

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

SVAŘOVÁNÍ TRUBEK Z CRMO OCELI

WELDING OF PIPES MADE OF CRMO STEEL

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Martin Matějka

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Jaroslav Kubíček

BRNO 2019

Zadání diplomové práce

Ústav: Ústav strojírenské technologie
Student: **Bc. Martin Matějek**
Studijní program: Strojní inženýrství
Studijní obor: Strojírenská technologie a průmyslový management
Vedoucí práce: **Ing. Jaroslav Kubiček**
Akademický rok: 2018/19

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č. 111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma diplomové práce:

Svařování trubek z CrMo oceli

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Rámy závodních motokár jsou vyrobeny z pevnostních CrMo trubek. Vzhledem k vysokému únavovému namáhání musí být svařeny velmi kvalitně. Úkolem práce je vyhodnotit mechanické vlastnosti svarových spojů metody TIG a MAG.

Cíle diplomové práce:

1. Rozbor současného stavu konstrukce rámu motokár.
2. Literární studie dané problematiky.
3. Návrh a provedení experimentální práce.
4. Technické vyhodnocení experimentu.

Seznam doporučené literatury:

AMBROŽ, O, B. KANDUS a J. KUBÍČEK. Technologie svařování a zařízení. Ostrava: ZEROSS, 2001. 395 s. Svařování. ISBN 80-857-7181-0.

FOLDYNA, V., K. HENNHOFFER, V. OLŠANOVÁ, I. HLAVATÝ, J. KOUKAL, F. KRISTOFORY, V. OCHODEK, V. PILOUS, J. PURMENSÝ, D., SCHWARZ a J. VESELKO. Materiály a jejich svařitelnost. 2 vyd. Ostrava: ZEROSS, 2001. 292 s. ISBN 80-857-7185-3.

ONDREJČEK, P. Zváranie ocelí v ochrane plynov taviacou sa elektródou. ETERNA PRESS s.r.o. Bratislava 2003. ISBN 80-968359-5-5.

OLSON D. L. a kolektiv autorů. ASM Handbook. Welding, brazing, and soldering Volume 6, vyd. Materials Park, Ohio, 2011. ISBN-13978-1-61503-133-7

HRIVŇÁK, I. Zváranie a zvariteľnosť materiálov. Bratislava: Slovenská technická univerzita, 2009. 486 s. ISBN 978-80-227-3167-6.

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2018/19.

V Brně, dne 27. 10. 2018



prof. Ing. Miroslav Píška, CSc.
ředitel ústavu

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

ABSTRAKT

Cílem této diplomové práce je porovnání mechanických vlastností svarových spojů na vzorcích z trubek Ø32x2 mm z oceli 25CrMo4, která je používána k výrobě podvozků závodních motokár. Ocel se vyznačuje pevností v tahu $R_m=800$ MPa a po zušlechtnění až 1200 MPa. Ke svaření vzorků jsou použity technologie MAG a TIG.

Klíčová slova

svařování, chrom-molybdenová ocel, MAG, TIG, mechanické vlastnosti svarového spoje, ekonomika svařování

ABSTRACT

The aim of this diploma thesis is to compare mechanical properties of welded joints on tubes from Ø32x2 mm. Tubes are made from 25CrMo4 steel, which is used for production of racing kart chassis. The steel has a tensile strength of $R_m = 800$ MPa and up to 1200 MPa after refinement. For welding of samples are used technologies MAG and TIG.

Key words

welding, chrome-molybdenum steel, MAG, TIG, mechanical properties of weld joint, welding economy

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

MATĚJEK, Martin. *Svařování trubek z CrMo oceli*. Brno, 2019. Dostupné také z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/117329>. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav strojírenské technologie. Vedoucí práce Jaroslav Kubíček.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma Svařování trubek z CrMo oceli vypracoval samostatně s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených na seznamu, který tvoří přílohu této práce.

18. 5. 2019

Datum

Bc. Martin Matějka

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji tímto svému vedoucímu diplomové práce panu Ing. Jaroslavu Kubíčkoví za pomoc při jejím vypracování, společnosti SW-Motech s.r.o. za pomoc při svařování vzorků a všem, kteří mi při vypracování této práce byli nápomocni a podporovali mě.

OBSAH

ABSTRAKT	4
BIBLIOGRAFICKÁ CITACE	5
PROHLÁŠENÍ	6
PODĚKOVÁNÍ	7
OBSAH	8
ÚVOD	10
1 SVAŘOVÁNÍ ELEKTRICKÝM OBLOUKEM	11
1.1 Princip svařování elektrickým obloukem	11
1.2 Skladba oblouku	11
1.3 Tepelná bilance energie v oblouku	12
1.4 Charakteristika oblouku	13
1.5 Přenos kovu v oblouku	14
1.6 Tepelně ovlivněná oblast a metalurgické pochody	17
2 OBLOUKOVÉ SVAŘOVÁNÍ TAVÍCÍ SE ELEKTRODOU MAG	19
2.1 Princip metody MAG	19
2.2 Zařízení pro svařování	20
2.2.1 Svařovací zdroje	20
2.2.2 Svařovací hořáky	21
2.2.3 Podavače drátu	22
2.3 Přídavný materiál	23
2.4 Ochranné plyny	24
2.5 Parametry svařování	25
3 OBLOUKOVÉ SVAŘOVÁNÍ NETAVÍCÍ SE ELEKTRODOU TIG	28
3.1 Princip metody TIG	28
3.2 Wolframové elektrody	31
3.3 Přídavný materiál	32
3.4 Ochranné plyny	33
4 HODNOCENÍ KVALITY SVAROVÝCH SPOJŮ	35
5 EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST	38
5.1 Použitý materiál a jeho vlastnosti	38
5.2 Svařování vzorků	40
5.3 Vyhodnocení struktury svařovaných vzorků	41
5.4 Vyhodnocení mikrotvrdosti svařovaných vzorků	46
5.5 Příčná zkouška tahem	48
5.6 Ekonomické zhodnocení	51

ZÁVĚR	55
SEZNAM ZDROJŮ	57
SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK	60
SEZNAM VZORCŮ	62
SEZNAM PŘÍLOH	63

ÚVOD

Motokárové podvozky jsou během jízdy pod působením velkých sil, které způsobují velké napětí jak v samotném materiálu podvozku, tak především ve svarových spojích. Tyto spoje pak často následkům tomuto namáhání podlehnou vznikem trhli, které se následně spojem šíří, až k úplnému lomu.

Právě kvůli vysoké míře namáhání je kladen velký důraz na kvalitu provedeního svarového spoje, který je v praxi nejčastěji v tomto odvětví vytvářen technologiemi MAG a TIG (WIG).

Podvozky závodních motokár jsou vyráběny z trubek Chrom-molybdenové oceli, která disponuje velmi dobrými mechanickými vlastnostmi, a proto je často využívána k výrobě rámců v motorsportu, výrobě cyklistických rámců a k dalším účelům, nejen v automobilovém průmyslu.

Úkolem této diplomové práce je tedy porovnání vhodných metod ke svaření vzorků trubek, ze kterých jsou motokárové podvozky vyráběny a následné vyhodnocení mechanických vlastností svarových spojů.



Obr. 0.1 Motokára – jízda přes obrubník [1].

1 SVAŘOVÁNÍ ELEKTRICKÝM OBLOUKEM

Svařování elektrickým obloukem patří do skupiny tavného svařování. Díky relativně nízkým nákladům na provoz této technologie, snadným použitím a velkou mírou kvality vytvořených svarů je v praxi velmi často využívána. Základním principem svařování elektrickým obloukem je natavení obou spojovaných ploch pomocí elektrického výboje a přidáním přídavného materiálu do svarové lázně. Po zatuhnutí roztaveného materiálu vzniká pevný a nerozebíratelný spoj [2].

1.1 Princip svařování elektrickým obloukem

Elektrický oblouk je velmi silný elektrický výboj, který stabilně a samostatně hoří mezi elektrodami v ionizovaném prostředí. Elektrický oblouk je charakteristický nízkým napětím v řádech 10^1 až 10^2 V a proudem v řádech 10^0 až 10^3 A [2].

Vznik a udržení elektrického oblouku je podmíněno právě přítomností ionizovaného plynu, který je při zapálení oblouku vyvolán teplotou, vysokým napětím, případně zářením. Ionizovaný plyn, který se dostává do plazmatického stavu vede následně elektrický proud mezi elektrodami [2; 3].

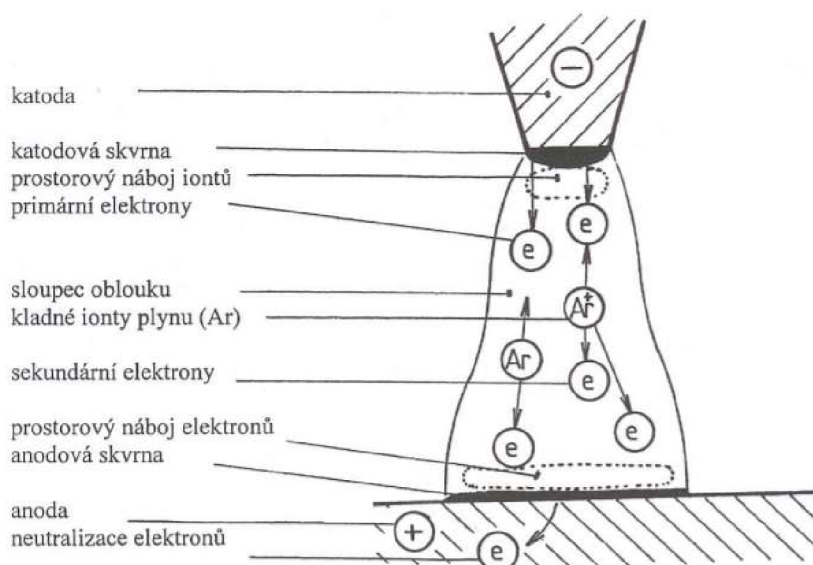
Teplota, které je v oblouku dosahováno nabývá obvykle hodnot 6000 až 10 000 °C. U svařování plazmou je však dosahováno teplot až 30 000 °C, a to z důvodu razantního zmenšení průřezu oblouku, a tím zvýšení proudové hustoty [2; 3].

1.2 Skladba oblouku

Samotný elektrický oblouk se skládá ze tří hlavních částí [3]:

- Katodová oblast – místo o délce cca 10^{-4} mm v blízkosti záporné elektrody soustředící se do katodové skvrny, ze které jsou emitovány elektrony velkou kinetickou energií v důsledku poklesu napětí. Emitované elektrony se následně srážejí s atomy plynu, při čemž dochází k jejich rozbití na elektrony a kladné ionty. Teplota katody dosahuje průměrně hodnot mezi 2 400 až 3 000 °C, nicméně hodnota se mění v závislosti na hodnotě proudu,
- Anodová oblast – délka oblasti je 10^{-2} až 10^{-3} mm před anodovou skvrnou, na kterou dopadají elektrony, jejichž kinetická energie je přeměněna v energii teplenou a na elektromagnetické záření. Tato oblast produkuje větší teplotu než katodová oblast. Důvodem je růst proudové hustoty, poněvadž nárůstem proudu se zmenšuje plocha anodové skvrny. Teplota anodové skvrny se obvykle pohybuje v rozmezí 2 700 až 3 600 °C,
- Sloupec oblouku – složený z disociovaného a ionizovaného plynu ve formě plazmy. Tvar sloupce je mírně se rozšiřující kužel směrem k anodě, přesný tvar je následně určen tvarem elektrody, tepelnou vodivostí ochranného plynu a působením magnetického pole. Teplota ve sloupci při svařování metodou TIG (WIG) dosahuje hodnoty mezi 6500 až 9000 °C, při svařování metodou MAG teplota ve sloupci dosahuje až 15 000 °C. Napětí ve sloupci je podmíněno jeho délkou, proto musí jeho hodnota s rostoucí vzdáleností elektrod růst,

aby nebylo přerušeno jeho hoření. Průměrně je ubytek napětí oblouku stanoven jako 2 V na 1 mm jeho délky.



Obr. 1.0 Skladba oblouku [3]

1.3 Tepelná bilance energie v oblouku

Oblouk je intenzivní zdroj tepla soustředěný do velmi malé plochy. I mírnou změnou parametrů svařování je možné změnit vlastnosti oblouku, a tím ovlivnit tvar svarové lázně, teplotu základního materiálu i mechanické vlastnosti a následné napětí ve vznikajícím svaru [2; 4].

Zásadní vliv na tepelnou bilanci oblouku má směr proudění plazmy a přenos tepla mezi ní a svarovou lázní. Obecně je teplo vznikající při hoření oblouku rozděleno mezi část na ohřev katody, anody a část, která je odvedena do okolního prostředí (viz vztah 1.0) [2].

$$Q_c = Q_k + Q_a + Q_v \text{ [J]} \quad (1.0)$$

$$Q_k = U_k \cdot I \cdot t \text{ [J]} \quad (1.1)$$

$$Q_a = U_a \cdot I \cdot t \text{ [J]} \quad (1.2)$$

Při použití metod svařování s tavící se elektrodou, v našem případě MAG, se složky Q_k a Q_a , dány vztahem 1.1 a 1.2 [2] využívají k tavení základního materiálu. Složka Q_v jsou uniklé ztráty. Při svařování metodou TIG (WIG) je ztrátová i složka tepla odvedená do netavící se elektrody, jelikož je chlazená proudící vodou nebo vzduchem.

Celkový výkon oblouku můžeme vyjádřit jako dodaný příkon popsany vztahem 1.3 [2].

$$P = U \cdot I \cdot k \text{ [W]} \quad (1.3)$$

Účinnost svařovacího procesu je dána poměrem části tepla, které je využito na tavení základního a přídavného materiálu vůči celkovému teplu oblouku.

Účinnost při svařování metodami MIG/MAG se pohybuje v rozmezí 70 až 80 %. U metody TIG (WIG) je dosahováno účinnosti svařovacího procesu 50 až 65 %.

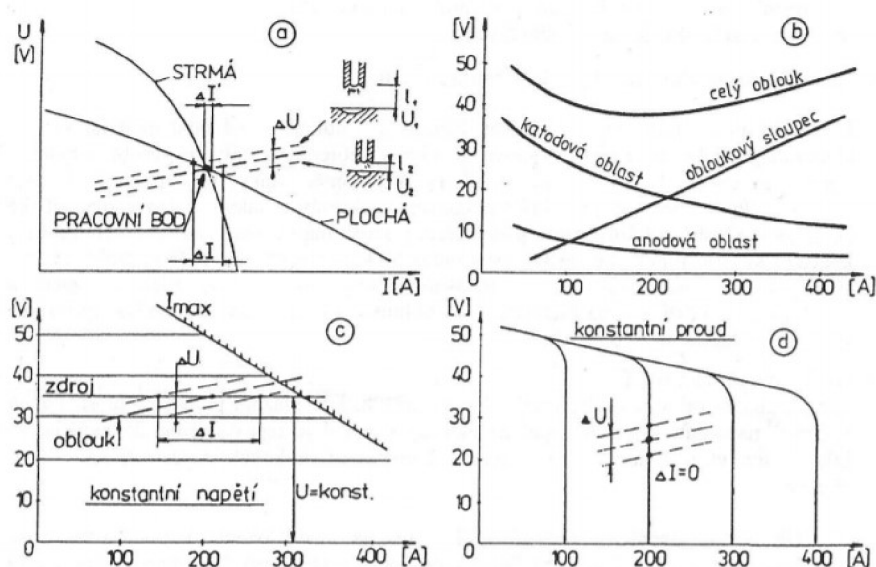
Velmi důležitým parametrem, který ovlivňuje vlastnosti svarového spoje je tzv. tepelný příkon přivedený do svarové lázně, který je dán vztahem 1.4 [2].

$$q = \eta \cdot \frac{U \cdot I}{1000 \cdot v_{sv}} \text{ [kJ/mm]} \quad (1.4)$$

1.4 Charakteristika oblouku

Při měření závislosti napětí na měnícím se proudu při konstantní délce oblouku získáváme tzv. statickou charakteristiku oblouku. Na její tvar má vliv chemické složení elektrody, tvar jejího hrotu, průměr i složení plazmy v oblouku. Její tvar je také možné získat z rovnice napěťových úbytků v oblouku [2].

$$U_{obl} = e_k + R \cdot I + e_a \text{ [V]} \quad (1.5)$$



Obr. 1.1 Statická charakteristika oblouku; a) vliv ploché a strmé charakteristiky na kolísání proudu, b) statické charakteristiky částí oblouku, c) vliv zdroje s konstantním napětím, d) vliv zdroje s konstantním proudem [2].

