a rovnáno) došlo vlivem vysoké teploty okolo $800\text{ }^{\circ}\text{C}$, tedy teploty nad A_1 , k vyžhání oblasti svarového kovu, TOO a částečně i základního materiálu, které vedlo k přeměně struktury bainitické na strukturu feritickou se zbytky perlitu. Zároveň došlo u hranice ztavení v TOO k překrystalizaci hrubozrnné struktury na jemnozrnnou. Změnou struktury došlo i ke změně mechanických vlastností.

Volba metody svařování 135 (MAG), přídavného svařovacího materiálu, ochranného plynu i parametrů svařování dle pWPS byly pro svařování této oceli správné a výsledný svarový spoj vyhověl nedestruktivním i destruktivním zkouškám.

Vzhledem k omezenému rozpočtu nemohlo být provedeno více zkoušek s rovnáním kyslíko-acetylenovým plamenem za různých teplot, aby se daly relevantně porovnat dané výsledky. Je patrné, že teploty přesahující teplotu A_1 mají pro tuto ocel degradační účinky nejen z pohledu mechanických vlastností, ale i z pohledu změny struktury.

Jak bylo uvedeno v kapitole 1.3 lze tuto TMZ ocel žíhat do teploty $560\text{ }^{\circ}\text{C}$, stejně tak by takováto teplota měla být i maximální pro případné rovnání kyslíko-acetylenovým plamenem. Vzhledem k možnostem a tvaru případných výrobků z tohoto materiálu by bylo vhodnější rovnání prováděné pouze mechanicky, aby nedošlo ke znehodnocení vlastností vzniklých termomechanickým zpracováním.

Poděkování

Tímto děkuji vedoucímu diplomové práce panu doc. Ing. Petru Mohylovi, Ph.D. za cenné rady a odbornou pomoc při vypracování diplomové práce.

Poděkování patří i pracovníkům Vítkovice Testing Center za provedení NDT a mechanických zkoušek pro experimentální část.

Zvláštní poděkování patří mé ženě a synovi za pomoc, trpělivost a vytváření vhodných podmínek po celou dobu studia.

10. Seznam použitých zdrojů

- [1] JECH, Jaroslav. *Tepelné zpracování oceli: metalografická příručka*. 4., přeprac. a dopl. vyd. Praha: SNTL-Nakladatelství technické literatury, 1983.
- [2] AMBROŽ, Oldřich, Bohumil KANDUS a Jaroslav KUBÍČEK. *Technologie svařování a zařízení: učební texty pro kurzy svářečských inženýrů a technologů*. Ostrava: Zeross, 2001. Svařování. ISBN 80-85771-81-0.
- [3] ČSN EN 10204: *Kovové výrobky-Druhy dokumentů kontroly*. Praha, Český normalizační institut, 2005.
- [4] JONŠTA, Zdeněk. *Nauka o kovech II*. 2. vyd. Ostrava: VŠB-Technická univerzita Ostrava, 2000. ISBN 80-7078-958-1.
- [5] ČSN EN 10027-1 (420011): *Systémy označování ocelí – Část 1: Stavba značek oceli*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2017.
- [6] ČSN EN 10149-2 *Ploché výrobky válcované za tepla z ocelí s vyšší mezí kluzu pro tváření za studena: Část 2: Technické dodací podmínky pro termomechanicky válcované oceli*. Praha: Úřadu pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2013.
- [7] ČSN EN 10025-4. *Výrobky válcované za tepla z konstrukčních ocelí: Část 4: Technické dodací podmínky pro termomechanicky válcované svařitelné jemnozrnné konstrukční oceli*. Praha: Úřadu pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2005.
- [8] ČSN EN 5817. *Svařování – Svarové spoje oceli, niklu, titanu a jejich slitin zhotovené tavným svařováním (kromě elektronového a laserového svařování) – Určování stupňů kvality*. Praha: Úřadu pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2014.
- [9] Bolzano | Technická příručka. *Bolzano | Úvod* [online]. Copyright © 2020 Bohdan Bolzano, s. r. o. [cit. 27.03.2020]. Dostupné z: <https://bbolzano.cz/cz/technicka-podpora/technicka-prirucka>
- [10] ČSN EN ISO 4063. *Svařování a příbuzné procesy – Přehled metod a jejich číslování*. Praha: Úřadu pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2011.
- [11] KUBÍČEK, Jaroslav.: *Technologie II – část svařování, díl 1 základní metody tavného svařování, sylabus přednášek, VUT v Brně*, 2006.
- [12] Schinkmann, *Svařování MIG/MAG, MIG svařování, MAG svařování, svařování plněnou elektrodou* [online]. Copyright © 2020 Schinkmann, s.r.o. [cit. 27.03.2020]. Dostupné z: <https://www.schinkmann.cz/mig-mag-co2>

- [13] HAVELKA, PAVEL. MIG/MAG (CO₂) | Metody | O svařování. In: *Automig – internetový magazín*. [online] Migatronic CZ a. s. [cit. 27.03.2020].
Dostupné z: <http://automig.cz/o-svarovani/metody/migmag-co2/>
- [14] Fusion Welding Processed. ASM. *ASM handbook: Welding, Brazing and Soldering*. 10th ed. Materials Park: ASM International, 1990, s. 558-839. ISBN 0-87170-382-3.
- [15] POSPÍŠILOVÁ, DANUŠE. Příslušenství svařovací soupravy pro plamenové svařování, svařovací nástavce-hořáky. *SlidePlayer – Nahrávejte a Sdílejte své PowerPoint prezentace* [online]. Copyright © 2020 SlidePlayer.cz Inc. [cit. 27.03.2020]. Dostupné z: <https://slideplayer.cz/slide/12862350/>
- [16] BARTÁK, Jiří. *Výroba a aplikované inženýrství ve svařování: učební texty pro kurzy svářečských inženýrů a technologů*. Ostrava: Zeross, 2000. Svařování. ISBN 80-85771-72-1.
- [17] TNI CEN ISO/TR 10347:2007 *Pokyny pro tváření konstrukčních ocelí*, Praha: Český normalizační institut, TNK 62, 2007.
- [18] BOC. *Fundamentals of Flame Straightening*. [online] [cit. 27.03.2020]. Dostupné z: https://www.boconline.co.uk/internet.lg.lg.gbr/en/images/-Fundamentals-of-Flame-Straightening410_113398.pdf
- [19] ČSN EN 1089-3. *Lahve na přepravu plynů – Označování lahví na plyny (vyjma LPG): Část 3: Barevné značení*. Praha: Úřadu pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2012.
- [20] U7 – injektorová svařovací souprava from GCE Group, leading manufacturer of gas flow control equipment – GCE Group Czech Region. *Home Page – GCE Group Czech Region* [online] [cit. 27.03.2020]. Dostupné z: <https://czech.gcegroup.com/products/u7-injektorova-svarovaci-souprava>
- [21] ČSN EN ISO 9692-1. *Svařování a příbuzné procesy – Doporučení pro přípravu svarových spojů: Část 1: Svařování ocelí ručně obloukovým svařováním obalenou elektrodou, tavící se elektrodou v ochranném plynu, plamenovým svařováním, svařováním wolframovou elektrodou v ochranné atmosféře inertního plynu a svařováním svazkem paprsků*. Praha: Úřadu pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2014.
- [22] ČSN EN ISO 9606-1: *Zkoušky svářečů – Tavné svařování – Část 1: Oceli*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2014.
- [23] FOLDYNA, Václav. *Materiály a jejich svařitelnost: učební texty pro kurzy svářečských inženýrů a technologů*. 2. upr. vyd. Ostrava: Zeross, 2001. Svařování. ISBN 80-85771-85-3