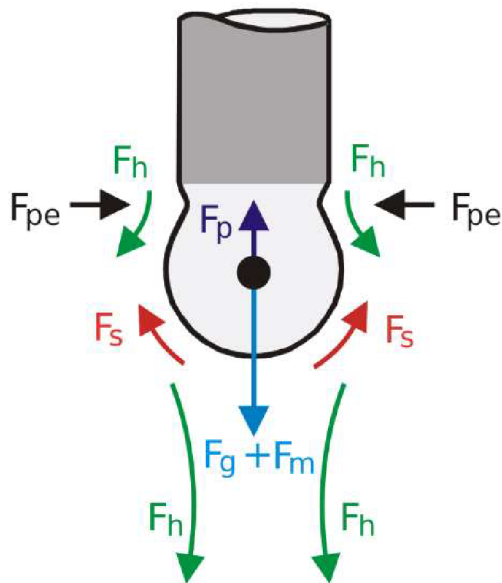
Pro svařování elektrickým obloukem byly dle normy ČSN EN 60974-1 ED.2 určeny smluví charakteristiky pro vyšetření vlastností zdrojů proudu, které nahrazují rostoucí větev statické charakteristiky oblouku.

Dle těchto normalizovaných charakteristik jsou pro jednotlivé metody svařování určeny tzv. hodnoty normalizovaného pracovního napětí [5].

- Metoda MIG/MAG – pro $I \leq 600$ A: $U = (14 + 0,05 \cdot I)$ V
– pro $I > 600$ A: $U = 44$ V
- Metoda TIG (WIG) a plazma – pro $I \leq 600$ A: $U = (10 + 0,04 \cdot I)$ V
– pro $I > 600$ A: $U = 34$ V

1.5 Přenos kovu v oblouku

Procesem přenosu kovu v oblouku při svařování tavící se elektrodou se rozumí roztavení přídavného materiálu vlivem tepla z oblouku a jeho dodání do svarové lázně ve formě kapek, které se tvoří na čele elektrody. Vznikající kapka je pod působením jak gravitační síly, tak i síly, která je vyvolána magnetickým polem kolem elektrody. Důsledkem působení těchto sil dojde k zužování konce kapky, která je následně emitována do svarové lázně. Tento jev je známý jako tzv. pinch efekt, který je důležitý pro svařování v hůře dostupných polohách [5; 6].



- F_s – síla povrchového napětí, udržující kapku ve tvaru s co nejnižší povrchovou energií,
- F_p – síla vyvolaná tlakem vypařujících se kovů, působící brzdícím účinkem na ionty,
- F_g – gravitační síla,
- F_m – elektromagnetická síla, osová složka elektromagnetického pole vyvolané procházejícím proudem,
- F_{pe} – pinch efekt, síla působící na krček kapky,
- F_h – hydrodynamická síla, způsobena rychlostí proudícího plazmatu.

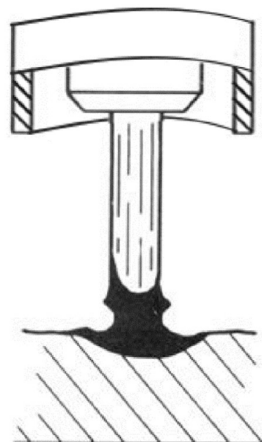
Obr. 1.2 Síly působící na konec elektrody [6]

Způsob přenosu je závislý na mnoha faktorech, jako je použitá metoda svařování, materiál elektrody, proudová hustota ve sloupci, velikosti napětí a použitá ochranná atmosféra.

Aby byl přenos kovu v oblouku úspěšný, je nutné dodržet vzdálenost mezi oddělující se kapkou roztaveného kovu a svarovou lázní. Pokud je vzdálenost příliš malá a dotkne-li se kapka svarové lázně dříve, než je oddělena od elektrody, dojde ke zkratu.

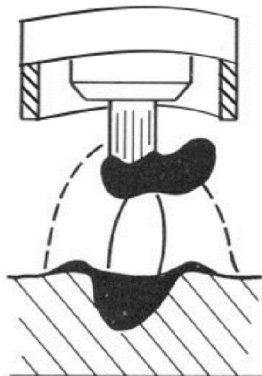
Pro přenos kovu v oblouku při svařování metodami MIG/MAG se používají následující způsoby [5]:

- Zkratový přenos – neboli svařování krátkým obloukem je způsob přenosu kovu vhodný při svařování plechů o malých tloušťkách, vytvoření prvních vrstev tvořící kořen svaru a pro svařování v polohách. Zkratový přenos je doprovázen rozstříkem kovu. Je možné ho využít již od nízké hodnoty napětí v rozmezí 14 až 20 V.



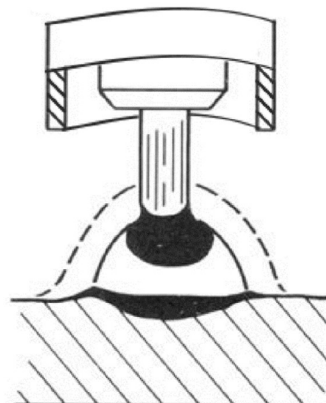
Obr. 1.3 Zkratový přenos kovu [7]

- Polozkratový přenos – jinak nazývaný přechodový, je kombinace zkratového a bezzkratového přenosu kovu, používající se pro svařování plechů středních tlouštěk. Přídavný materiál je přenesen ve formě větších kapek, při malém rozstříku kovu. Způsob se realizuje při hodnotách napětí od 18 do 28 V.



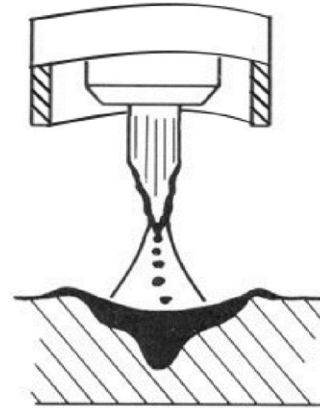
Obr. 1.4 Polozkratový přenos kovu [7]

- Kapkový bezzkratový přenos – jinak nazýván jako svařování dlouhým obloukem. U metody MIG se využívá ke svařování hliníku a jeho slitin o větších tloušťkách. Při svařování metodou MAG se tento přenos kovu uplatňuje u ocelí větších tlouštěk ve směsi plynů Ar + CO₂. Kapkového bezzkratového přenosu je dosahováno při vyšším napětí v rozmezí 25 až 35 V.



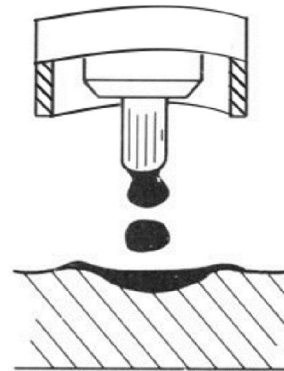
Obr. 1.5 Kapkový bezzkratový přenos kovu [7]

- Sprchový přenos – využíván při svařování kovových materiálů o větších tloušťkách formou malých kapek. Sprchového přenosu se dosahuje vysokou hodnotou tepelného příkonu. Jako ochrannou atmosféru je nutné použít směsné plyny na bázi argonu.



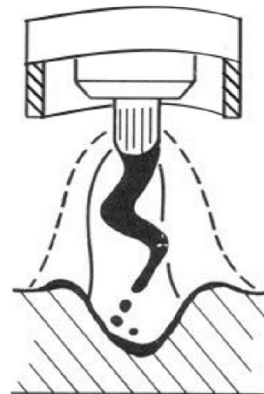
Obr. 1.6 Sprchový přenos kovu [7]

- Impulsní přenos – výhodný při svařování tenkých materiálů pro jeho vysokou stabilitu a minimální rozstřík. Přenos kovu je realizován formou kapek při pulsujícím proudu. Impulsní přenos kovu vyžaduje použití výhradně plynů na bázi argonu. Je kombinací kapkového a sprchového přenosu.



Obr. 1.7 Impulsní přenos kovu [7]

- Přenos rotujícím obloukem – přenos kovu používaný při automatizovaném svařování ocelí o velkých tloušťkách. Použitelný pouze ve směsných plynech na bázi argonu s vysokým obsahem helia.



Obr. 1.8 Přenos rotujícím obloukem [7]

Přenos materiálu při svařování metodou TIG je proveden za pomoci odtavení části přídavného materiálu, který se v kapkách mísí s roztaveným základním materiálem a vzniká svarová lázeň. Metodou TIG je možné svařovat i bez použití přídavného materiálu, pouze využitím elektrického oblouku mezi netavicí se wolframovou elektrodou a základním materiálem. Výhodou může být zaručeně stejné chemické složení, jako má základní materiál, avšak na úkor mechanickým vlastnostem [8].



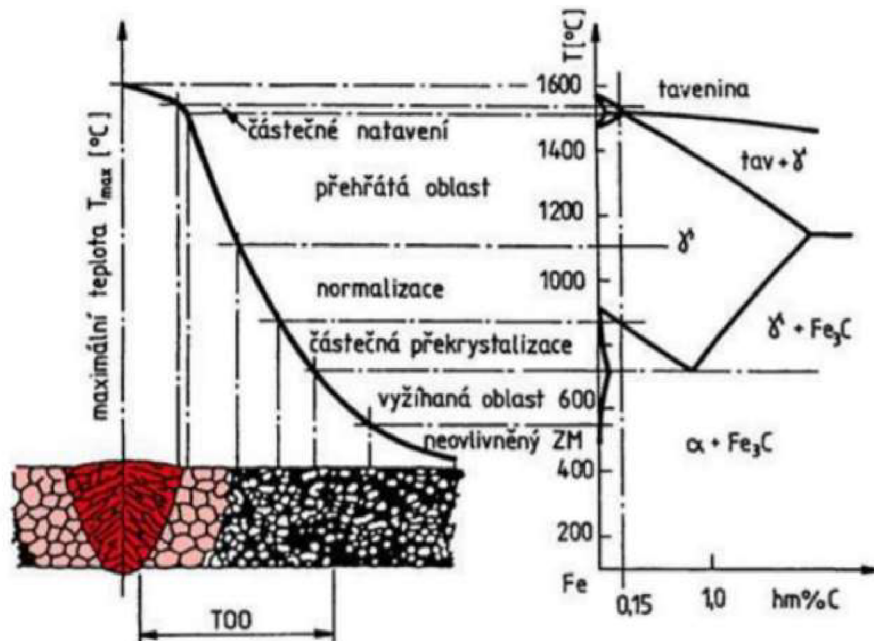
Obr. 1.9 Svařování metodou TIG [9]

1.6 Tepelně ovlivněná oblast a metalurgické pochody

V případě svařování materiálů s polymorfní přeměnou, tedy zejména kovových materiálů dochází v bezprostřední blízkosti tvorby svarového spoje k výrazným změnám struktury materiálu. Toto místo se označuje jako tzv. „Tepelně ovlivněná oblast“ (TOO) [10].

Při svařování kovových materiálů s polymorfní přeměnou je možné tepelně ovlivněnou oblast rozdělit do několika pásem [10]:

- oblast částečného natavení – přechod ze svarového kovu do TOO,
- oblast přehřátí – teplota cca 1100 až 1300 °C, dochází k výraznému hrubnutí zrna,
- oblast normalizace – úplná transformace struktury,
- oblast částečné překrytalizace – oblast s neúplnou polymorfní přeměnou,
- oblast vyžihání – dochází ke změnám v tuhém roztoku Fe, nebo substrukturní přeměně, může docházet ke stárnutí oceli.



Obr. 1.10 Pásma TOO [3]

Teplota rozložená v materiálu při svařování závisí především na zdroji tepla, rychlosti svařování a použitém přídavném materiálu.

2 OBLOUKOVÉ SVAŘOVÁNÍ TAVÍCÍ SE ELEKTRODOU MAG

Metody svařování v ochranném plynu za použití tavících se elektrod nachází v dnešní době široké uplatnění při svařování ocelí, či neželezných kovů [11].

Výhodou metody svařování tavící se elektrodou je možnost její automatizace, což vede jak ke zlepšení jakosti svarů, tak i ke zlepšení pracovních podmínek svářečů [2].

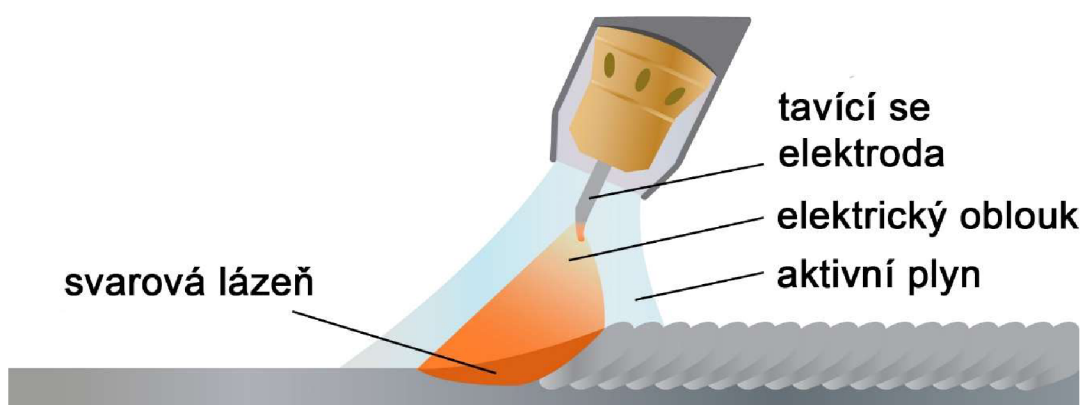
Oproti jiným metodám obloukového svařování má tato technologie mnoho předností, jako jsou například [3]:

- vysoká produktivita svařování,
- snadné použití i v hůře dostupných polohách,
- široké možnosti automatizace,
- nízké náklady na pořízení při ručním použití,
- malé deformace svařenců.

2.1 Princip metody MAG

Svařování metodou MAG (Metal Active Gas) je využíváno především při svařování nelegovaných a nízkolegovaných ocelí.

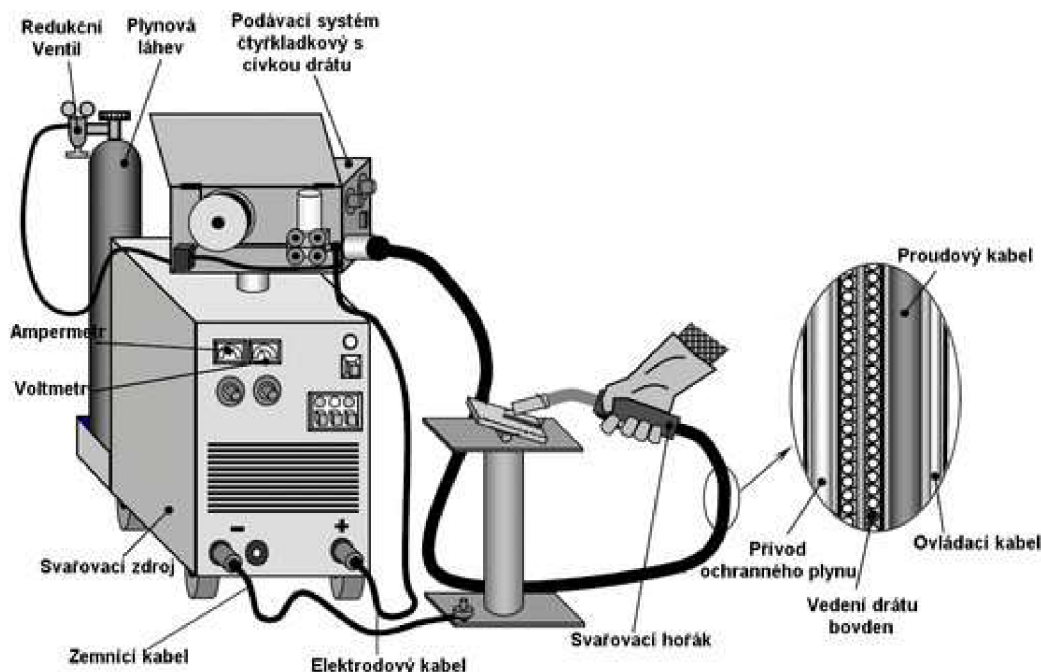
Zdrojem tepla je zde elektrický oblouk, hořící mezi koncem tavící se elektrody a základním materiálem v prostředí aktivního, reagujícího plynu, který ovlivňuje chemické složení svarového kovu a jeho mechanické vlastnosti, a to především obsahem C, Mn a Si [11].



Obr. 2.0 Princip svařování MAG [12]

2.2 Zařízení pro svařování

Pro svařování tavící se elektrodou existuje na trhu široké spektrum sortimentu, které je přizpůsobeno stupni automatizace, kterou má zákazník ve své výrobě zavedenou. Moderní svařovací zařízení mohou nabídnout rovněž kombinaci svařovacích technologií jako například MIG/MAG + TIG [3; 11].



Obr 2.1 Svařovací zařízení MAG [11]

2.2.1 Svařovací zdroje

Pro svařování metodami MIG/MAG jsou používány zdroje s usměrněným, stejnosměrným proudem s plochou statickou charakteristikou. Zdroje využívají konstantního napětí se samoregulační schopností k udržení konstantní délky elektrického oblouku [13].

Jako zdroje se používají [11]:

- svařovací usměřovače – starší zařízení, použití pro sprchový i zkratový přenos kovu. Pro svařování plechů se používají nízkovýkonné usměřovače se svařovacím proudem do 160 A a svařovacích drátů menších průměrů. Pro větší tloušťky se používají vysokovýkonné usměřovače s proudem až do 600 A a větších průměrů drátu,

- invertory (měniče) – novější zařízení, pracující na vyšší frekvenci až 20 kHz. Disponují nižší hmotností, další výhodou je snazší zapálení oblouku, impulzní přenos kovu a jeho nižší rozstřík.



Obr. 2.2 Svařovací zařízení Fronius [14]

2.2.2 Svařovací hořáky

Hořáky zajišťují přívod drátu pod proudem do místa svařování, přívod ochranného plynu a v případě vyššího příkonu také jeho vlastní chlazení cirkulující vodou. Svařovací hořáky se dělí na dva typy. A to na strojní s válcovou upínací částí a na ruční. Hořáky jsou vždy vybaveny tvarovou trubicí, která je vybavena průvlakem pro přenos proudu k drátu, vyústěním pro přívod ochranného plynu a plynovou tryskou [4].

Průběh svařování je ovládán spínačem pomocí řídicí jednotky umístěné ve zdroji. Při svařování se používají následující režimy [4]:

- dvoutaktní – po sepnutí spínače začíná proudit plyn následuje posuv drátu a přivedení elektrického proudu. Vhodné pro krátké svary.
- čtyřtaktní – prvním stisknutím spínače začíná proudit plyn a po jeho uvolnění se začíná vysunovat drát s malým zpožděním proudu. Při druhém stisknutí se vypíná posuv a přívod elektrického proudu a po uvolnění přestává proudit plyn. Ideální pro dlouhé svary.

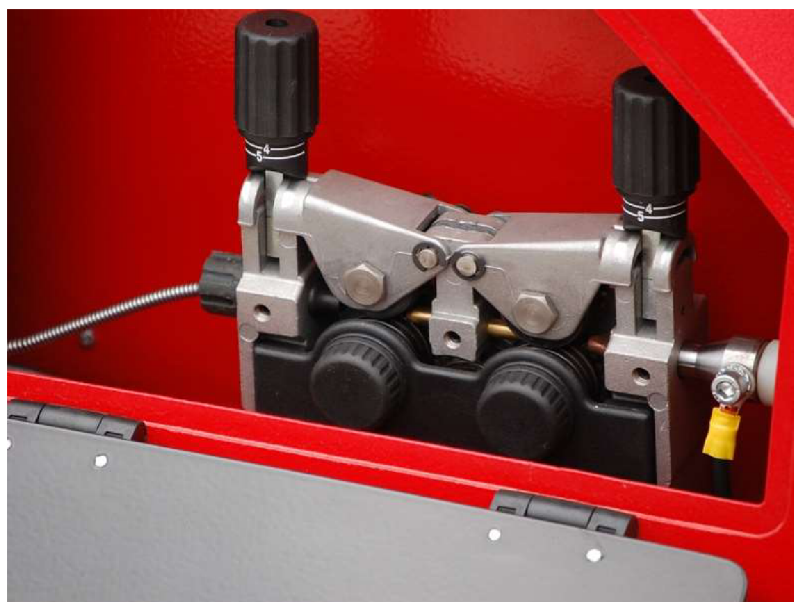
- speciální čtyřtaktní – při prvním stisknutí a držení spínače umožňuje tzv. horký start. Po uvolnění klesne svařovací proud na předem stanovenou hodnotu. Dalším stisknutím a držením klesne proud na druhou nastavenou hodnotu svařovacího proudu a třetím stiskem a držením začne svařovací proud klesat dle nastaveného průběhu pro vyplnění koncového kráteru. Uvolněním spínače (čtvrtým taktem) je zastaven proces svařování.



Obr 2.3 Svařovací hořák [15]

2.2.3 Podavače drátu

Podavač drátu je zařízení zaručující rovnoměrné posouvání přídatného materiálu ke svaru bez jeho deformace. Mechanismus je tvořen jednou nebo soustavou kladek [4].



Obr. 2.4 Podavač drátu se čtyřmi kladkami [16]

2.3 Příkladný materiál

Pro svařování metodami MAG/MIG je přídatný materiál dodáván buď ve formě svařovacího drátu, nebo trubičkových elektrod [17].

Příkladné materiály plní při svařování důležité funkce [13]:

- vyplňují objem svaru a dodává mu potřebný průřez,
- nahrazuje prvky, které vlivem svařování snížili svou koncentraci,
- dodávají potřebné legovací prvky pro dosažení požadovaných mechanických vlastností,
- jsou vodičem elektrického proudu.

Při svařování metodou MAG má přídatný materiál ve svém obsahu vysoký obsah manganu a křemíku. Důvodem je vysoký propal a vysoké dezoxidační účinky svarové lázně [11].

Svařovací drát je dále rozdělen podle svařovaného materiálu [18]:

- pro oceli – dodáván v průměrech 0,6; 0,8; 1,0; 1,2 a 1,6 mm,
- pro nezelezné kovy – dodáván v průměrech 0,8; 1,0; 1,2; 1,6 a 2,4 mm. Dráty pro svařování nezelezných kovů mohou být pokoveny mědí pro lepší přívod proudu a ochranou před korozí.

Přesné rozřídění drátových elektrod uvádí norma ČSN EN ISO 14341 [18].



Obr. 2.5 Svařovací drát ESAB OK Aristorod 12.50 [19]

Trubičkové elektrody jsou děleny [20]:

- podle náplně – s rutilovou, bazickou a kovovou,
- podle svařovaného materiálu – nelegované, nízkolegované, vysokolegované oceli a pro opravy a renovace,
- podle nutnosti použití ochranného plynu – vyžadující plynovou ochranu a s vlastní plynovou ochranou,
- podle dodávaného průměru – 1; 1,2; 1,4; 1,6; 2 a 2,4 mm.

Trubičkové elektrody jsou dodávány standardně v cívkách, případně ve svitcích. Tento typ elektrod specifikuje norma ČSN EN ISO 17632 [20].

Výhodou trubičkových elektrod je velmi malý obsah vodíku ve svaru, který přispívá ke vzniku pórů.



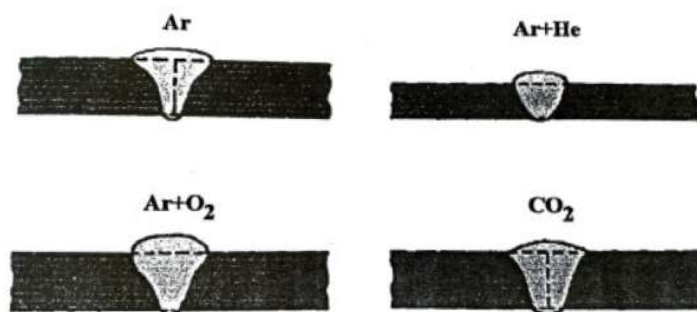
Obr. 2.6 Trubičkový drát [21]

2.4 Ochranné plyny

Ochranný plyn má velký vliv na chemické složení a tvar svaru, produktivitu a hospodárnost. Dále plní při svařování několik funkcí [22]:

- ochrana konce tavící se elektrody, svarovou lázeň a místo svaru před oxidací vlivem vzdušné atmosféry,
- vytvoření vhodných podmínek pro zapálení, udržení oblouku a přenos kovu.

Při svařování metodami MAG/MIG se používají směsi plynů jako argon, oxid uhličitý, helium, kyslík, protože jednokomponentní plyny nejsou schopny u některých kovů zajistit stabilní svařovací proces a přenos kovu v oblouku. Nejčastěji je používán argon s příměsí oxidu uhličitého a kyslíku pro zvýšení stability oblouku, pro zvýšení tepelného výkonu je potom přidáváno do směsi helium [22].



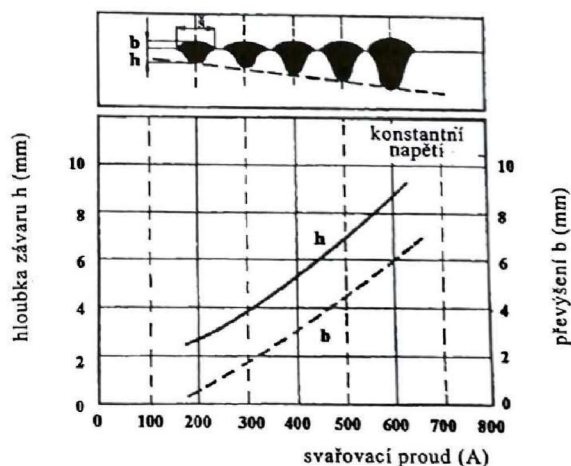
Obr. 2.7 Vliv ochranné atmosféry na svar (MAG) [2]

2.5 Parametry svařování

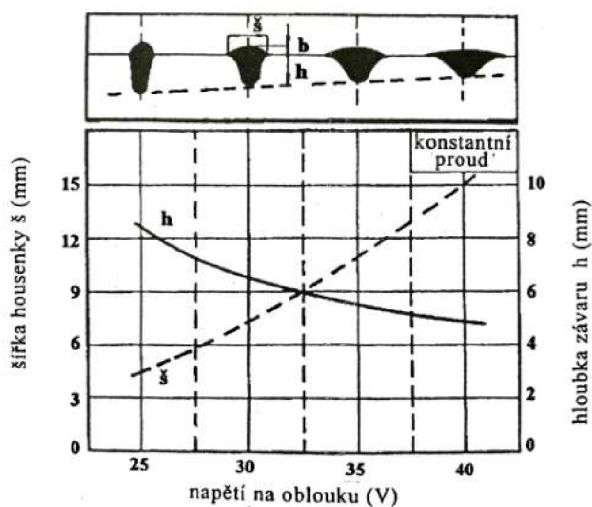
Nejvýznamnější parametry při svařování metodami MIG/MAG, které ovlivňují výsledný tvar a rozměry svaru se nazývají tzv. základní parametry svařování. Ty zejména ovlivňují tepelný příkon svařování. Mezi tyto parametry patří [13]:

- svařovací proud – I [A],
- svařovací napětí oblouku – U [V],
- rychlost svařování – v_{sv} [mm/min].

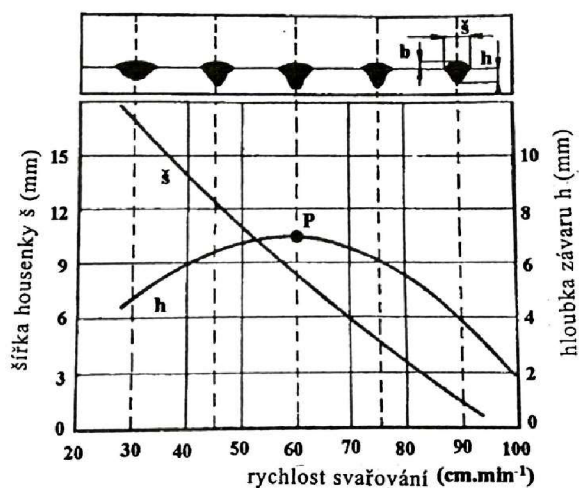
Vliv jednotlivých parametrů na výsledný svar je graficky znázorněn na obrázcích 2.8 až 2.10.



Obr. 2.8 Vliv svařovacího proudu na průřez svaru [2]

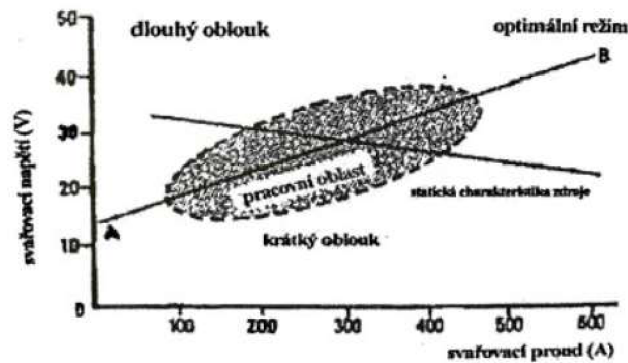


Obr. 2.9 Vliv svařovacího napětí na průřez svaru [2]



Obr 2.10 Vliv rychlosti svařování na průřez svaru [2]

Vzájemný vliv těchto parametrů ovlivňující výsledný svar jsou graficky znázorněny na obrázku 2.11, znázorňující optimální nastavení svařovacího zařízení pro svařování ve správném pracovním režimu.



Obr 2.11 Optimální svařovací režim pro MIG/MAG [2]

Kromě základních parametrů svařování mají na výsledný tvar svaru velký vliv a další činitelé, které jsou označovány jako podmínky svařování. Mezi tyto doplňkové parametry patří [3]:

- typ a průměr drátu – viz kapitola 2.3 Přídavný materiál
- nastavená polarita elektrod – pro svařování se používá výhradně stejnosměrný proud s nepřímou polaritou (záporná elektroda na základním materiálu),
- směr svařování a sklon hořáku – při svařování vpřed je nastaven úhel od základního materiálu nejčastěji v rozmezí 110 až 125°. Tím je dosaženo širšího, avšak nižšího svaru a menšího provaření základního materiálu. Při svařování vzad je nastaven úhel hořáku od základního materiálu v rozmezí 60 až 70°. Tímto způsobem je dosaženo užšího svaru s menším převýšením a průvarem,
- zvolený ochranný plyn – vliv ochranného plynu na výsledný svar viz kapitola 2.4 Ochranné plyny,
- způsob přenosu kovu v oblouku – různé typy přenosu kovu v oblouku spolu s jejich vlastnostmi je popsán v kapitole 1.5 Přenos kovu v oblouku,
- teplota přehřevu základního materiálu – přehřev materiálu zajišťuje širší svar a větší hloubku průvaru, svarová housenka získává lepší kresbu. Přehřev materiálu má také vliv na mechanické vlastnosti svaru.

3 OBLOUKOVÉ SVAŘOVÁNÍ NETAVÍCÍ SE ELEKTRODOU TIG

Svařování wolframovou netavicí se elektrodou, označovaná jako TIG (Tungsten inert gas) nebo WIG (Wolfram inert gas), nachází vedle technologie svařování tavící se elektrodou uplatnění ve všech výrobních provozech. Široké možnosti automatizace, schopnost svařovat oceli, od nelegovaných až po ty vysokolegované i možnost svařování neželezných kovů řadí tuto technologii svařování mezi nejpoužívanější [8].

3.1 Princip metody TIG

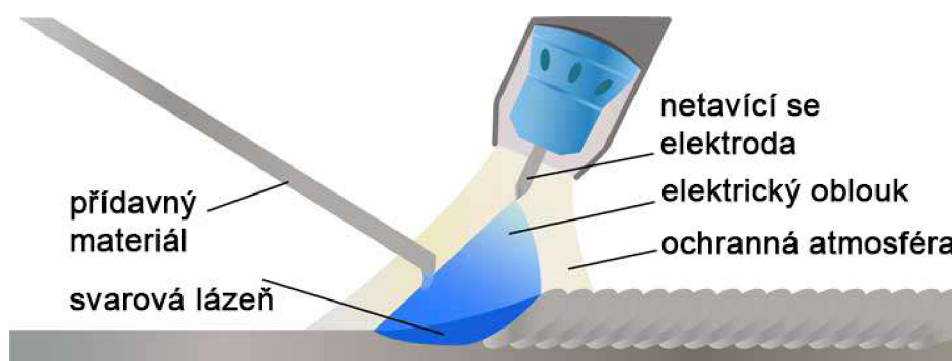
Principem technologie svařování netavicí se wolframovou elektrodou je hoření elektrického oblouku mezi elektrodou a základním materiálem v inertním, jinak řečeno v neaktivním či netečném plynu, jako je argon, helium, popřípadě jejich směsi.