- [24] ČSN 051310 (051310). *Zváranie. Skúšanie zvariteľnosti ocelí. Základné ustanovenia*. Praha: Český normalizační institut, 1986.
- [25] ČSN EN ISO 14341. *Svařovací materiály – Drátové elektrody pro obloukové svařování nelegovaných a jemnozrnných ocelí v ochranném plynu a jejich svarové kovy – Klasifikace*. Praha: Úřadu pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2010.
- [26] OCHODEK, Vladislav. Vliv teplotního režimu svařování na vlastnosti svarových spojů - I. In: *domzo13.cz* [online]. Ostrava: VŠB TUO, 2011 [cit. 27.03.2020]
Dostupné z:
http://www.domzo13.cz/dokumenty/vyuka/seminare/vliv_tepl_rezimu_a1.pdf
- [27] ČSN EN ISO 13916. *Svařování – Směrnice pro měření teploty předehřevu, teploty interpass a teploty ohřevu*. Praha: Úřadu pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2018.
- [28] Jednokanálový teploměr PL-120 T1. *Voltcraft – internetový obchod* [online]. [cit. 14.04.2020]. Dostupné z: <http://www.voltcraft.cz/jednokanalovy-teplomer-pl-120-t1.k123401#>
- [29] Teplotní čidlo Greisinger GOF 130, typ K, -65 až +900 °C, 100880 | Conrad.cz. *Conrad Electronic – obchod s elektronikou a technikou* [online]. Copyright © [cit. 14.04.2020]. Dostupné z: <https://www.conrad.cz/teplotni-cidlo-greisinger-gof-130-typ-k-65-az-900-c-100880.k125931>
- [30] BEZUCHA, Viktor. Kovací teploty oceli. In: *SlidePlayer – Nahrávejte a Sdílejte své PowerPoint prezentace* [online]. Copyright © 2020 SlidePlayer.cz Inc. [cit. 17.04.2020]. Dostupné z: <https://slideplayer.cz/slide/2753914/>
- [31] ČSN EN ISO 9712. *Nedestruktivní zkoušení – Kvalifikace a certifikace pracovníků NDT*. Praha: Úřadu pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2013.
- [32] ČSN EN ISO 17637. *Nedestruktivní zkoušení svarů – Vizuální kontrola tavných svarů*. Praha: Úřadu pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2018.
- [33] ČSN EN ISO 3452-1. *Nedestruktivní zkoušení – Kapilární zkouška: Část 1: Obecné zásady*. Praha: Úřadu pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2015.
- [34] ČSN EN ISO 23277. *Nedestruktivní zkoušení svarů – Zkoušení kapilární metodou – Stupně přípustnosti*. Praha: Úřadu pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2016.

- [35] ČSN EN ISO 17638. *Nedestruktivní zkoušení svarů – Zkoušení magnetickou metodou práškovou*. Praha: Úřadu pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2017.
- [36] ČSN EN ISO 23278. *Nedestruktivní zkoušení svarů – Zkoušení magnetickou práškovou metodou – Stupně přípustnosti*. Praha: Úřadu pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2016.
- [37] ČSN EN ISO 16810. *Nedestruktivní zkoušení – Zkoušení ultrazvukem – Obecné zásady*. Praha: Úřadu pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2014.
- [38] ČSN EN ISO 11666. *Nedestruktivní zkoušení svarů – Zkoušení ultrazvukem – Úrovně přípustnosti*. Praha: Úřadu pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2019.
- [39] ČSN EN ISO 15614-1. *Stanovení a kvalifikace postupů svařování kovových materiálů – Zkouška postupu svařování – Část 1: Obloukové a plamenové svařování oceli a obloukové svařování niklu a slitin niklu*. Praha: Úřadu pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2018.
- [40] RŮŽIČKA, Jiří. Svařování plamenem. Česká svářečská společnost ANB. In: *SlidePlayer-Nahrávejte a Sdílejte své PowerPoint prezentace* [online]. Copyright © 2020 SlidePlayer.cz Inc. [cit. 27.03.2020]. Dostupné z: <https://slideplayer.cz/slide/2615607/>
- [41] ČSN EN ISO 4136. *Destruktivní zkoušky svarů kovových materiálů – Příčná zkouška tahem*. Praha: Úřadu pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2013.
- [42] ČSN EN ISO 6892-1. *Kovové materiály – Zkoušení tahem – Část 1: Zkušební metoda za pokojové teploty*. Praha: Úřadu pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2017.
- [43] ČSN EN ISO 5178. *Destruktivní zkoušky svarů kovových materiálů – Podélná zkouška tahem svarového kovu tavných svarových spojů*. Praha: Úřadu pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2020.
- [44] Zkoušky svarů – CZ FERMET s.r.o. *CZ FERMET s.r.o. – materiálová zkušebna* [online]. Copyright © 2015 [cit. 26.04.2020]. Dostupné z: <http://www.czfermet.cz/zkousky-svaru/>
- [45] ČSN EN ISO 9016. *Destruktivní zkoušky svarů kovových materiálů – Zkouška rázem v ohybu – Umístění zkušebních tyčí, orientace vrubu a zkoušení*. Praha: Úřadu pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2013.