Výhody metody TIG [23]:

- ochrana svarové lázně před vlivem vzdušné atmosféry díky inertní atmosféře,
- inertní plyn zamezuje propalu,
- vzhled vzniklé housenky,
- elektrický oblouk má vysokou stabilitu v širokém rozsahu proudů,

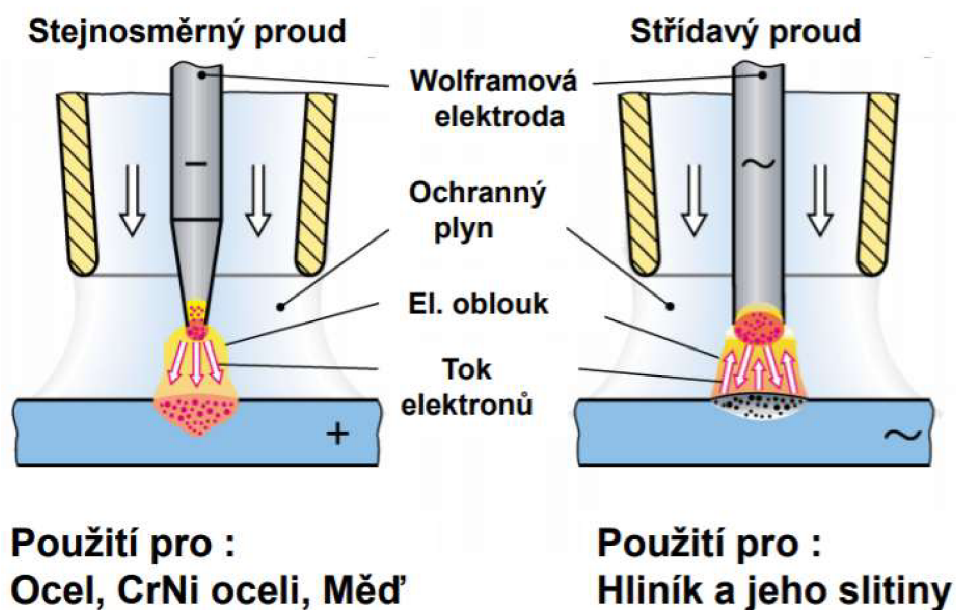
Nevýhody metody TIG [23]:

- větší tepelné ovlivnění materiálu než u metody MIG/MAG,
- finančně nákladné.



Obr. 3.0 Princip svařování TIG [24]

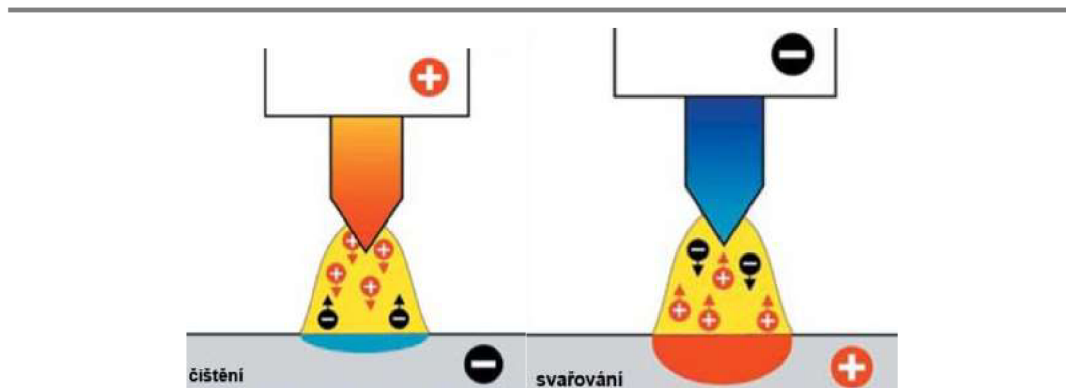
Na rozdíl od metody MIG/MAG, tak při svařování metodou TIG (WIG) je možné využívat jak stejnosměrného proudu s přímou polaritou (kladná elektroda na základním materiálu), tak i proudu střídavého pro svařování neželezných kovů [23].



Obr. 3.1 Svařovací proud při svařování metodou TIG [23]

Při svařování ocelí a železných kovů metodou TIG se využívá stejnosměrného proudu s přímou polaritou, kdy kladný pól je připojen na základní materiál a záporný pól k elektrodě. Teplo je zde nerovnoměrně rozděleno zhruba v poměru jedné třetiny na elektrodě a dvou třetin, které jsou vneseny do základního materiálu [25].

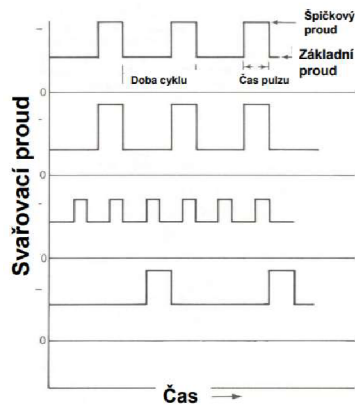
Při svařování hliníkových či hořčíkových slitin se využívá svařování střídavým proudem, pro jeho speciální tzv. čistící účinek, jelikož problémem při svařování hliníku je vrstva oxidu hlinitého na jeho povrchu, který brání oxidaci vlivem vzdušné atmosféry a okolním podmínkám. Zmíněná vrstva má velkou teplotu tavení až 2050 °C, která zabraňuje spojitosti svarové lázně. Tento účinek vzniká při obráceném zapojení než při svařování ocelí, tedy kladný pól je připojen k wolframové elektrodě a záporný k základnímu materiálu. Na základním materiálu se díky tomuto zapojení vytvoří katodová skvrna, která je nestabilní a pohybuje se na místa pokrytá oxidy, které jsou následně díky ní snadněji odpařeny, protože bez zásahu katodovou skvrnou mají tato místa nižší emisní energii. Druhým způsobem rozrušení vrstvy oxidu hlinitého je díky rozložení argonu na elektrony a ionty, které mají relativně velkou hmotnost a jsou emitovány směrem ke svarové lázni. Tím je stahována vrstva oxidu hlinitého k okraji svarové lázně [25].



Obr. 3.2 Průběh svařování střídavým proudem u metody TIG [26]

Nejnovější variantou u svařování metodou TIG je využití impulsního proudu, který se mění pravidelně s časem mezi dvěma hladinami, a to mezi základním proudem I_z a impulsním proudem I_p . Mezi výhody svařování impulsním proudem patří zejména [25]:

- nižší tepelné ovlivnění materiálu,
- formování a vzhled svarové housenky,
- možnost svařování tenkých plechů od tloušťky 0,5 mm,
- snížení rizika vzniku mezikrystalické koroze u vysokolegovaných ocelí,
- mechanické vlastnosti svaru.



Obr. 3.3 Průběh pulsního proudu [23]



Obr. 3.4 Svar v pulsním režimu [27]

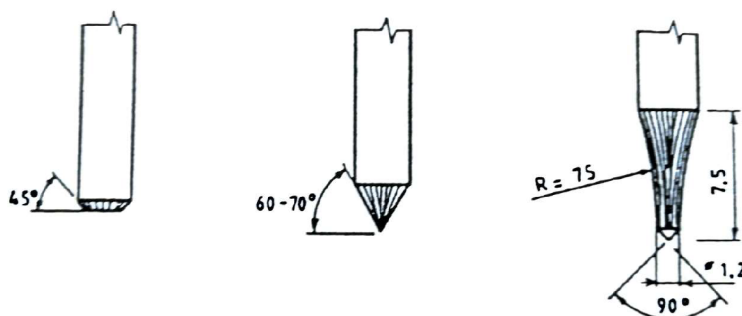
3.2 Wolframové elektrody

Netavící se elektrody pro svařování metodou TIG jsou kruhové tyče, které jsou vyráběny ze spékaného wolframu o teplotě tavení 3 400 °C. Elektrody jsou vyráběny buď z wolframu o čistotě 99,9 % nebo s příměsí legujících oxidů thoria (Th), lanthanu (La), ceru (Ce), zirkonu (Zr) nebo yttria (Y). Legující oxidy přinášejí řadu výhod [25]:

- zvyšují emisi elektronů,
- snižují teplotu ohřevu elektrody až od 1 000 °C,
- zvyšují životnost elektrody,
- usnadňují zapálení oblouku.

Elektrody jsou voleny podle velikosti proudové zátěže, stupni mechanizace a požadované kvality svarového spoje. Elektrody jsou dodávány v průměrech 0,5; 1; 1,6; 2; 2,5; 3,2; 4; 5; 6,3; 8 a 10 mm a v délkách 50; 75; 150 a 175 mm [28].

Konce elektrod jsou zabroušeny podle proudové zátěže a podle způsobu svařování. Obr 3.5 znázorňuje způsoby zakončení elektrod, kdy první zleva je používán pro ruční svařování střídavým proudem, prostřední pro ruční svařování stejnosměrným proudem a poslední (obrázek vpravo) pro mechanizované svařování stejnosměrným proudem. Čím ostřejší špička na elektrodě je vybroušena, tím nižší proudovou zátěž elektroda snese [25].



Obr. 3.5 Způsob zabroušení wolframových elektrod [2]

Blíže jsou netavící se elektrody specifikovány normou ČSN EN ISO 6848, která klasifikuje wolframové elektrody ke svařování elektrickým obloukem v interním plynu, plazmové řezání a svařování.

Jejich základní rozdělení dle složení je uvedeno v následující tabulce 3.0 Označení a složení wolframových elektrod.

Tab. 3.0 Označení a složení wolframových elektrod [28]

Označení	Druh oxidu	Množství přísady v %	Barevné označení
WP	–	–	Zelená
WT 4	ThO ₂	0,35 až 0,55	Modrá
WT 10	ThO ₂	0,80 až 1,20	Žlutá
WT 20	ThO ₂	1,70 až 2,20	Červená
WT 30	ThO ₂	2,80 až 3,20	Fialová
WT 40	ThO ₂	3,80 až 4,20	Oranžová
WZ 3	ZrO ₂	0,15 až 0,50	Hnědá
WZ 8	ZrO ₂	0,70 až 0,90	Bílá
WL 10	LaO ₂	0,90 až 1,20	Černá
WC 20	CeO ₂	1,80 až 2,20	Šedá

3.3 Přídavný materiál

Přídavný materiál je volen podle chemického složení základního materiálu, jeho mechanických vlastností a požadovaných mechanických vlastností svaru. Výchozím požadavkem na volbu přídavného materiálu je to, že svar musí mít minimálně stejné, popřípadě lepší mechanické vlastnosti než základní materiál.

Přídavný materiál je zde drát kruhového průřezu, který je dodáván nejčastěji v délce 1 metr o průměrech 1,2; 1,6; 2; 2,4; 3,2; 4,0 mm v balení 6 až 12 kg [17].



Obr. 3.6 Svařovací drát ESAB OK Tigrod 12.61 [29]

3.4 Ochranné plyny

Hlavním významem použití ochranných plynů při svařování metodou TIG je ochrana netavící se wolframové elektrody, svarové lázně a přilehlého základního materiálu před účinky okolního vzdušné atmosféry proti oxidaci a naplynění. Současně mají vliv na tepelný výkon elektrického oblouku, jeho zapálení a stabilitu po celý čas svařovacího procesu [30].

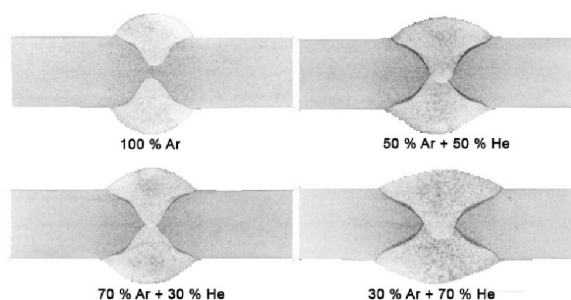
Při svařování pomocí netavící se elektrody jsou využívány inertní (netečné) plyny, nereagující s jinými chemickými prvky, jako je argon Ar, helium He nebo jejich směsi.

Argon je jednoatomový plyn bez zápachu a chuti. Ve srovnání se vzduchem má vyšší hustotu (viz Obr. 3.8 Srovnání hustot svařovacích plynů). Je vyráběn pomocí destilace zkapalněného vzduchu, protože je v něm zastoupen v největší míře. Pro svařování se využívá argonu s čistotou v rozmezí od 99,7 do 99,999 %. Argon s nečistějším složením je využíván ke svařování materiálů obzvláště citlivých na kyslík a dusík [2].

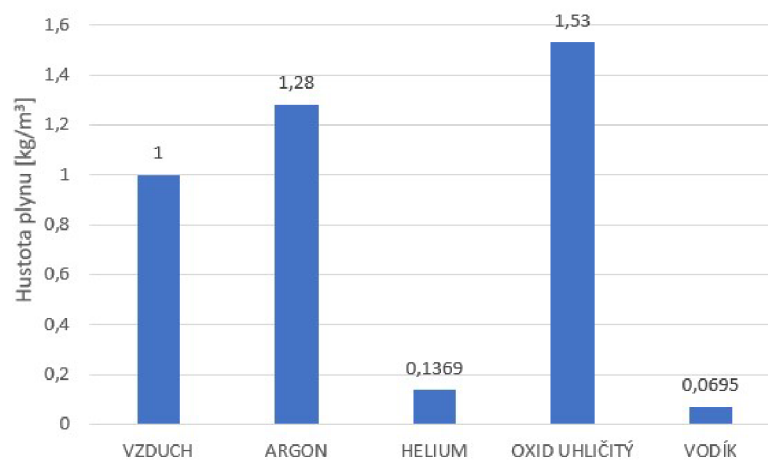
Helium je stejně jako argon jednoatomový plyn bez chuti a zápachu s rozdílem v hustotě, kdy hustota helia je mnohem nižší než hustota vzduchu. Je vyráběn destilací vzduchu nebo štěpením zemního plynu. Dalším rozdílem oproti argonu je, nízká ionizační schopnost helia a tím vyšší potřeba svařovacího proudu, oblouk chráněný heliem má však horší stabilitu a obtížněji se zapaluje. Výhodou při použití helia je však ve vyšším tepelném výkonu, a tím možnost vyšší rychlosti svařování. Čistota helia pro svařování se pohybuje v rozmezí od 99,996 do 99,999 %, přičemž nečistoty jsou zde vzácné plyny. Svařování v ochranné atmosféře z čistého helia se však používá pouze výjimečně [2].

Pro výhody helia a stabilitu argonu se pro svařování často používají směsi těchto dvou plynů. Zastoupení helia ve směsi se může pohybovat od 1 až do 95 %, nejčastěji se však směs používá ve složení 50% Ar + 50 % He, 70 % Ar + 30 % He nebo 30 % Ar + 70 % He. Vliv směsi na svar je zobrazen viz Obr 3.7 Vliv ochranné atmosféry na tvar svaru (TIG) [30].

Při mechanizovaném svařování vysokolegovaných ocelí metodou TIG je také využíváno směsí redukčních plynů. Tyto směsi jsou složeny z argonu Ar a vodíku H₂. Tyto směsi mají velmi dobré svařovací vlastnosti [25].



Obr. 3.7 Vliv ochranné atmosféry na tvar svaru (TIG) [26]



Obr. 3.8 Srovnání hustot svařovacích plynů [3]

4 HODNOCENÍ KVALITY SVAROVÝCH SPOJŮ

V technické praxi se nelze setkat s kovovým materiálem, vyrobeným běžnými postupy, který by neobsahoval vady. Ty mohou být jak makroskopické, které jsou snadno zjistitelné pouhým sledováním okem, nebo hůře zjistitelné mikroskopické [31].

Základním kritériem pro dělení vad svaru je podle jejich polohy. Dle toho se dělí na [32]:

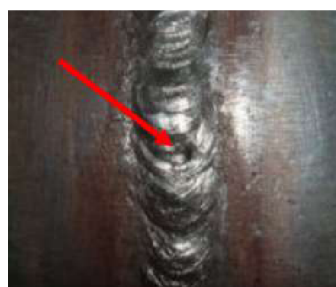
- vady povrchové – nacházejí se přímo na povrchu svarového spoje z vrchní části či spodní, nazývající se kořen svaru,
- vady vnitřní – druh vad vyskytující se pod povrchem svaru. Tím je jejich přítomnost obtížná na identifikaci a musí být využito speciálních nedestruktivních či destruktivních metod pro jejich odhalení.