- [46] ČSN EN ISO 148-1. *Kovové materiály – Zkouška rázem v ohybu metodou Charpy – Část 1: Zkušební metoda*. Praha: Úřadu pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2017.
- [47] ČSN EN ISO 5173. *Destruktivní zkoušky svarů kovových materiálů – Zkoušky ohybem*. Praha: Úřadu pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2010.
- [48] ČSN EN ISO 9015-1. *Destruktivní zkoušky svarů kovových materiálů – Zkoušení tvrdosti – Část 1: Zkouška tvrdosti spojů svařovaných obloukovým svařováním*. Praha: Úřadu pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2011.
- [49] ČSN EN ISO 6507-1. *Kovové materiály – Zkouška tvrdosti podle Vickerse – Část 1: Zkušební metoda*. Praha: Úřadu pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2018.
- [50] KOUKAL, Jaroslav a Tomáš ZMYDLENÝ. *Svařování I*. Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, 2005. ISBN 80-248-0870-6.

11. Seznam obrázků

Obrázek 1 - NTMZ znázornění průběhu v diagramu IRA [1].....	13
Obrázek 2 - Izoforming znázornění průběhu v diagramu IRA [1]	14
Obrázek 3 - VTMZ znázornění průběhu v diagramu IRA [1].....	14
Obrázek 4 - Mikrostruktura základního materiálu oceli S355MC	16
Obrázek 5 - Princip metody 135 (MAG) [12]	18
Obrázek 6 - Schéma zařízení pro svařování metodou 135 (MAG) [13].....	18
Obrázek 7 - Oblasti přenosu kovu při svařování [15].....	21
Obrázek 8 - Průběh napětí a proudu při zkratovém přenosu [2].....	22
Obrázek 9 - Přechodový oblouk [2].....	23
Obrázek 10 - Impulsní forma přenosu oblouku [2]	25
Obrázek 11 - Sprchový přenos [11].....	26
Obrázek 12 - Rotující přenos [11]	27
Obrázek 13 - Elementární deformace svarového spoje [16].....	33
Obrázek 14 - Bodový ohřev [18].....	38
Obrázek 15 - Prstencový ohřev [18].....	38
Obrázek 16 - Pásový ohřev [18]	39
Obrázek 17 - Klínový ohřev [2].....	39
Obrázek 18 - Srovnání dosažených teplot hořlavých plynů a kyslíku [2]	41
Obrázek 19 - Princip injektorového hořáku [2]	44
Obrázek 20 - Příprava vzorku pro svar	45
Obrázek 21 - Sestavení vzorku pro svařování	46
Obrázek 22 - Nahřívací hořák na propan-butan.....	50
Obrázek 23 - Měřená vzdálenost pro tupý spoj [26]	51
Obrázek 24 - Měřená vzdálenost pro T-spoj [26].....	51
Obrázek 25 - Teploměr Volcraft PL-120 T1 [28].....	53
Obrázek 26 - Teplotní čidlo Greinsinger GOF 130, typ K (NiCr-Ni) [29]	53
Obrázek 27 - Opracované vzorky	54
Obrázek 28 - Sestavený vzorek číslo 1	55
Obrázek 29 - Sestavený vzorek číslo 2	55
Obrázek 30 - Sestavený vzorek číslo 3	56
Obrázek 31 - Předehřev vzorku před svařením	56
Obrázek 32 - Kontrola předehřevu	57
Obrázek 33 - Pohled na kořenovou vrstvu vzorku číslo 1	58

Obrázek 34 - Kontrola teploty předehřevu před položením třetí vrstvy u vzorku číslo 1 ...	58
Obrázek 35 - Finální podoba svaru vzorku číslo 1	59
Obrázek 36 - Kontrola teploty interpass před položením druhé vrstvy u vzorku číslo 2	59
Obrázek 37 - Kontrola teploty interpass před položením poslední vrstvy u vzorku číslo 2	60
Obrázek 38 - Druhá vrstva u vzorku číslo 3	60
Obrázek 39 - Kontrola teploty interpass před položením čtvrté vrstvy u vzorku číslo 3	61
Obrázek 40 - Kontrola teploty interpass před položením poslední vrstvy vzorku číslo 3 ...	61
Obrázek 41 - Finální svar vzorku číslo 3	62
Obrázek 42 - Úhlová deformace svařeného vzorku.....	63
Obrázek 43 - Vyznačení pásů ohřevu ze strany kořene svaru	64
Obrázek 44 - Zabarvení oceli podle teploty [30].....	64
Obrázek 45 - Začátek rovnání vzorku číslo 3	65
Obrázek 46 - Kontrola teploty vzorku číslo 3.....	65
Obrázek 47 - Kompletní ohřev vzorku číslo 3.....	66
Obrázek 48 - Kontrola teploty vzorku číslo 3.....	66
Obrázek 49 - Označení měřených míst na vzorku číslo 3	67
Obrázek 50 - Odběr vzorků ze svarového spoje pro zkoušky [40].....	70
Obrázek 51 - Význam značek odběru vzorků pro vrubovou houževnatost [20]	74
Obrázek 52 - Místa měření tvrdosti zkušebních vzorků	75
Obrázek 53 - Graf srovnání průběhu tvrdosti v ose 1	76
Obrázek 54 - Graf srovnání průběhu tvrdosti v ose 2.....	77
Obrázek 55 - Makrostruktura svarového spoje číslo 2 - zvětšeno 3x.....	77
Obrázek 56 - Mikrostruktura svarového kovu spoje číslo 2 - zvětšeno 200x.....	78
Obrázek 57 - Mikrostruktura TOO svarového spoje číslo 2 - zvětšeno 200x	78
Obrázek 58 - Mikrostruktura ZM svarového spoje číslo 2 - zvětšeno 200x.....	79
Obrázek 59 - Makrostruktura svarového spoje číslo 3 - zvětšeno 3x.....	79
Obrázek 60 - Mikrostruktura svarového kovu spoje číslo 3 - zvětšeno 200x.....	80
Obrázek 61 - Mikrostruktura TOO svarového spoje číslo 3 - zvětšeno 200x	80
Obrázek 62 - Mikrostruktura ZM svarového spoje číslo 3 - zvětšeno 200x.....	81

12. Seznam tabulek

Tabulka 1 - Chemické složení oceli S355MC [3].....	15
Tabulka 2 - Mechanické vlastnosti oceli S355MC [3]	16
Tabulka 3 - Doporučené nejvyšší teploty při rovnání plamenem [17]	37
Tabulka 4 - Označení svařovacích nástavců [20]	44
Tabulka 5 - Parametry přístroje Voltcraft PL-120 T1 [28].....	52
Tabulka 6 - Parametry teplotního čidla Greisinger GOF 130, typ K (NiCr-Ni) [29].....	54
Tabulka 7 - Dosažené teploty rovnání vzorku	67
Tabulka 8 - Porovnání výsledků zkoušky ohybem pro svarový spoj číslo 2 a 3	73
Tabulka 9 - Porovnání výsledků zkoušky tahem pro svarový spoj číslo 2 a 3	73
Tabulka 10 - Porovnání výsledků nárazové práce pro svarový spoj číslo 2 a 3	75
Tabulka 11 - Srovnání výsledků zkoušek tvrdosti HV10 pro svarový spoj číslo 2 a 3	76
Tabulka 12 - Porovnání výsledků naměřených hodnot pro vzorky 2 a 3	82