Dle normy ČSN EN ISO 6520-1 jsou vady dále děleny na [33]:

- trhliny – podélné, příčné, nespojité, kráterové, rozvětvené,
- dutiny – póry, bubliny či staženiny vyskytující se jednotlivě nebo ve shlucích,
- vměstky – oxidické, tavidlové, kovové či struskové,
- studený spoj – základní materiál není se svarovým kovem promísen, ale je pouze přilepen na jeho povrch,
- vady tvaru – zápaly, vruby, zbytečné převýšení svarové housenky,
- různé – rozstřík, stopa po hoření oblouku.



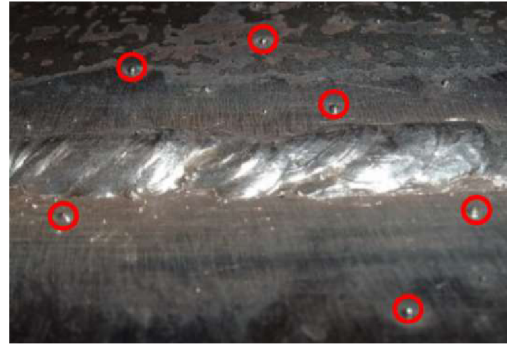
Obr. 4.0 Trhliny ve svaru [32]



Obr. 4.1 Dutina ve svaru [32]



Obr. 4.2 Vměstek ve svaru



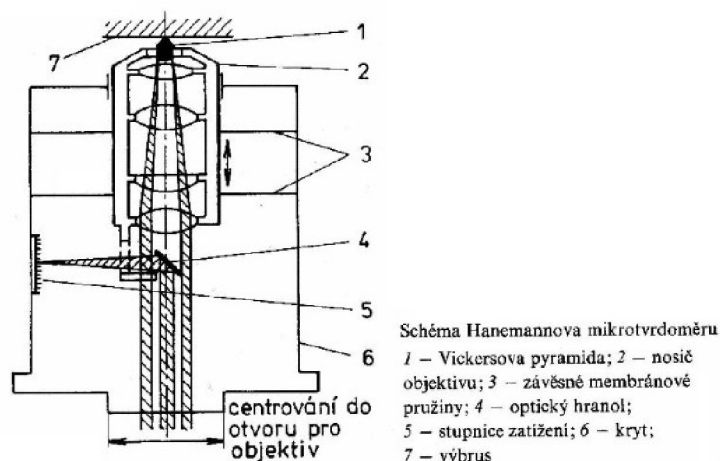
Obr. 4.3 Rozstřík svaru [32]

Kontrola svaru je rozdělována dle dopadu, kterou má na svarový spoj. Dle tohoto kritéria jsou zkoušky použité při zkoumání vzorků v experimentální části diplomové práce děleny na [31]:

- nedestruktivní – nedochází k poškození svarového spoje:
 - vizuální kontrola – nejjednodušší, nejrychlejší a nejméně nákladná defektoskopická zkouška prováděná zrakem. Dle přístupnosti svarového spoje je dále dělena na přímou a nepřímou, ke zjištění kvality svarů například v dutinách či jinak běžně nepřístupných místech [31],
- destruktivní – zkoušky sloužící ke zjištění mechanických vlastností vzorků a struktury materiálu:
 - příčná zkouška tahem – nejrozšířenější statická zkouška definovaná normou ČSN EN ISO 4136. Principem je plynulé zatěžování zkušební tyče na trhacím stroji až do jejího přetržení. K vykonání zkoušky se využívá dvou typů vzorků. Poměrných, u kterých je přesně dán poměr počáteční délky k druhé odmocnině počátečního průřezu, tyto koeficienty nabývají hodnot 5,65 a 11,3. Druhou variantou je využití vzorku nepoměrného, u kterého z důvodu nedodržení poměru délky ku průřezu nelze vyhodnocovat tažnost materiálu. Tato varianta nepoměrného vzorku je využita dále v experimentální části diplomové práce. Výstupem této zkoušky je zjištění meze pevnosti R_m , meze kluzu R_e , smluvní meze kluzu $R_{p0,2}$, kontrakce Z a tažnosti A [34],
 - makroskopická kontrola – jedná se o vizuální kontrolu speciálně upravených vzorků, jejichž příprava je blíže popsána v experimentální části diplomové práce. Vzorky jsou pozorovány při maximálně třicetinasobném zvětšení na makroskopické lupě vybavené snímacím zařízením. Na vzorcích je následně posuzována kvalita provedení

svaru, šířka tepelně ovlivněné oblasti, makroskopické defekty jako zápal, studené spoje apod. [35],

- mikroskopická zkouška – je prováděna na stejných vzorcích jako zkouška makroskopická s rozdílem v jejich zvětšení, které u zkoušky mikroskopické dosahuje až tisícinásobného zvětšení. Vzorky jsou zkoumány na metalografických mikroskopech se snímacím zařízením, které převádí fotografie struktury do speciálního softwaru pro následné porovnání. Při takovém zvětšení je pozorována mikrostruktura svarového spoje, ve které jsou viditelné hranice zrn a jednotlivé fáze. Makro i mikroskopickou kontrolu blíže popisuje norma ČSN EN ISO 17639 [35],
- měření mikrotvrdosti – jednou z nejpoužívanějších a nejjednodušších způsobů, jak zjistit tvrdost materiálu. Principem je vnikání diamantového tělíška, tzv. indentoru do povrchu zkoumaného materiálu. Měření probíhalo za využití Hanemannova mikrotvrdoměru, který využívá jako indentor Vickersův jehlan, tedy čtyřboký diamantový jehlan s vrcholovým úhlem 136° , usazený přímo ve speciálním objektivu, který je součástí metalografického mikroskopu. Objektiv s indentorem je usazen do membránových pružin, které mu umožňují pohyb ve svislém směru. Při kontaktu jehlanu se zkoumaným povrchem a následným tlakem je snímáno prohnutí těchto pružin, které odpovídá zatížení působící na diamantový indentor. Po odlehčení jehlanu je objektiv s indentorem zaměněn za objektiv klasický s požadovaným zvětšením a následně může být zkoumán vytvořený vpich. Při měření se porovnává délka dvou úhlopříček vtisku po indentoru. Větší tvrdost se vyznačuje kratšími úhlopříčkami vytvořeného vpichu [36].



Obr. 4.0 Schéma Hanemannova mikrotvrdoměru [37]

5 EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST

Experimentální část diplomové práce je věnována popisu průběhu svařování vzorků s vyhodnocením mikrostruktury, naměřené mikrotvrdosti, provedení tahové zkoušky a ekonomické porovnání obou metod svařování.

5.1 Použitý materiál a jeho vlastnosti

Podvozky motokár jsou vyráběny výhradně z ušlechtilé nízkolegované chrom-molybdenové oceli, nejčastěji v rozměrech T32x2 a T30x2. Nejčastěji používanou metodou k jejich svařování je svařování tavící se elektrodou MAG. Na podvozku motokáry převládají koutové svary. Příklady svarů na podvozku závodní motokáry jsou na následujících obrázcích 5.0 a 5.1.



Obr. 5.0 Svary předního zavěšení



Obr. 5.1 Svary na uložení zadní osy

Materiál 25CrMo4 pro provedení experimentu byl zprostředkován firmou Favex s.r.o. právě v rozměru T32x2, včetně přepisu atestačního certifikátu 3.1 číslo 2018008973 (příloha 1).

Chrom-molybdenová ocel je často využívána v automobilovém průmyslu, svařování ochranných rámců či jízdních kol. Legující prvky v CrMo oceli zvyšují její kalitelnost, obsah chromu napomáhá při ochraně před oxidací. Není ho v obsahu však takové množství, aby byla ocel korozivzdorná.

Následující tabulka udává chemické složení a mechanické vlastnosti trubek, patřící do tavby č. 82118, ze které zkoumané vzorky pochází.

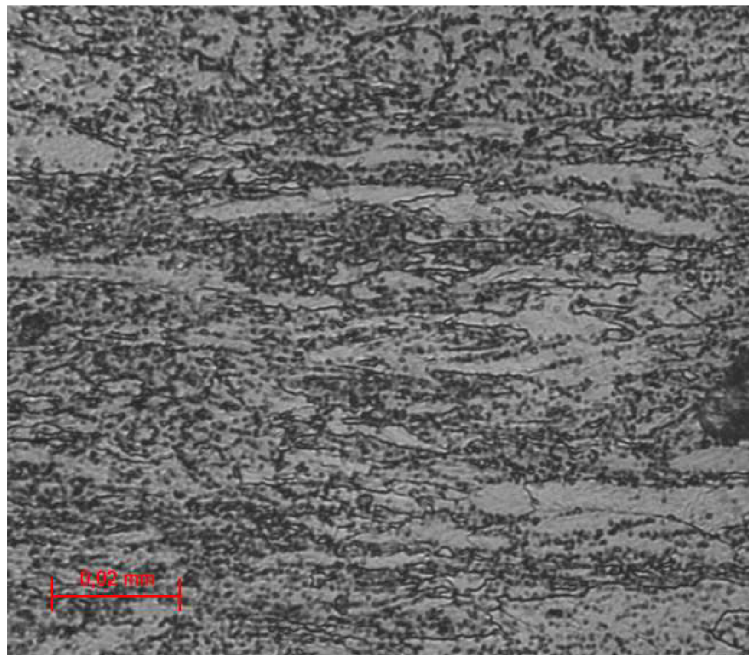
Tab. 5.0 Chemické složení použité oceli dle certifikátu 3.1 číslo 20188973

Prvek	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo
Obsah [%]	0,280	0,280	0,760	0,008	0,007	1,060	0,240

Tab. 5.1 Mechanické vlastnosti oceli dle certifikátu 3.1 číslo 20188973

Název	Značení	Hodnota
Mez pevnosti v tahu	Rm	777 MPa
Tažnost	A	8,2 %

Následující obrázek znázorňuje výchozí strukturu základního materiálu neovlivněného teplem. Ze snímku je patrné, že tepelně neovlivněná struktura je feriticko perlitická.



Obr. 5.2 Struktura základního materiálu (zvětšeno 400x)

Důležitým aspektem pro hodnocení vhodnosti materiálu ke svařování je výpočet uhlíkového ekvivalentu. Pro zhodnocení uhlíkového ekvivalentu nízkolegované oceli byl použit modifikovaný výpočet CET, právě pro tento typ materiálu.

Hraniční hodnota uhlíkového ekvivalentu, jehož výpočet udává vztah 5.0 [38], pro zkoumanou ocel je smluvně stanovena na 0,45, při které se zvažuje použití předehřevu, pokud to okolnosti, jako tloušťka materiálu dovolují.

$$CET = C + \frac{Mn+Mo}{10} + \frac{Cr+Cu}{20} + \frac{Ni}{40} = 0,28 + \frac{0,76+0,24}{10} + \frac{1,06+0}{20} + \frac{0}{40} = 0,438 \quad (5.0)$$

Z výsledku výpočtu tedy vyplývá, že materiál je možné svařovat bez předchozího předehřevu.

5.2 Svařování vzorků

Svařování vzorků probíhalo za pomoci společnosti SW-Motech s.r.o., zabývající se výrobou a distribucí ochranných prvků a příslušenství k motocyklům.

Před samotným svařováním bylo třeba vzorky připravit. Část vzorků byla navržena pro tahovou zkoušku a svařování tzv. na tupo. Další část byla připravena tak, aby bylo možné vytvořit koutový svar, který byl následně pomocí metalografické pily ze svařeného T-kusu vyříznut pro další zkoumání struktury a mirkotvrdosti. Dodané trubky byly děleny pásovou pilou na délku 150 mm. V případě přípravy vzorků pro svařování T-kusu byl na konci jedné 150 mm tyče vyfrézován rádius, nutný k obvaření celého obvodu spoje.

První ze vzorků byl svařován metodou MAG na zařízení Fronius TPS 320i. Jako přídavný materiál byl použit Svařovací drát ESAB OK Aristorod 12.50 o průměru 1 mm. Svařovací drát byl původně dodán na cívce o hmotnosti 18 kg. Cena tohoto přídavného materiálu se pohybuje na úrovni cca 67 Kč/kg [39]. Kopie atestačního dokumentu je zařazena do příloh diplomové práce. Ke svaření vzorku byl použit ochranný plyn Corgon 18 ve složení 82 % Ar + 18 % CO₂.

Svařovací proud nastavený na zařízení byl na základě tloušťky svařovaného materiálu 2 mm určen na hodnotu 120 A. Z důvodu malé tloušťky materiálu nebyla při svařování využita mezera mezi materiálem. Následující tabulka udává parametry svařování vzorků za použití metody MAG.

Tab. 5.2 Parametry svařování MAG

Technika svařování	Délka svaru [mm]	Doba hoření oblouku [s]	Rychlost svařování [mm/min]
Na tupo	100,5	14	430,7
Koutový svar	104,7	19	330,6



Obr. 5.3 Svařování vzorku metodou MAG

Svařování druhého vzorku probíhalo za použití metody TIG na zařízení Fronius MagicWave 3000. Přídavný materiál byl použit poměděný svařovací drát OK Tigrod 12.61 o průměru 1,6 mm v délce 1 m. Drát je dodáván v 5 kg balení s cenou na úrovni 227 Kč/kg [40]. Kopie atestačního dokumentu je zařazena v přílohách diplomové práce. Ke svaření vzorku byl použit ochranný plyn Argon 4,6.

Svařovací proud byl na zařízení nastaven na hodnotu 100 A. Následující tabulka udává parametry při svařování metodou TIG.

Tab. 5.3 Parametry svařování TIG

Technika svařování	Délka svaru [mm]	Doba hoření oblouku [s]	Rychlost svařování [mm/min]
Na tupo	100,5	76	79,3
Koutový svar	104,7	79	79,5



Obr. 5.4 Svařování vzorku metodou TIG

5.3 Vyhodnocení struktury svařovaných vzorků

K vyhodnocení mikro a makrostruktury svařených vzorků bylo využito laboratorních mikroskopů se záznamovým softwarem QuickPHOTO Industrial 2.2 k pořízení snímků. Samotnému vyhodnocování předcházela příprava vzorků, skládající se z několika kroků:

- řezání vzorků – svařené vzorky byly řezány na speciální metalografické pile Stuers Labotom 5 s ohledem na zachování části základního materiálu pro další porovnávání, tepelně ovlivněné oblasti a samotného svaru. Při řezném procesu byl vzorek po celou dobu ochlazován procesní kapalinou, aby nedošlo k dalšímu nechtěnému tepelnému ovlivnění a výsledky tak nebyly zkresleny,



Obr. 5.5 Řezání vzorků na metalografické pile

- **zalisování vzorků** – z důvodu bezpečnosti při broušení a snadnější následné manipulaci byly vzorky zalisovány do plastu pomocí zařízení Metkon ECOPRESS 100. Vyříznutý vzorek byl vložen do dutiny zařízení, ve které byl obsypán granulovaným zapékacím práškem, poté následoval proces zahřívání a tavení granulátu. Po ochlazení vzorku byl z přístroje vyjmut a následně byly začištěny hrany pro další opracování na metalografické leštičce.

Tab. 5.4 Parametry při lisování

Zahřívací teplota [°C]	Doba zahřívání [s]	Tlak lisování [MPa]	Ochlazovací teplota [°C]	Průměr zalisovaného vzorku [mm]
200	180	24	30	30



Obr. 5.6 Metkon ECOPRESS 100



Obr. 5.7 Zalisovaný vzorek

- **broušení vzorků** – pro eliminaci nerovností na povrchu svařovaného vzorku a srovnání povrchu plasty s povrchem kovu bylo nutné vzorek pečlivě obrousit. K tomuto účelu byla využita metalografická leštička Struers Labopol 5 s rotační hlavou. Při broušení se postupovalo od nejhrubšího brusného kotouče chlazených vodou až po nejjemnější filcový leštící kotouč s abrazivní emulzí. Před každou změnou brusných a leštících kotoučů byly vzorky opláchnuty lihem, aby nešlo k ulpění kovových střepek na povrchu vzorku, které by ho mohly znehodnotit. Broušení na jednotlivých úrovních bylo opakováno do doby, dokud výsledný povrch nebyl uspokojivý. Z důvodu setrvávání rýh na povrchu vzorků i po leštění s emulzí o zrnitosti 3 μm byl jako finální krok použit nejjemnější leštící kotouč s emulzí oxidu hlinitého o zrnitosti 1 μm .