13. Seznam příloh

Příloha A - Atest svařovacího drátu

Příloha B - Předběžný postup svařování pWPS

Příloha C - Záznam o průběhu svařování pro vzorek číslo 1

Příloha D - Záznam o průběhu svařování pro vzorek číslo 2

Příloha E - Záznam o průběhu svařování pro vzorek číslo 3

Příloha F - Protokol o zkoušce prozářením

Příloha G - Protokol o zkoušce ultrazvukem

Příloha H - Protokol o zkouškách makro a mikrostruktury pro vzorek číslo 2

Příloha I - Protokol o zkouškách makro a mikrostruktury pro vzorek číslo 3

Příloha A – Atest svařovacího drátu



ISO 9001
Zertifiziertes
Management-
system

Friedensstr. 21 • OT Rothenburg
D-06183 Wettin-Löbejün
Tel.: +49 / (0) 34 691 / 410
Fax: +49 / (0) 34 691 / 41 206
E-Mail: info@wdi-dsw.de
Internet: www.wdi.de

WESTFÄLISCHE DRAHTINDUSTRIE GMBH Werk Rothenburg

WDI GmbH • OT Rothenburg • Friedensstr. 21 • 06183 Wettin-Löbejün

receiver: 1320029

ARC IMPEX spol. s.r.o.

K cisticce 53
CZ 73925 SVIADNOV FRYDEK MISTE

inspection certificate acc. to DIN EN 10204/3.1

date: 11.10.2019
acceptance officer: Ecke, Robin

heat: 00497582
our order confirmation No. 274218
delivery note: 22817843
your order No.: Order WDI 22/2019

pos.: 2,0
pos.: 2,0
quantity: 10.800 kg

article: 008905



welding wire WEKO 4
copper coated

01,20 mm tolerance +0,01/-0,04mm

K 15 precise layed

acc. to DIN EN ISO 14341-A G4Si1

chemical analyses in %

C	Si	Mn	P	S	Cu	Cr	Ni	N	Al
,074	,949	1,670	,009	,018	,007	,026	,015	,0060	,001

Mo	Nb	B	V	Ti	Zr	As	Sn
,005	,0010	,0003	,001	,009	,0100	,0030	,001

wire electrode: EN ISO 14341 - A G 46 2 C / G 46 5 M 4Si1 / AWS A 5.18 ER70 S-6

mechanical-technological properties of a typical heat according to EN ISO 14341

tensile strength | yield strength | elongation | impact energy at -50°C

[MPa]	[MPa]	A5 [%]	[J]
530	460	20	47

We confirm the approval of the delivery in accordance
with the demands of your order.

quality department

acceptance officer

This created by a computer system certificate is acc. DIN EN 10204, section 5, without signature.

Strasse/Gasse/straße:
WLD Industriestraße 2 • 06100/01 Hameln
Beschreib./Title: Kettje-Fabrik-AG/Vertrieb
Kontakt/Contact: Vertrieb/Vertrieb

Gepl./Planned:
Anfangs-/Startzeitpunkt: RE 241
Stichtag/Date: 322 / 5776 / 1687
USA-Id-Num./ID-Num.: DE 011 199 037

Příloha B – Předběžný postup svařování pWPS

Předběžná specifikace postupu svařování (pWPS) obloukové svařování dle ČSN EN ISO 15609-1

Výrobce:			
pWPS č.:	2019/DP01	WPQR č.:	
Metoda(y) svařování:	135	Označení základního materiálu (skupina):	S355MC (1.2)
Způsob přenosu kovu:	zkrat/sprcha	Tloušťka materiálu (mm):	12
Druh spoje a druh svaru:	Tupý BW	Vnější průměr (mm):	
Způsob přípravy a čištění:	frézování, broušení, mezivrstvy pečlivě kartáčovat, napojení vybrousit	Poloha svařování:	PA

Podrobnosti přípravy svaru (náčrt)*

Návrh spoje	Sled kladení svarových housenek

Podrobnosti svařování

Housenka	Metoda svařování	Rozměr přídav. materiálu	Proud (A)	Napětí (V)	Druh proudu/polarita	Rychlost podávání drátu (m/min)	Způsob přenosu kovu	Tepeiny příkon*
1	135	1,2	140-170	16,5-17,0	DC/+		Zkratový	
2 - 5	135	1,2	190-220	25-26	DC/+		Sprchový	

Označení přídavného kovu a obchodní značka:	CSN EN ISO 14341, G4Si1 EN 14341 WEKO 4	Další údaje*, například:	
Speciální sušení při vyšší teplotě nebo sušení:		- Rozkvy (max. sílka housenky):	
Označení plynu/taviva: - ochranného:	CSN EN ISO 14175, M21 (82%Ar + 18%CO ₂)	- Oscilace: amplituda, frekvence, prodleva	
- pro ochranu kofene:		- Podrobnosti pulzního svařování:	
Průtoková rychlost plynu: - ochranného: - pro ochranu kofene:	15-17 l/min	- Vzdálenost napájecího přívodu od prac. kusu:	
Podrobnosti k drážkování/ochraně kofene:		- Podrobnosti plazmového svařování:	
Teplota předehřevu:	80 °C (měřit kontaktním teploměrem)	- Úhel sklonu hořáku:	
Interpass teplota:	max. 250°C (měřit kontaktním teploměrem)	- Jiné údaje:	
Dodatečný ohřev (dotřev):		Vypracoval :	Bc. Karel Vyhlídal
Udržovací teplota předehřevu:		Datum , podpis :	21.11.2019
Tepeiné zpracování po svařování a/nebo stárnutí: doba, teplota, metoda, rychlost ohřevu a ochlaz.:		Schválil :	
		Datum , podpis :	