Tab. 5.5 Parametry při broušení

Hrubost kotouče	Otáčky [1/min]	Čas broušení [min]	Emulze
220	300	5	-
900	300	5	-
1200	300	5	-
9 μ	150	5	Diamant 9 μm
3 μ	150	5	Diamant 3 μm
1 μ	150	5	Al ₂ O ₃ 1 μ

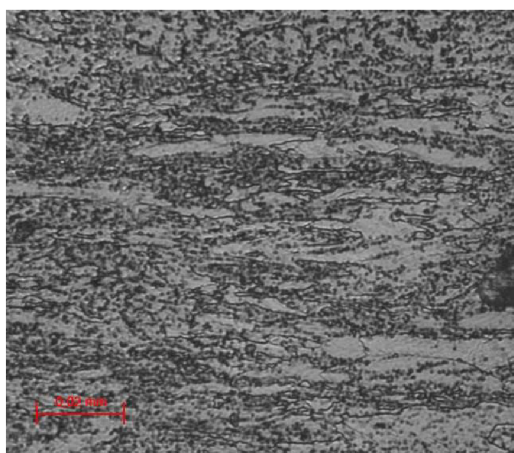


Obr. 5.8 Broušení vzorků

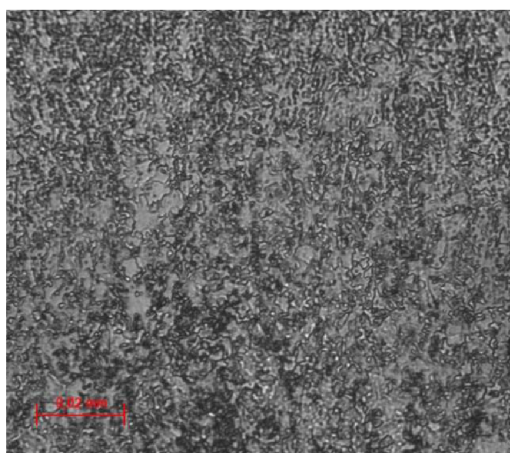
- leptání vzorků – leptání povrchu vzorků se používá ke zviditelnění struktury materiálu. Leptadlo, v našem případě Nital (3 % roztok kyseliny dusičné a methanolu), po nanesení na povrch začne narušovat měkké fáze materiálu a zviditelňuje hranici zrn. Leptání zkoumaných vzorků probíhalo jejich namočením do odměrky s leptadlem po dobu 5sekund, následovaných důkladným opláchnutím vzorku lihem a osušením teplým proudícím vzduchem. Bezprostředně po tomhle úkonu je nutné již zkoumat strukturu naleptaného materiálu, jelikož leptadlo nelze z povrchu dokonale odstranit a již po několika minutách se začínají objevovat stopy koroze. Z povrchu naleptaných vzorků je patrné, že přídatný materiál, použitý při svařování metodou TIG s leptadlem reaguje silněji než přídatný materiál použitý pro metodu MAG, jelikož po velmi krátké době povrch vzorku začal vykazovat stopy koroze. Tento jev lze dobře pozorovat na makroskopickém snímku daného vzorku.

Vyhodnocení mikrostruktury bylo provedeno na snímcích až ve 400násobném zvětšení. K porovnání byly pořízeny snímky základního materiálu, tepelně ovlivněné oblasti i svarového kovu s různým zvětšením. Fotografie ve větším měřítku jsou součástí přílohy diplomové práce. Vyznačené měřítko na fotografiích odpovídá 0,02 mm.

- základní materiál – v zobrazených snímcích vzorku svařovaného metodou MAG je patrná feriticko perlitická struktura s deformací za studena, vzniklá tažením materiálu při výrobě trubky. Struktura vzorku svařovaného technologií TIG je rovněž feriticko perlitická, ale s viditelně jemnějšími zrny, což je způsobeno normalizačním vyžeháním materiálu díky vyšší teplotě při svařování.



Obr. 5.9 Mikrostruktura základního materiálu – MAG



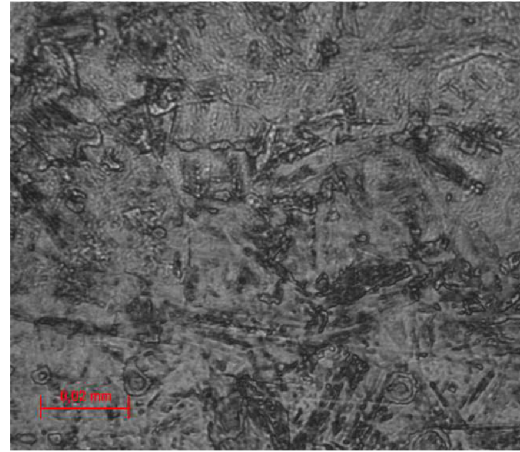
Obr. 5.10 Mikrostruktura základního materiálu – TIG

- tepelně ovlivněná oblast – v mikrostruktuře tepelně ovlivněné oblasti lze již sledovat významnější rozdíly mezi jednotlivými metodami svařování. V případě vzorku svařovaném metodou MAG je patrná

Widmanstattenova struktura. Tato struktura představuje tvrdé a křehké fáze, což je ve svaru nežádoucím jevem. V obou vzorcích jsou viditelné karbidy chromu. U vzorku svařovaného metodou TIG se ve struktuře začínají objevovat martenzitické jehlice, vzniklé rozsáhlejší austenitizací vlivem delší doby setrvání nad křivkou překrystalizační teploty AC_3 , čemuž také odpovídá naměřená mikrotvrdość v této lokaci. Rovněž se ve struktuře vylučují karbidy na hranici zrn.

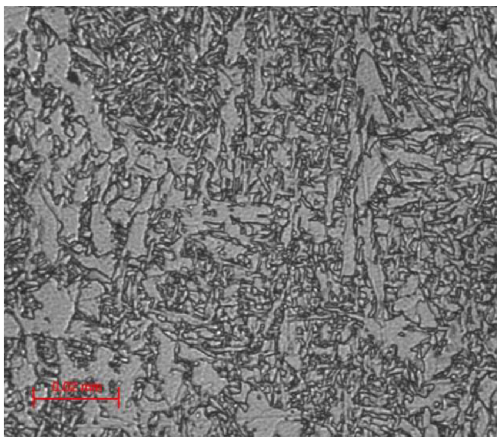


Obr. 5.11 Mikrostruktura TOO – MAG

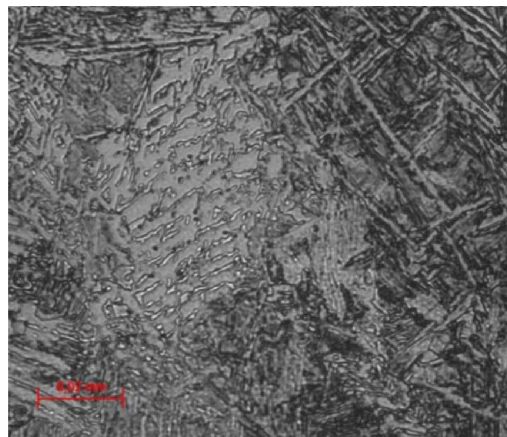


Obr. 5.12 Mikrostruktura TOO – TIG

- svarový kov – největší rozdíly ve struktuře lze pozorovat ve svarovém kovu. Důvodem je míra vneseného tepla. Při svařování technologií MAG je struktura tvořena acikulárním feritem, který je významným mikrostrukturním komponentem pro jeho vysoké pevnostní vlastnosti i velkou míru houževnatosti. Značný podíl na struktuře zabírají jemné karbidy chromu. Při svařování technologií TIG se ve struktuře vytváří dle naměřené mikrotvrdości jehlice dolního bainitu, spolu s karbidy chromu.



Obr. 5.13 Mikrostruktura svaru – MAG

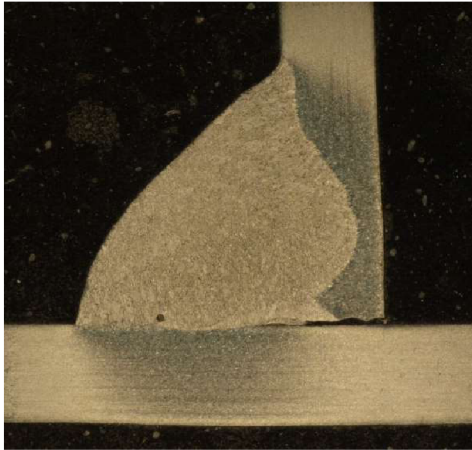


Obr. 5.14 Mikrostruktura svaru – TIG

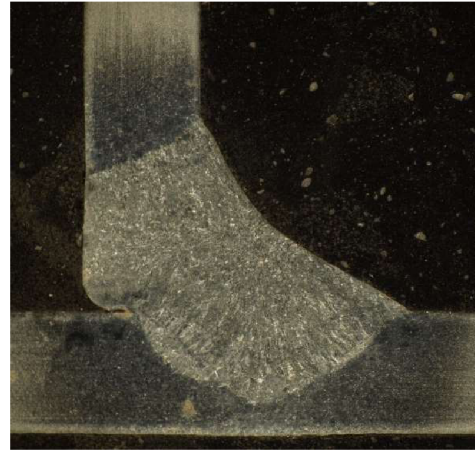
Z vyhodnocené makrostruktury jednotlivých vzorků je především dobře rozlišitelný rozsah tepelně ovlivněné oblasti. Ze snímků vzorku svařovaného metodou MAG jsou patrné následující vady:

- menší hloubka provaření základního materiálu,
- objemový defekt tvořený vměstkem.

Ze snímku vzorku svařovaného metodou TIG je patrná koroze vzniklá během několika sekund po naleptání povrchu.



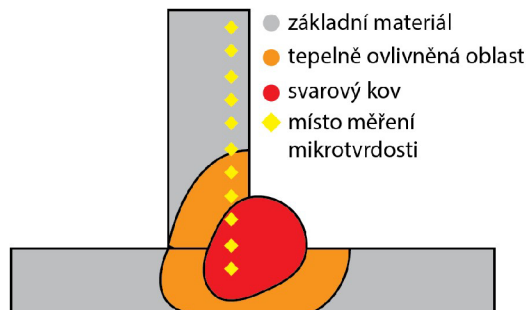
Obr. 5.15 Makrostruktura – MAG



Obr. 5.16 Makrostruktura – TIG

5.4 Vyhodnocení mikrotvrdomosti svařovaných vzorků

V našem případě bylo zatížení mikrotvrdoměru nastaveno na HV 0,1, což odpovídá zatížení 9,81 N a rozestupy mezi jednotlivými vpichy byly nastaveny na vzdálenost 0,2mm. Hodnoty nastavení mikrotvrdoměru pro jednotlivé zatížení určuje norma ČSN EN ISO 9015-2. Měření mikrotvrdomosti bylo provedeno od středu svaru, přes tepelně ovlivněnou oblast, až do teplem neovlivněného základního materiálu. V této délce 6,4 mm bylo tedy provedeno 33 vpichů na obou vzorcích. Délka vzorku byla využita celá z důvodu eliminace možných chyb způsobených provedením vpichu v na hranici zrn, vměstku, či bublin které mohou vykazovat menší hodnoty tvrdosti.



Obr. 5.17 Schéma měření mikrotvrdomosti

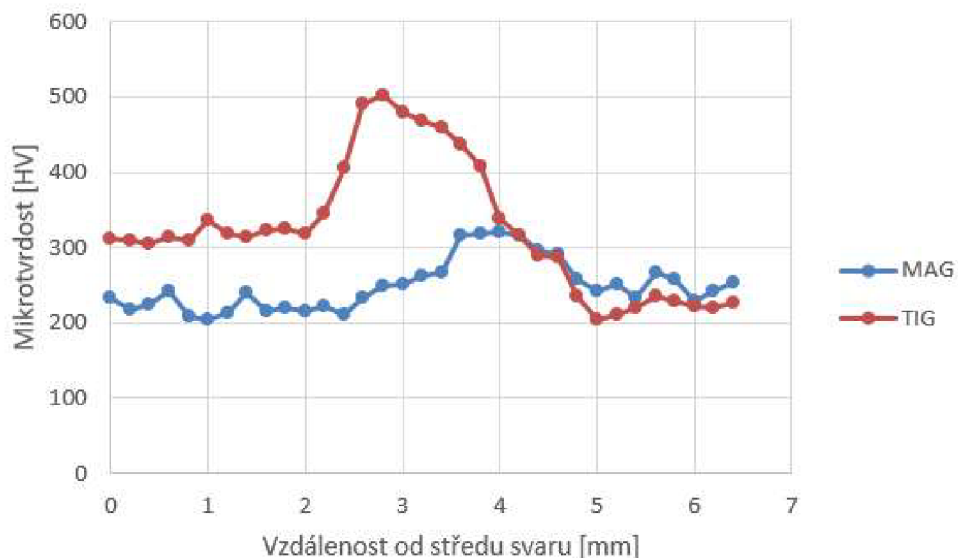
Závislost mikrotvrlosti na poloze měření znázorňuje následující graf (viz Obr. 5.18 Porovnání naměřené mikrostruktury), ze kterého je patrné, že při obou metodách svařování vykazuje nejvyšší hodnoty mikrotvrlosti tepelně ovlivněná oblast, středních hodnot je dosahováno ve svarovém kovu a nejměkčí je základní materiál.

Při svařování metodou TIG jsou hodnoty mikrotvrlosti dosahující až 501 HV o poznání vyšší než u metody MAG, u které se nejvyšší naměřené hodnoty v tepelně ovlivněné oblasti pohybují na hranici 320 HV. To je způsobeno větší mírou vneseného tepla do materiálu, čemuž také odpovídá zviditelněná mikrostruktura v předchozí podkapitole. Svařování metodou TIG vykazuje razantnější přechod tvrdosti ze svarového kovu do tepelně ovlivněné oblasti, zatímco při svařování metodou MAG je přechod více pozvolný. Malý rozdíl lze také pozorovat v naměřené mikrotvrlosti základního materiálu, tento rozdíl může být způsoben jeho popuštěním vlivem větší míry vneseného tepla při svařování metodou TIG.

Tabulka 5.6 udává vybrané hodnoty tvrdosti v jednotlivých místech vzorku. Kompletní naměřené hodnoty mikrotvrlosti obou vzorků jsou součástí příloh diplomové práce.

Tab. 5.6 Vybrané hodnoty mikrotvrlosti

Metoda svařování	Naměřená mikrotvrdot [HV]								
	Svarový kov			TOO			Základní materiál		
MAG	234	218	225	315	319	320	228	242	253
TIG	311	309	305	491	501	480	223	220	227



Obr. 5.18 Porovnání naměřené mikrotvrlosti

5.5 Příčná zkouška tahem

Tahová zkouška byla provedena na trhacím stroji ZD40, jehož specifikace jsou uvedeny v příloze č. 7.

Při prvním pokusu byla do zkušebního stroje upnuta celistvá trubka svařovaná metodou TIG v délce 300 mm. Výsledkem tohoto pokusu bylo přetržení vzorku v teplem neovlivněném základním materiálu mimo vyznačenou oblast, jak zobrazuje Obr. 5.20 Přetržení celistvé trubky.

Tab. 5.7 Data tahové zkoušky celistvé trubky

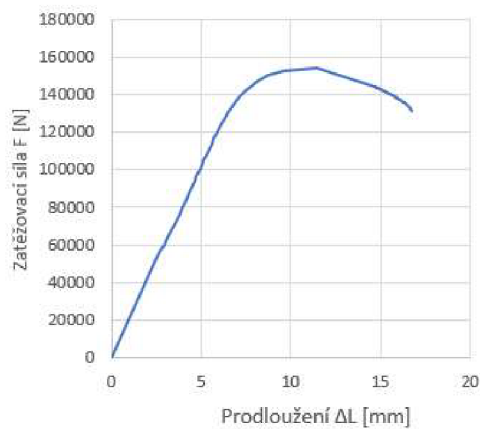
S_0 [mm ²]	F_m [kN]	$R_{p0,2}$ [MPa]	R_m [MPa]	T_m [s]	V_t [mm/min]	V_{t1} [MPa/min]
188,5	154,108	743,32	817,57	56,64	8,11	15



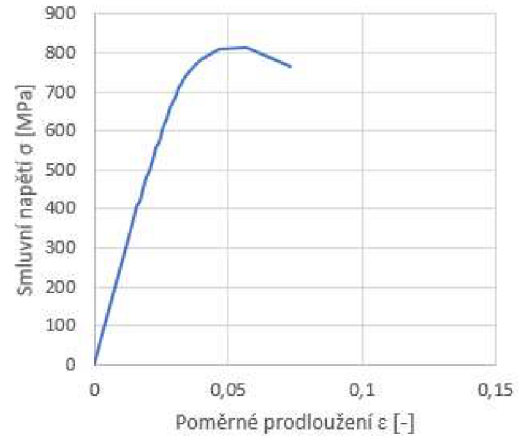
Obr. 5.20 Přetržení celistvé trubky

Tím, že u vzorku celistvé trubky došlo k lomu mimo svar a mimo tepelně ovlivněnou oblast, což je v praxi úspěšný výsledek tahové zkoušky, je možné svar považovat za kvalitně provedený.

Poměr zatěžovací síly na prodloužení a poměr smluvního napětí na poměrném prodloužení zobrazují následující diagramy. Z jejich průběhů zatěžování je patrná výrazná oblast plastických deformací základního materiálu oproti upraveným vzorkům, před samotným lomem.



Obr. 5.21 Pracovní diagram zatěžování celistvé trubky

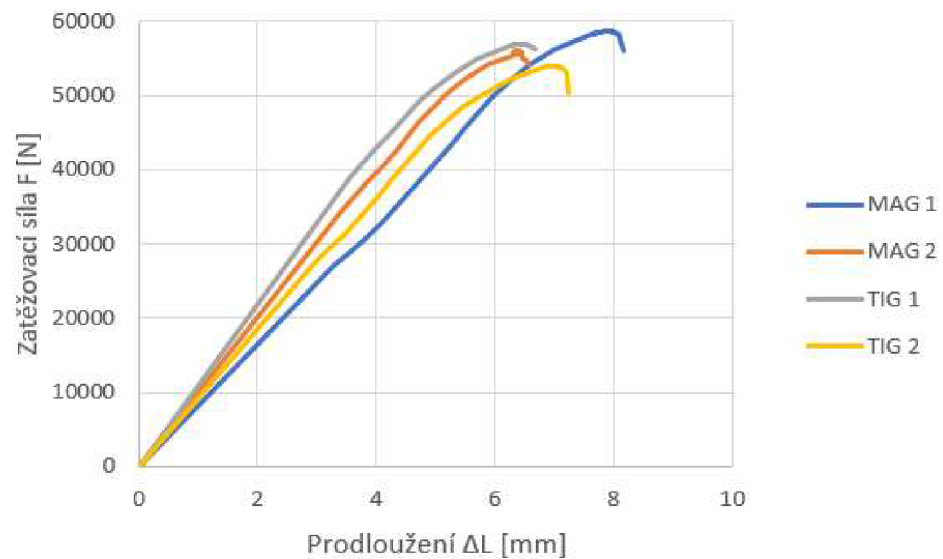


Obr. 5.22 Smluvní diagram zatěžování celistvé trubky

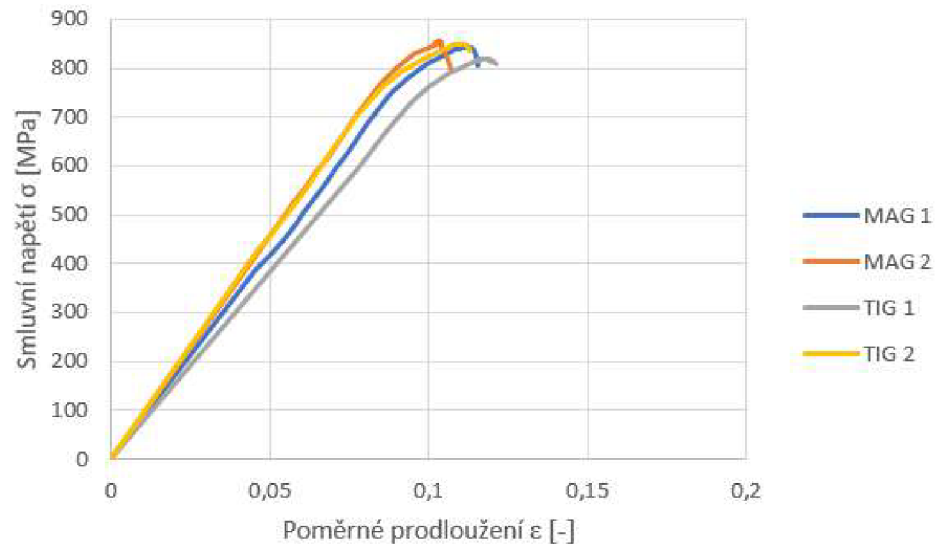
Avšak právě z důvodu přetržení vzorku mimo očekávanou oblast a nezískání tak požadovaných informací o svarovém spoji bylo nutné další vzorky upravit. To bylo docíleno podélným rozříznutím trubky, vyfrézováním vrubu přímo v místě svaru tak, aby bylo dosaženo lomu v požadovaném místě a zploštěním konců vzorků hydraulickým lisem pro upnutí do čelistí trhačického stroje.

Tab. 5.8 Data tahové zkoušky upravených vzorků

Vzorek	S_0 [mm ²]	F_m [kN]	$R_{p0,2}$ [MPa]	R_m [MPa]	T_m [s]	V_t [mm/min]	V_{t1} [MPa/min]
MAG 1	69,62	58,735	810,36	843,60	56,66	6,77	14,99
MAG 2	65,57	56,045	840,02	854,80	56,96	6,41	15,00
TIG 1	65,57	56,966	847,34	868,85	57,82	6,80	15,00
TIG 2	63,53	53,985	804,90	849,76	57,16	6,11	15,01



Obr. 5.23 Pracovní diagram zatěžování upravených vzorků

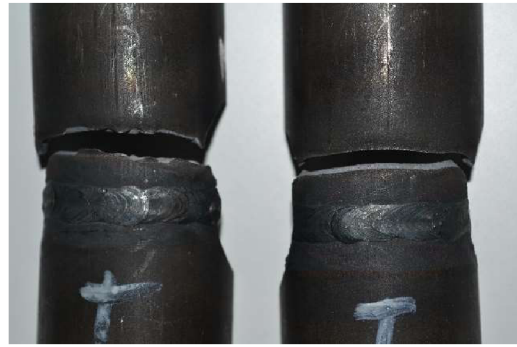


Obr. 5.24 Smluvní diagram zatěžování upravených vzorků

Při zkoušení vzorků svařovaných metodou TIG došlo k lomu v obou případech na přechodu mezi tepelně ovlivněnou oblastí a základním materiálem. Odlišnost ve výsledku zkoušky vykazaly vzorky svařované metodou MAG. Při zkoušení těchto vzorků došlo k prvotnímu lomu uprostřed svarového kovu, následně s rozšířením do tepelně ovlivněné oblasti. To je způsobeno v obou případech různou hloubkou provaření materiálu. Detaily lomů jsou zobrazeny na obrázcích 5.25 až 5.28. Oblast lomu u upravených vzorků vykazuje výrazně vyšší mez pevnosti, avšak na úkor plastičnosti.



Obr. 5.25 Detail lomu MAG 1



Obr. 5.26 Detail lomu TIG 1



Obr. 5.27 Detail lomu MAG 2



Obr. 5.28 Detail lomu TIG 2

5.6 Ekonomické zhodnocení

Náklady na svařování jsou v praxi velmi důležitým ukazatelem a často také mohou rozhodovat o použití jednotlivých metod svařování ve výrobě.

Kalkulace nákladů na svařování je závislá na typu svaru, jeho rozměrech, na druhu a průměru přídavného materiálu, ochranném plynu a času svařování. Tyto vstupní parametry pro obě metody svařování jsou shrnuty v tabulce 5.9 Vstupní parametry. Z důvodu převážně koutových svarů na motokárovém podvozku jsou použity hodnoty právě pro tento typ svaru. Pořizovací náklady na použité svařovací zařízení jsou popsány v tabulkách 5.10 a 5.11.

Tab. 5.9 Vstupní parametry [39; 40; 41; 42]

Parametr	MAG	TIG
Celková délka svaru l [m]	5,25	5,25
Spotřeba přídavného materiálu [Kg]	0,88	0,37
Cena přídavného materiálu [Kč/kg]	67	227
Průtok ochranného plynu Q [l/min]	10	10
Cena ochranného plynu [Kč/m ³]	497	548,7
Celková doba svařování [s]	1594	4731
Rychlost svařování v_{sv} [m/min]	0,33	0,079
Sazba [Kč/hod]	600	600

Tab. 5.10 Pořizovací náklady zařízení TPS 320i (MAG) [43]

Název položky	Cena [Kč]
Svařovací zdroj Fronius TPS 320i	94 370
Podavač WF 25i 4R	41 180
Podvozek PickUP 5000	10 700
Hořák MTW 500i FSC	10 910
Ostatní vybavení	95 100
Celková cena	252 260

Uvedené ceny jsou bez DPH.

Tab. 5.11 Pořizovací náklady zařízení MagicWave 3000 (TIG) [43]

Název položky	Cena [Kč]
Svařovací zdroj Fronius MagicWave 3000	137 700
Podvozek Easy 2500	13 130
Hořák TTW2500A	10 180
Ostatní vybavení	45 375
Celková cena	206 385

Uvedené ceny jsou bez DPH.

Prvním krokem ke zjištění nákladu [44] na spočívá ve výpočtu doby svařování, ta se skládá z doby hoření oblouku a manipulačního času, který je nutný k ustavení materiálu v přípravcích. Pro tuto manipulaci byl určen čas 10 minut. Sazba v hodnotě 600 Kč/hod je cena určena společností SW-Motech s.r.o. V této ceně jsou započítány jak mzdy svářečů a technickohospodářských pracovníků, tak i ostatní fixní náklady na provoz.

$$N_{S,MAG} = \frac{\text{celková doba svařování}}{3600} \cdot \text{sazba firmy} = \frac{1594}{3600} \cdot 600 = 265,7 \text{ Kč} \quad (5.1)$$

$$N_{S,TIG} = \frac{\text{celková doba svařování}}{3600} \cdot \text{sazba firmy} = \frac{4731}{3600} \cdot 600 = 788,5 \text{ Kč}$$

Ke zjištění ceny za spotřebovaný přídavný materiál, který je dán vztahem 5.2 [44] je nutné zjistit jeho spotřebu. Tento parametr byl určen pomocí výpočetní aplikace prodejce přídavných materiálů Bohler [45].

$$N_{PM,MAG} = \text{spotřeba } PM_{MAG} \cdot \text{cena } PM_{MAG} = 0,88 \cdot 67 = 58,9 \text{ Kč} \quad (5.2)$$

$$N_{PM,TIG} = \text{spotřeba } PM_{TIG} \cdot \text{cena } PM_{TIG} = 0,37 \cdot 227 = 83,3 \text{ Kč}$$

Pro výpočet ceny spotřebovaného ochranného plynu [44] je kromě jeho ceny nutné znát nastavený průtok. Ten je v našem případě nastaven na 10 l/min.

$$S_{OP,MAG} = \frac{Q}{v_{sv}} = \frac{10}{0,33} = 30,3 \text{ l/m} \quad (5.3)$$

$$S_{OP,TIG} = \frac{Q}{v_{sv}} = \frac{10}{0,079} = 126,6 \text{ l/m}$$

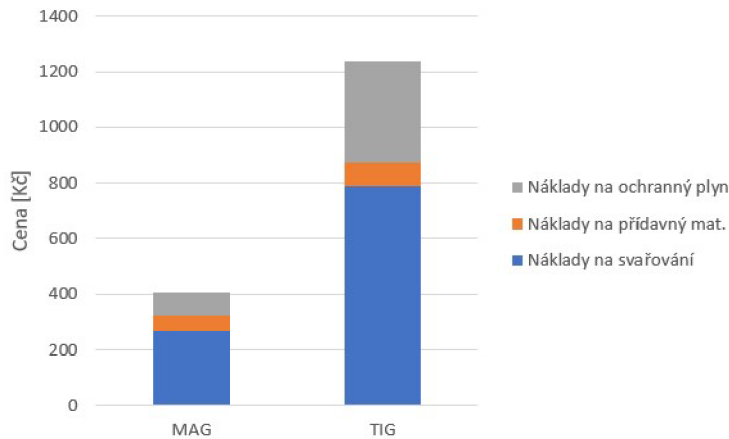
$$N_{OP,MAG} = \frac{S_{OP,MAG} \cdot C_{OP,MAG}}{1 \cdot 10^3} \cdot l = \frac{30,3 \cdot 497}{1 \cdot 10^3} \cdot 5,25 = 79 \text{ Kč} \quad (5.4)$$

$$N_{OP,TIG} = \frac{S_{OP,TIG} \cdot C_{OP,TIG}}{1 \cdot 10^3} \cdot l = \frac{126,6 \cdot 548,7}{1 \cdot 10^3} \cdot 5,25 = 364,7 \text{ Kč}$$

Celkové náklady pro obě metody svařování jsou dány sumou dílčích nákladů [44].

$$\begin{aligned} N_{CELK,MAG} &= N_{S,MAG} + N_{PM,MAG} + N_{OP,MAG} = 265,7 + 58,9 + 79 = 403,6 \text{ Kč} = \\ &= 76,9 \text{ Kč/m} \end{aligned} \quad (5.5)$$

$$\begin{aligned} N_{CELK,TIG} &= N_{S,TIG} + N_{PM,TIG} + N_{OP,TIG} = 788,5 + 83,3 + 364,7 = 1236,5 \text{ Kč} = \\ &= 235,5 \text{ Kč/m} \end{aligned}$$



Obr. 5.29 Grafické porovnání nákladů svařování

ZÁVĚR

Zadáním a cílem této diplomové práce bylo porovnání vzorků trubek o průměru 32 mm se silou stěny 2 mm z chrom-molybdenové oceli 25CrMo4 svařovaných elektrickým obloukem metodami s tavící se elektrodou MAG a netavící se elektrodou TIG. Tyto vzorky představují část rámu závodních motokár, které jsou z použité nízkolegované oceli standardně svařovány.

Po svaření ocelových trubek byly vzorky upraveny pro další zkoušení, a to zviditelnění struktury materiálu, měření mikrotvrdomosti a provedení příčné tahové zkoušky.

Pomocí přípravy vzorků na metalografickém vybavení skládající se z několika kroků bylo možné z vyhodnocené mikrostruktury vyvodit, že:

- feriticko perlitická struktura základního materiálu je v případě svařování metodou TIG do jisté míry a vzdálenosti od tepelně ovlivněné oblasti normalizačně vyžehána a je viditelně jemnější než u vzorku svařeného metodou MAG,
- v tepelně ovlivněné oblasti obou vzorků vznikají karbidy chromu. Metoda TIG ve struktuře vykazuje martenzitické jehlice, u metody MAG je viditelná Widmanstattenova struktura, nepříznivá pro její mechanické vlastnosti,
- nejvýraznější rozdíl je patrný ve svarovém kovu, který je v případě metody MAG tvořen acikulárním feritem, zatímco u metody svařování TIG je struktura s výrazným zastoupením karbidy spolu s jehlicemi dolního bainitu.

Zviditelněná makrostruktura odhaluje v případě vzorku svařovaného metodou MAG dvě vady, a to objemovou, která je tvořena vměstkem a malou hloubku provaření základního materiálu. U vzorku svařovaného metodou TIG je patrná silnější reakce s leptadlem a velmi rychlý vznik koroze.

Naměřená mikrotvrdomost obou vzorků podporuje výsledky zjištěné z mikrostruktury, jelikož získané hodnoty odpovídají míře vneseného tepla a tím změnám ve struktuře. Nejvyšší hodnoty byly naměřeny v tepelně ovlivněné oblasti. U metody MAG se mikrotvrdomost v TOO pohybuje na hodnotách okolo 320 HV. V případě vzorku svařeného metodou TIG mikrotvrdomost dosahuje až 501 HV. Průběh naměřených hodnot je zobrazen na obrázku 5.18. Kompletní naměřené hodnoty jsou k nahlédnutí v příloze č. 6.

Příčná tahová zkouška v případě prvního vzorku, kterým byla celistvá trubka svařená metodou TIG po jejím obvodu, vypovídá o kvalitně provedeném svaru, jelikož k lomu došlo za hranicí TOO v základním materiálu. V případě zkoušky provedené na upravených vzorcích tak, aby k lomu došlo v bezprostřední blízkosti svaru došlo u vzorků svařovaných metodou MAG k lomu přímo ve svarovém kovu s následným kolmým přestupem do TOO při mezi pevnosti R_m 843,6 a 854,8 MPa, to značí o různých hloubkách provaření, a tím nižší kvalitě spoje. V případě trubek svařovaných metodou TIG došlo k lomu od počátku v TOO souhlasně v obou vzorcích při mezi pevnosti R_m 868,85 a 849,76 MPa.