* je-li požadováno

Příloha C – Záznam o průběhu svařování pro vzorek číslo 1

ZÁZNAM O PRŮBĚHU SVAŘOVÁNÍ											
VZOREK ČÍSLO: 1											
Základní materiál:			S355MC								
Tloušťka základního materiálu (mm)			12								
Typ spoje:			tupý								
Poloha svařování:			PA								
SCHEMA SPOJE						POSTUP SVAŘOVÁNÍ					
PARAMETRY SVAŘOVÁNÍ											
Houzenka	Metoda svařování	Průměr přídavného mat. (mm)	Svařovací proud (A)	Svařovací napětí (V)	Typ proudu/polarita	Rychlost svařování (s)	Rychlost podsváření (m/min)	Tepelný příkon (kJ/mm)	Teplota předehřevu (°C)	Interpass (°C)	Typ přenosu
1	135	1,2	125-140	16,6-16,9	DC+	129	3,5	0,57-0,65	85	95,2	zkrat
2	135	1,2	230-235	25,6-25,8	DC+	75	8	0,94-0,97		97,2	puls
3	135	1,2	218-228	25,5-25,7	DC+	38,5	8	0,45-0,48		148,1	puls
4	135	1,2	198-210	25,2-25,4	DC+	36	8	0,38-0,41		179,5	puls
5	135	1,2	207-215	25,3-25,5	DC+	48,7	8	0,54-0,57		213,6	puls
6	135	1,2	211-225	25,0-25,2	DC+	70	8	0,78-0,84		-	puls
7											
8											
9											
10											
DOPLŇUJÍCÍ INFORMACE K PROVEDENÍ											
Přídavný svařovací materiál:			G4Si1, EN ISO 14341A, WEKO4								
Ochranný plyn:			M21, ČSN EN ISO 14175, 82%Ar+18%CO2								
Příprava hran:			opracování, tryskání, odmaštění								
Informace o čišťení:			jednotlivé vrstvy pečlivě čistiť, náběhy a napojení vybrušovat								
Informace o měření teploty:			dotykový teploměr Volcraft PL-120 T1, teplotní čidlo Greisinger GOF 130, typ K								
Datum provedení:			26.11.2019								

Příloha D – Záznam o průběhu svařování pro vzorek číslo 2

ZÁZNAM O PRŮBĚHU SVAŘOVÁNÍ											
VZOREK ČÍSLO: 2											
Základní materiál:				S355MC							
Tloušťka základního materiálu (mm)				12							
Typ spoje:				tupý							
Poloha svařování:				PA							
SCHEMA SPOJE						POSTUP SVAŘOVÁNÍ					
PARAMETRY SVAŘOVÁNÍ											
Houzenka	Metoda svařování	Průměr přídavného mat. (mm)	Svařovací proud (A)	Svařovací napětí (V)	Typ proudu/polarita	Rychlost svařování (s)	Rychlost podsvětlní dráhy (m/min)	Tepelný příkon (kJ/mm)	Teplota předehřevu (°C)	Interpass (°C)	Typ přenosu
1	135	1,2	132-140	17,5-17,7	DC+	111	4,1	0,54-0,58	99	110,9	zkrat
2	135	1,2	226-236	25,2-25,4	DC+	77	7,9	0,93-0,98		122,4	puls
3	135	1,2	202-212	24,8-25,0	DC+	42	7,7	0,45-0,47		148,1	puls
4	135	1,2	222-235	24,3-24,5	DC+	42	7,7	0,48-0,51		165,8	puls
5	135	1,2	210-220	24,3-24,5	DC+	44	7,7	0,48-0,50		211,8	puls
6	135	1,2	209-222	24,2-24,4	DC+	79	7,7	0,85-0,91		-	puls
7											
8											
9											
10											
DOPLŇUJÍCÍ INFORMACE K PROVEDENÍ											
Přídavný svařovací materiál:			G4Si1, EN ISO 14341A, WEKO4								
Ochranný plyn:			M21, ČSN EN ISO 14175, 82%Ar+18%CO2								
Příprava hran:			opracování, tryskání, odmaštění								
Informace o čišťení:			jednotlivě vrstvy pečlivě čistiť, náběhy a napojení vybrušovat								
Informace o měření teploty:			dotykový teploměr Volcraft PL-120 T1, teplotní čidlo Greisinger GOF 130, typ K								
Datum provedení:			26.11.2019								

Příloha E – Záznam o průběhu svařování pro vzorek číslo 3

ZÁZNAM O PRŮBĚHU SVAŘOVÁNÍ											
VZOREK ČÍSLO: 3											
Základní materiál:			S355MC								
Tloušťka základního materiálu (mm)			12								
Typ spoje:			tupý								
Poloha svařování:			PA								
SCHEMA SPOJE						POSTUP SVAŘOVÁNÍ					
PARAMETRY SVAŘOVÁNÍ											
Houzenka	Metoda svařování	Průměr přídavného mat. (mm)	Svařovací proud (A)	Svařovací napětí (V)	Typ proudu/polarita	Rychlost svařování (s)	Rychlost podávání drátu (m/min)	Tepelný příkon (kJ/mm)	Teplota předehřevu (°C)	Interpass (°C)	Typ přenosu
1	135	1,2	140-148	17,5-17,7	DC+	98	4,1	0,51-0,55	82,2	92,7	zkrat
2	135	1,2	232-239	25,6-25,7	DC+	66	7,9	0,83-0,86		125,3	puls
3	135	1,2	192-208	24,5-24,6	DC+	46	7,7	0,46-0,50		192,3	puls
4	135	1,2	216-230	24,4-24,6	DC+	44	7,7	0,49-0,53		158,1	puls
5	135	1,2	215-230	24,6-25	DC+	51	7,7	0,57-0,62		213,6	puls
6	135	1,2	207-220	25-25,2	DC+	51	7,7	0,56-0,60		-	puls
7											
8											
9											
10											
DOPLŇUJÍCÍ INFORMACE K PROVEDENÍ											
Přídavný svařovací materiál:			G4Si1, EN ISO 14341A, WEKO4								
Ochranný plyn:			M21, ČSN EN ISO 14175, 82%Ar+18%CO2								
Příprava hran:			opracování, tryskání, odmaštění								
Informace o čišťení:			jednotlivě vrstvy pečlivě čistiť, náběhy a napojení vybrušovat								
Informace o měření teploty:			dotykový teploměr Volcraft PL-120 T1, teplotní čidlo Greisinger GOF 130, typ K								
Datum provedení:			26.11.2019								

Příloha F – Protokol o zkoušce prozářením



VITKOVICE TESTING CENTER s.r.o.
Pohraniční 584/142, Hulváky
703 00 Ostrava



EXAMINATION RECORD / PRÜFUNGS PROTOKOLL / PROTOKOL O ZKOUŠENÍ

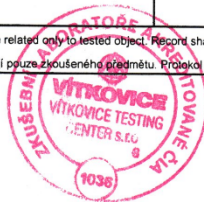
Number/Nummer/Číslo: VTC.40/1904240 Rev. 0 Page / Seite / Strana: 1 / 2
Date / Datum / Datum: Ostrava, 02.12.2019

Customer, address / Kunde, adresse / Zákazník, adresa: PROGRESS OK a.s., 9. května 2452, 750 02 Přerov, Česká republika	
Purchaser / Besteller / Objednatel: PROGRESS OK a.s., 9. května 2452, 750 02 Přerov, Česká republika	Order No. / Auftrags Nr. / Zakázkové číslo: 940/Vy/19
Project / Projekt / Projekt: -	Component / Komponente / Komponent: -
Object / Objekt / Předmět zkoušení: Welders: KSS - Desky	
Drawing No. / Zeichnung Nr. / Výkres č.: -	Material / Werkstoff / Materiál: S355MC + G4Si1
Weld No. / Naht Nr. / Svar č.: 2 ; 3	Size / Abmessung / Rozměr: tl. mat. 12 mm
Weld Process / Schweißart / Proces svařování -	Type of weld / Nahtyp / Typ svaru: -
MIP No / FPP Nr. / MIP č.: -	Step No. / Schritt Nr. / Operace č.: -
Heat treatment / Wärmebehandlung / Tepelné zpracování: -	
Special Requirements / Besondere Erforderung / Zvláštní požadavky: -	




Radiographic Examination / Durchstrahlungsprüfung / Zkouška prozářením

Examination acc. / Prüfung nach / Zkoušení dle: ČSN EN ISO 17636-1:2013, cl. / tř. B	Extent of Examination / Prüfungsumfang / Rozsah zkoušení 100%
Acceptance Level acc. / Zulässigkeitsgrenze nach / Stupeň připust. dle: ČSN EN ISO 10675-1, lev. / st. 1	Exp. Arrangement / Aufnahmetechnik / exp. Uspořádání: ČSN EN ISO 17636-1 Picture Nr. / obr.č. 1
Source / Strahlenquelle / Zdroj záření: ERESCO 200 MF1 (RT)	Fokus size / Brennfleckgröße / Rozměr ohniska: 1,5 x 1,5 mm (RT)
Voltage / Spannung / Napětí: 180 kV	Current / Strom / Proud: 5 mA
Type of film / Filmtyp / Typ filmu: Kodak Industrex T200	Activity / Aktivität / Aktivita: - GBq / Ci
Screens: front/back / Folien: vorne/hinten / Fólie: přední/zadní: Pb 0,13 / 0,13 mm mm	System of film / Filmsystem / Filmový systém: C4
Development / Entwicklung / Vyvolávání: Automatic / Automatové	
Result: Beurteilung: Výsledek:	Not Within Code / Entspricht Nicht / Nevyhovuje <input type="checkbox"/>
Within Code / Entspricht / Vyhovuje <input checked="" type="checkbox"/>	
Examination Place / Prüfungsort / Místo zkoušení: VITKOVICE, TESTING CENTER - NDT	Remarks / Bemerkungen / Poznámky: 940/Vy/19
Test Technician (Level / Certificate No.) / Prüftechniker (Stufe / Zertifikat Nr.) / Zkuš. technik (Kv. stupeň / Číslo certifikátu) Václav Strachala (2 / 3197 - CERT - NDT - 0090 - 12)	
Approved / Angenommen / Schvállil: NDT Manager / Vedoucí NDT Ing. Miroslav Kolář	Date of exam. / Prüfdatum / Datum zkoušení: 02.12.2019
Inspection agency / Abnahme Agentur / Přijímací agentura:	Customer / Kunde / Zákazník:
Statement / Proklamation / Prohlášení: Results are related only to tested object. Report shall be reproduced only entire except causes with written permission of VTC. Dosažené výsledky se týkají pouze zkoušeného předmětu. Protokol nesmí být bez písemného souhlasu zkušebny reprodukován jinak než celý.	

946.40./4/2014



Příloha G – Protokol o zkoušce ultrazvukem

 VITKOVICE TESTING CENTER VITKOVICE TESTING CENTER s.r.o. Pohraniční 584/142, Hulváky 703 00 Ostrava		 IAC-MSA L 1036		EXAMINATION RECORD PROTOKOL O ZKOUŠENÍ No. /č.: VTC.40/1904241 Rev./Rev.:0  MAN6=1904241		Page: 1/1 Strana:		
Customer, address: PROGRESS OK a.s., 9. Května 2452, 750 02 Přerov								
Purchaser: PROGRESS OK a.s., 9. Května 2452, 750 02 Přerov								
Project / Objekt: ZKUŠEBNÍ PROGRAM PRO KVALIFIKACI POSTUPU SVAŘOVÁNÍ								
Projekt / Objekt: PODLE ČSN EN ISO 15614-1								
Component: Zkušební svarový spoj								
Shop Order No.: 940/Vy/19				Fabr. No.: Vzorek č.: 2(pouze svařeno)				
Zakázka č.:				Výrobní číslo: Vzorek č.:3 (svařeno a rovnáno plamenem za teploty cca 800°C)				
Drawing No.: --				Piece: Tavba : 59213				
Výkres č.:				Díl:				
Dimension: 350 x 300 x 12mm				Material: S355MC				
Rozměr:				Materiál:				
Time of examin.: --				Weld Process: 135				
Výrobní etapa:				Proces svařování:				
Heat Treatment: --				Type of joint: BW				
Teplotné zpracování:				Typ spoje:				
Place of Exam: VITKOVICE TESTING CENTER s.r.o.				MIP No. / Op. No.: --				
Místo zkoušení:				MIP č. / Op. č.:				
Extent of Examination: 100% svaru								
Rozsah zkoušení:								
Special Requirements: --								
Zvláštní požadavky:								
ULTRASONIC EXAMINATION UT								
ZKOUŠENÍ ULTRAZVUKEM								
Exam. Level / Ref. Level metod acc.: EN ISO 17640- tř.B				Acceptance Level acc.: EN ISO 11666 st.2				
Třída zkoušení / Metoda Ref. úrovně dle:				Stupen připustnosti dle:				
Reference Level: DDSR = 1,5 mm				Sensitivity Adjust. Method: AVG				
Referenční úroveň:				Způsob nastavení citlivosti:				
Probe positions: A.2: A, X, Y				Transducer: MWB 70-4^E		Frequency: 4 MHz		
Polohy sond:				Sonda:		Frekvence:		
Apparatus/ No.: Krautkrämer USM 35				Sweep Range: 0 ÷ 100 mm				
Přístroj/č.:				Rozsah časové základny:				
Cal. Block: K2				Transfer Correction: 2 dB				
Kalibrační měrka:				Přechodové ztráty:				
Contact Surface Condition: Očištěn				Couplant: LOVOSA				
Stav zkušební povrchu:				Vazební prostředek:				
Weld Surface Condition: Očištěn				Base Mat. Condit.: --				
Povrch svaru:				Stav zákl. mat.:				
Temp.: 15 °C								
Tepl.:								
Note: --								
Poznámka:								
Cons. Ind. No. Přidání č. indikace:	Indication Position (mm) Poloha indikace X Y	Wall Thickness (mm) Tloušťka stěny	Length of Indication (mm) Délka indikace ΔLx ΔLy	Depth Orient. (mm) Hloubka Z	Reference Level Referenční úroveň Ø (mm) ± dB	Probe posit. Pol. sondy	Refr. Angle Úhel lomu Deg (°)	Evaluation Hodnocení Yes Ano No Ne
Unrolled Circumference Reference Point								
Výchozí bod rozvinutého obvodu								
Indicated Označen								
Classification: Accept. without record.				Not Acceptable: <input type="checkbox"/>				
Klasifikace: Vyhovuje bez záznamu				Nevyhovuje:				
<input checked="" type="checkbox"/>				<input type="checkbox"/>				
Test Technician: Martiníková A.				Level: 2		Date of Examination: 2.12.2019		
Zkušební technik:				Kvalif. stupeň:		Datum zkoušení:		
Approved: Ing. Kolář M.				1036		Date: 2.12.2019		
Schválil: Vedoucí NDT				Inspection Agency:		Datum:		
Customer: Zákazník:				Přijímací agentura:				
Statement: Results are related only to tested object. Record shall be reproduced only entire except causes with written permission of VTC.								
Prohlášení: Dosažené výsledky se týkají pouze zkoušeného předmětu. Protokol nesmí být bez písemného souhlasu zkušební reprodukován jinak než celý.								

Příloha H – Protokol o zkouškách makro a mikrostruktury pro vzorek číslo 2



VÍTKOVICE TESTING CENTER s.r.o.
Zkušební a laboratoře
Pohraniční 584/142
Hulváky
703 00 Ostrava



PROTOKOL O ZKOUŠENÍ

Číslo protokolu	P2200/19
Strana č./ počet stran	1/4

Zákazník PROGRESS OK a.s. 9. května 2452 750 02 Přerov Pro Zkušební list č. 940/Vy/19 Zakázka č. Objednávka č. 940/Vy/19	Výrobek Zkušební svarový spoj 2 (pouze svařeno) Rozměry Výkres č. Materiál Tavba č.			
Doplnující údaje o zkoušeném výrobku Základní materiál: plech tl. 12 mm, S355MC, tavba: 59213 Svařovací materiál: drát G4Si1				
Vzorek č. / Datum přijetí 2/M / 2019-11-29 2/Mi				
Číslo zkoušky	Zkoušky požadované zákazníkem	Zkušební metoda (norma)	Zkušební zařízení	
209 201	Zjišťování vad ve svarových spojích Zkoušení mikrostruktury	ČSN EN ISO 17639 ČSN EN ISO 17639	VTC.20/011 NK VTC.20/006	
Technické podmínky				
Poznámka:				
	Jméno	Podpis	Datum	Prohlášení: Dosažené výsledky se týkají pouze zkoušené položky tj. vzorku, jak byl přijat. Laboratoř neodpovídá za odběr vzorku a za data dodaná zákazníkem. Protokol je možno reprodukovat pouze celý, jinak s písemným souhlasem laboratoře.
Zkoušel	Ludmila Pannová		2019-12-17	
Kontroloval	Ing. Marie Chodurová		2019-12-17	

Číslo protokolu	P2200/19
Strana č./ počet stran	2/4

PROTOKOL O ZKOUŠENÍ

Zjišťování vad ve svarových spojích

Makrostruktura vzorku č. 2/M je po naleptání leptadlem č. A.1 dle ISO/TR 16060 (potíráním zkušební vzorku) bez vad. Šířka teplem ovlivněné oblasti je max. 2,0 mm - Obr. 1.

Zkoušení mikrostruktury

(leptadlo č. A.1 dle ISO/TR 16060)

Mikrostruktura svarového kovu je licí, bainiticko-feritická – obr. 2.

Mikrostruktura teplem ovlivněné oblasti na hranici ztavení svarový kov / základní materiál je tvořena bainitem – obr. 3.

Mikrostruktura základního materiálu je tvořena feritem a zbytky bainitu resp. perlitu – obr. 4.

Zkoušení nepotvrdilo přítomnost trhlin nebo jiných anomálií.

Schválil:
2019-12-17
Tel. +420 59595 2518



Chodurová
Ing. Marie Chodurová
vedoucí Metalografické zkušebny

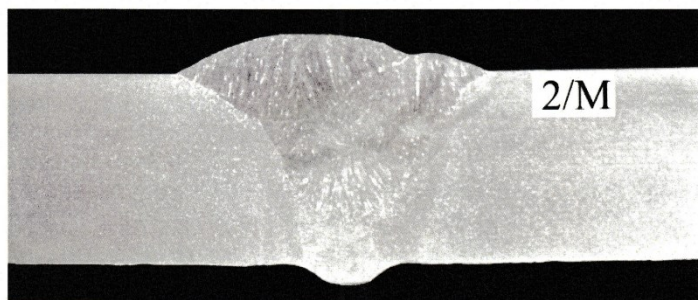
Číslo protokolu	P2200/19
Strana č./ počet stran	3/4

PROTOKOL O ZKOUŠENÍ

Zkoušení makrostruktury leptadlo č. A.1 dle ISO/TR 16060

Obr. 1

zv. 3x

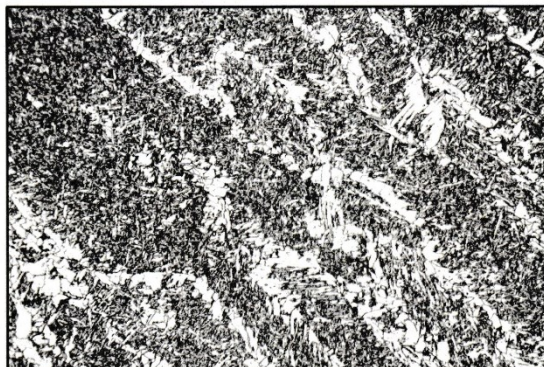


Číslo protokolu	P2200/19
Strana č./ počet stran	4/4

PROTOKOL O ZKOUŠENÍ

Zkoušení mikrostruktury leptadlo č. A.1 dle ISO/TR 16060

Obr. 2 svarový kov zv. 200x



Obr. 3 TOO zv. 200x



Obr. 4 základní materiál zv. 200x



===== Konec protokolu =====

Příloha I – Protokol o zkouškách makro a mikrostruktury pro vzorek číslo 3



VÍTKOVICE TESTING CENTER s.r.o.
Zkušební a laboratoře
Pohraniční 584/142
Hulváky
703 00 Ostrava



PROTOKOL O ZKOUŠENÍ

Číslo protokolu	P2200-1/19
Strana č./ počet stran	1/4

Zákazník PROGRESS OK a.s. 9. května 2452 750 02 Přerov		Výrobek Zkušební svarový spoj 3 (svařeno a rovnáno plamenem za teploty 800°C)	
Pro		Rozměry Výkres č.	
Zkušební list č. 940/Vy/19 Zakázka č. Objednávka č. 940/Vy/19		Materiál Tavba č.	
Doplňující údaje o zkoušeném výrobku Základní materiál: plech tl. 12 mm, S355MC, tavba: 59213 Svařovací materiál: drát G4Si1			
Vzorek č. / Datum přijetí 3/M / 2019-11-29 3/Mi			
Číslo zkoušky	Zkoušky požadované zákazníkem	Zkušební metoda (norma)	Zkušební zařízení
209 201	Zjišťování vad ve svarových spojích Zkoušení mikrostruktury	ČSN EN ISO 17639 ČSN EN ISO 17639	VTC.20/011 NK VTC.20/006
Technické podmínky			
Poznámka:			
	Jméno	Podpis	Datum
Zkoušel	Ludmila Pannová	<i>Ludmila Pannová</i>	2019-12-17
Kontroloval	Ing. Marie Chodurová	<i>Marie Chodurová</i>	2019-12-17
Prohlášení: Dosažené výsledky se týkají pouze zkoušené položky tj. vzorku, jak byl přijat. Laboratoř neodpovídá za odběr vzorku a za data dodaná zákazníkem. Protokol je možno reprodukovat pouze celý, jinak s písemným souhlasem laboratoře.			

VTC.20-1/2019

Údaje psané kurzívou jsou data dodaná zákazníkem

Číslo protokolu	P2200-1/19
Strana č./ počet stran	2/4

PROTOKOL O ZKOUŠENÍ

Zjišťování vad ve svarových spojích

Makrostruktura vzorku č. 3/M je po naleptání leptadlem č. A.1 dle ISO/TR 16060 (potíráním zkušební vzorku) bez vad - obr. 1.

Zkoušení mikrostruktury

(leptadlo č. A.1 dle ISO/TR 16060)

Mikrostruktura svarového kovu je lici, bainiticko-feritická – obr. 2.

Mikrostruktura teplem ovlivněné oblasti na hranici ztavení svarový kov / základní materiál je tvořena feritem a ojediněle perlitem – obr. 3.

Mikrostruktura základního materiálu je feritická s ojedinělým výskytem perlitických nodulí – obr. 4.

Zkoušení nepotvrdilo přítomnost trhlin nebo jiných anomálií.

Schválil:
2019-12-17
Tel. +420 59595 2518



Chodurova
Ing. Marie Chodurová
vedoucí Metalografické zkušebny

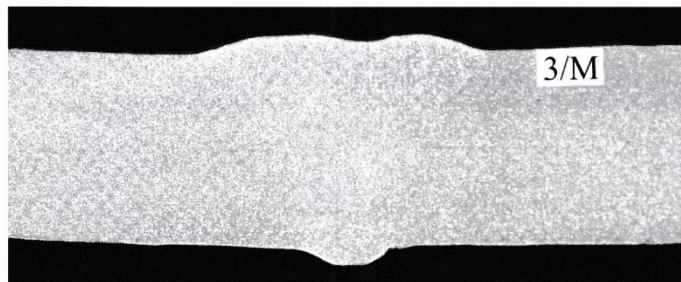
Číslo protokolu	P2200-1/19
Strana č./ počet stran	3/4

PROTOKOL O ZKOUŠENÍ

Zkoušení makrostruktury leptadlo č. A.1 dle ISO/TR 16060

Obr. 1

zv. 3x

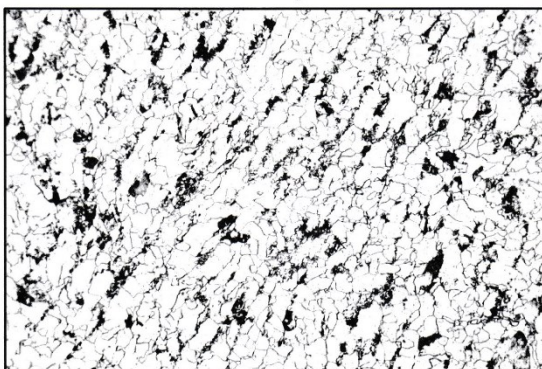


Číslo protokolu	P2200-1/19
Strana č./ počet stran	4/4

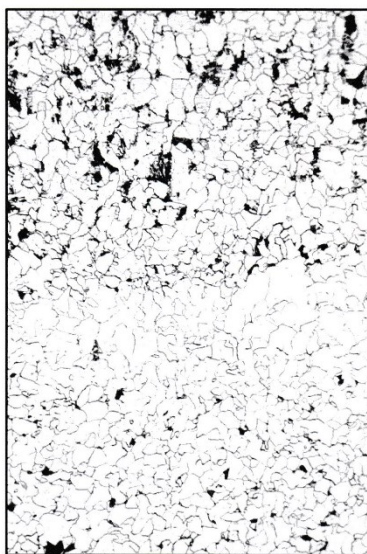
PROTOKOL O ZKOUŠENÍ

Zkoušení mikrostruktury leptadlo č. A.1 dle ISO/TR 16060

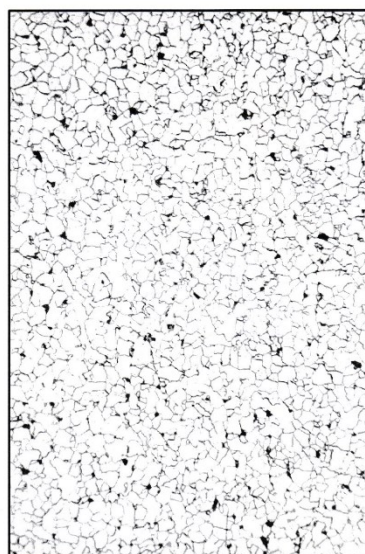
Obr. 2 svarový kov zv. 200x



Obr. 3 TOO zv. 200x



Obr. 4 základní materiál zv. 200x



===== Konec protokolu =====