Pomocí součtu dílčích nákladů byla stanovena celková cena svařování pro obě metody. Vypočtené hodnoty se vztahují vždy ke svařování celého rámu motokáry,

tedy 5,25 m svarového spoje. Výsledná hodnota nákladů na provedení svaru se skládá ze součtu následujících částí:

- náklady na svařování – 265,7 Kč pro metodu MAG,
– 788,9 Kč pro metodu TIG,
- náklady na přídavný materiál – 58,9 Kč pro metodu MAG,
– 83,3 Kč pro metodu TIG,
- náklady na ochranný plyn – 79 Kč pro metodu MAG,
– 364,7 Kč pro metodu TIG.

Celkové náklady na svařování jsou tedy stanoveny na 403,6 Kč (79,6 Kč/m) pro metodu MAG a 1236,5 Kč (235,5 Kč/m) pro metodu TIG.

Z výše uvedených výsledků vyplývá, že pro svařování motokárových rámců z chrom-molybdenové oceli se jako výhodnější jeví metoda svařování s tavící se elektrodou MAG. Její výhoda především spočívá v kratší době svařování a nižších nákladech při srovnatelných mechanických vlastnostech. Podmínkou však je správné odladění svařovacího procesu, aby bylo zabráněno neprovaření materiálu.

SEZNAM ZDROJŮ

- [1] CARRASCOSA, Oscar. *Carlos Saniz performs at Karting Club Correcaminos in Recas* [online]. In: . 2017 [cit. 2019-05-14]. Dostupné z: <https://www.redbull.com/in-en/karting-mistakes-novices-make>
- [2] BARTÁK, Jiří. *Učební texty pro evropské svářečské specialisty, praktiky a inspektory*. 1. vyd. Ostrava: ZEROSS, 2002, 418 s. ISBN 80-85771-97-7.
- [3] KUBÍČEK, Jaroslav. *TECHNOLOGIE II ČÁST SVAŘOVÁNÍ -1: Studijní opora* [online], , 134 [cit. 2019-04-11]. Dostupné z: http://ust.fme.vutbr.cz/svarovani/img/opory/5te_technologie_II_opora_svarovani_2018_I_kubicek.pdf
- [4] KOLEKTIV AUTORŮ, . *Technologie svařování a zařízení*. Ostrava: ZEROSS, 2001. ISBN 8085771810.
- [5] BARTÁK, Jiří, CSc. a kolektiv autorů. *Způsoby přenosu kovu v oblouku při svařování MIG / MAG* [online]. [cit. 2019-05-14]. Dostupné z: <https://www.techportal.cz>
- [6] Svařování v ochranné atmosféře tavící se elektrodou. *Wikipedia* [online]. [cit. 2019-05-14]. Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/Sva%C5%99ov%C3%A1n%C3%AD_v_ochrann%C3%A9_atmosf%C3%A9%C5%99e_tav%C3%ADc%C3%AD_se_elektrodou
- [7] *Přenos kovu v oblouku* [online]. [cit. 2019-05-08]. Dostupné z: <https://www.researchgate.net/figure/GMAW-drop-transfer-modes-a-Short-circuiting-b-Pulsed-c-Globular-and-d-Sprayfig1-316893298>
- [8] *Svařování TIG WIG* [online]. [cit. 2019-04-15]. Dostupné z: <http://www.bvgroup.cz/svarovani-tig-wig.php>
- [9] *Svařování TIG* [online]. [cit. 2019-05-04]. Dostupné z: <https://www.xerocraft.org/classes.php?id=6781>
- [10] NĚMEC, Josef. *Fyzikální a metalurgické základy obloukového svařování*. Praha: SNTL, 1977, 194 s.
- [11] *MIG /MAG svařování* [online]. [cit. 2019-05-01]. Dostupné z: <http://automig.cz/o-svarovani/metody/>
- [12] *Princip svařování MAG* [online]. [cit. 2019-05-15]. Dostupné z: <https://www.weldingsuppliesfromioc.com/blog/tig-vs-mig-vs-stick/>
- [13] *Příručka svářeče* [online]. [cit. 2019-05-14]. Dostupné z: http://www.airproducts.cz/~media/Files/PDF/industries/metals/CZ_Priruckasvarece.pdf?la=cs-CZ
- [14] *Fronius Transteel* [online]. [cit. 2019-05-14]. Dostupné z: <https://www.fronius.com/cs-cz/czech-republic/perfect-welding/vyrobky/ru%C4%8Dn%C3%AD-sva%C5%99ov%C3%A1n%C3%AD/migmag/transsteel/transsteel/transsteel-3500-syn>
- [15] *Svařovací hořák* [online]. [cit. 2019-04-13]. Dostupné z: <https://www.fronius.com/cs-cz/czech-republic/perfect-welding/vyrobky/ru%C4%8Dn%C3%AD->

-
- sva%C5%99ov%C3%A1n%C3%AD/migmag/sva%C5%99ovac%C3%AD-ho%C5%99%C3%A1k-migmag/pullmig/pullmig-mhp-320i-w
- [16] *Podavač drátu* [online]. [cit. 2019-04-19]. Dostupné z: <http://www.hstcreative.cz/feeder-handy-68cz29/>
- [17] *ESAB přídavné materiály* [online]. [cit. 2019-05-14]. Dostupné z: <https://www.esab.cz/cz/cz/filler-metals/index.cfm>
- [18] ČSN EN ISO 14341. *Svařovací materiály - Drátové elektrody pro obloukové svařování nelegovaných a jemnozrnných ocelí v ochranném plynu a jejich svarové kovy - Klasifikace*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a zkušebnictví, 2011, 16 s.
- [19] *Svařovací drát OK Aristorod 12,50* [online]. [cit. 2019-05-14]. Dostupné z: <http://eshop.arc-h.cz/produkty/svarovaci-materialy/draty-pro-mig-mag/ok-1250-1-0-sg2-18kg-aristorod-svarovaci-drat-mig-mag-co2>
- [20] ČSN EN ISO 17632. *Svařovací materiály - Plněné elektrody pro obloukové svařování nelegovaných a jemnozrnných ocelí s ochranou plynu a bez ochrany plynu - Klasifikace*. Praha: Česká agentura pro standardizaci, 2019, 32 s.
- [21] *Trubičkový drát* [online]. [cit. 2019-05-15]. Dostupné z: <http://www.maister.cz/Svarovani/Svarovaci-materialy/Trubickove-draty/OK-15-00-1-2-TUBROD-trubicka-1500127630-Svarovaci-drat.html>
- [22] *Ochranné plyny* [online]. [cit. 2019-05-03]. Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/clanek/ochranne-a-pracovni-plyny-pro-svarovani-a-rezani.html>
- [23] KUBÍČEK, Jaroslav. *Technologie II. - svařování: Studijní opora* [online], 155 [cit. 2019-04-11]. Dostupné z: http://ust.fme.vutbr.cz/svarovani/img/opory/5te_technologie_II_opora_svarovani_2018_II_kubicek.pdf
- [24] *Princip svařování TIG* [online]. [cit. 2019-05-15]. Dostupné z: <https://www.weldingsuppliesfromioc.com/blog/tig-vs-mig-vs-stick/>
- [25] BEZÁK, Ján, Anton KOLENO, Ivan VITÁLOŠ et al. *Zváracie procesy a zariadenia: učebný text pre vyšší zvaračský personál*. Vydanie prvé. Bratislava: Prvá zvaračská, a.s, 2011, 287 stran : ilustrace. ISBN 978-80-89421-01-5.
- [26] MINAŘÍK, Václav. *Přehled metod svařování*. 3., aktualiz. vyd. Ostrava: ZEROSS, 2011. Svařování. ISBN 8086698181.
- [27] *TIG svar pulsním proudem* [online]. [cit. 2019-05-06]. Dostupné z: <http://www.konstrukce.cz/clanek/svarovani-slabych-plechu/>
- [28] ČSN EN ISO 6848. *Obloukové svařování a řezání - Netavící se wolframové elektrody - Klasifikace*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a zkušebnictví, 2016, 24 s.
- [29] *Svařovací drát OK Tigrod 12.61* [online]. In: . b.r. [cit. 2019-05-14]. Dostupné z: <https://www.technitom.cz/draty/ok-tigrod-12-60--w2si-varianty/>
- [30] *Volba ochranného plynu* [online]. b.r. [cit. 2019-05-10]. Dostupné z: https://www.technickytydenik.cz/rubriky/archiv/volba-ochranneho-plynu-pro-svarovani_17636.html
- [31] *Vady svarových spojů* [online]. [cit. 2019-05-14]. Dostupné z: <http://u12133.fsid.cvut.cz/assets/subject/files/105/def-kontrola-sv.pdf>
-

-
- [32] FOLDYNOVÁ, Šárka. *Vady svarových spojů*. Ostrava, 2016. Bakalářská práce. Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava.
- [33] ČSN EN ISO 6520-1. *Klasifikace geometrických vad kovových materiálů - Část 1: Tavné svařování*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a zkušebnictví, 2008, 69 s.
- [34] ČSN EN ISO 4136. *Destruktivní zkoušky kovových materiálů - Příčná zkouška tahem*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2013, 16 s.
- [35] ČSN EN ISO 17639. *Destruktivní zkoušky svarů kovových materiálů - Makroskopická a mikroskopická kontrola svarů*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2016, 12 s.
- [36] ČSN EN ISO 9015-2. *Destruktivní zkoušky svarů kovových materiálů - Zkoušení tvrdosti - Část 2: Zkoušení mikrotvrdosti svarových spojů*. Praha: Česká agentura pro standardizaci, 2018, 16 s.
- [37] JAREŠ, Vojtěch. *Základní zkoušky kovů a jejich teorie*. Praha: Academia, 1966, 209 s.
- [38] *Materiály a jejich svařitelnost: učební texty pro kurzy svářečských inženýrů a technologů*. 2., upr. vyd. Ostrava: ZEROSS, 2001, 292 s. : il. ; 30 cm. ISBN 80-85771-85-3.
- [39] *Svařovací drát OK Aristorod 12.50* [online]. [cit. 2019-05-14]. Dostupné z: <https://www.svarovaci-technika.cz/drat-ok-aristorod-12-50-pr--1-0mm/>
- [40] *Svařovací drát OK Tigrod 12.61* [online]. [cit. 2019-05-15]. Dostupné z: <https://www.technitom.cz/draty/ok-tigrod-12-60--w2si-varianty/>
- [41] LINDE GAS A.S., . *Základní ceník produktů a služeb*. Praha, 2016.
- [42] SW MOTECH S.R.O. *Konzultace se svařovacím technologem*. Vojkovice, 2019.
- [43] *Ceník 2017: Perfect welding* [pdf]. Praha: Fronius, [cit. 2019-05-10].
- [44] HOJGROVÁ, Diana. *Návrh výpočtů nákladů v procesu svařování*. Ostrava, 2018. Bakalářská práce. Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava Fakulta strojní, Katedra mechanické technologie.
- [45] *Online kalkulátor svarových spojů* [online]. [cit. 2019-05-04]. Dostupné z: <http://boehler-welding-service.com/voestalpine/calculator/eng/step2.php?vtype=2>

SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK

<u>Symbol</u>	<u>Význam</u>	<u>Jednotka</u>
A	Tažnost	[%]
AC ₃	Překryšalizační teplota	[°C]
CET	Uhlíkový ekvivalent	[%]
C _{OP}	Cena ochranného plynu	[Kč]
F	Zatěžovací síla	[N]
F _e	Síla elektromagnetická	[N]
F _g	Síla gravitační	[N]
F _h	Síla hydrostatická	[N]
F _m	Zatěžovací síla	[N]
F _p	Síla vyvolaná tlakem vypařujících se kovů	[N]
F _{pe}	Síla působící na krček kapky	[N]
F _s	Síla povrchového napětí	[N]
I	Proud	[A]
I _p	Proud impulsní	[A]
I _z	Proud základní	[A]
k	Koeficient tepelné účinnosti	[-]
l	Délka svaru	[m]
Δl	Prodloužení	[mm]
MAG	Metal active gas	
MIG	Metal inert gas	
N _{CELK}	Náklady celkové	[Kč]
N _{OP}	Náklady na ochranný plyn	[Kč]
N _{PM}	Náklady na přídavný materiál	[Kč]
N _S	Náklady na svařování	[Kč]
P	Celkový výkon oblouku	[W]
PM	Přídavný materiál	
q	Množství tepla přivedeného do svaru	[kJ/mm]
Q	Průtok ochranného plynu	[l/min]
Q _a	Teplo na anodě	[J]
Q _c	Celkové teplo oblouku	[J]
Q _k	Teplo na katodě	[J]
Q _v	Tepelné ztráty oblouku	[J]
R _e	Mez kluzu v tahu	[MPa]
R _m	Mez pevnosti v tahu	[MPa]
R _{p0.2}	Smluvní mez kluzu	[MPa]
S ₀	Původní průřez	[mm ²]

S _{OP}	Spotřeba ochranného plynu	[l/m]
T	Čas svařování	[s]
TIG	Tungsten inert gas	
T _m	Čas zatěžování	[s]
TOO	Tepelně ovlivněná oblast	
U	Napětí	[V]
U _a	Napětí na anodě	[V]
U _k	Napětí na katodě	[V]
U _{obl}	Napětí v oblouku	[V]
v _{sv}	Rychlost svařování	[m/min]
V _t	Rychlost zatěžování	[mm/min]
V _{t1}	Rychlost zatěžování	[MPa/min]
WIG	Wolfram inert gas	
Z	Kontrakce	[%]
ε	Poměrné prodloužení	[-]
η	Účinnost svařovacího procesu	[%]

SEZNAM VZORCŮ

<u>Název</u>	<u>Značka</u>	<u>Jednotka</u>	<u>Číslo</u>
Teplo při hoření oblouku	Q_c	[J]	(1.0)
Teplo na katodě	Q_k	[J]	(1.1)
Teplo na anodě	Q_a	[J]	(1.2)
Celkový výkon oblouku	P	[W]	(1.3)
Tepelný příkon přivedený do lázně	q	[kJ/mm]	(1.4)
Rovnice napěťových úbytků	U_{obl}	[V]	(1.5)
Uhlíkový ekvivalent	CET	[hm. %]	(5.0)
Náklady na svařování	N_s	[Kč]	(5.1)
Náklady na přídavný materiál	N_{PM}	[Kč]	(5.2)
Spotřeba ochranného plynu	S_{OP}	[l/m]	(5.3)
Náklady na ochranný plyn	N_{OP}	[Kč]	(5.4)
Celkové náklady na svařování	N_{CELK}	[Kč]	(5.5)

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha č. 1: Přepis certifikátu k materiálu trubky T32x2 25CrMo4

Příloha č. 2: Přepis certifikátu ke svařovacímu drátu ESAB OK Aristorod 12.50

Příloha č. 3: Přepis certifikátu ke svařovacímu drátu ESAB OK Tigrod 12.61

Příloha č. 4: Fotografie mikrostruktury vzorku svařovaného metodou MAG

Příloha č. 5: Fotografie mikrostruktury vzorku svařovaného metodou TIG

Příloha č. 6: Hodnoty naměřené mikrotvrdosti

Příloha č. 7: Specifikace zkušebního trhacího stroje ZD40

Příloha č.1: Přepis certifikátu k materiálu trubky T32x2 25CrMo4



PŘEPIS CERTIFIKÁTU

2018008973

CSN EN 10204/3.1

FAVEX, s.r.o.
 Provozovna: Hradištská 98
 687 08 Buchlovice
 Sídlo : Slezská 2210/128,Vinohrady
 130 00 Praha 3
 Česká republika

Zaps.v OR u MS v Praze, odd.C, vl.65218
 IČ: 49972367
 DIČ: CZ49972367
 Účet: 117231523/0300
 IBAN:
 BIC: CEKO CZ PP
 Tel: +420 572 411 530
 Fax: +420 572 557 731
 Email: info@favex.cz
 Web: http://www.favex.cz

Zákazník

Kupní smlouva :
 Objednávka :
 Dodací list :

Předmět dodávky	
Artikl	T32X2 003 25CrMo4+C trubka bezešvá přesná
Množství	
Jakost	25CrMo4+C EN10305-1
Norma	EN10305-1
TDP	EN10083-3
Tavba	82118

Mechanické vlastnosti				
Číslo měření	Značení	Název	Hodnota	Jednotka
1.	Rm	Mez pevnosti v tahu	777,000	MPa
1.	A5	Tažnost A5	8,200	%

Chemické vlastnosti			
Prvek	Název	Hodnota	Jednotka
C	Uhlík	0,280	%
Si	Křemík	0,280	%
Mn	Mangan	0,760	%
P	Fosfor	0,008	%
S	Síra	0,007	%
Cr	Chrom	1,060	%
Mo	Molybden	0,240	%

Výsledky ostatních zkoušek	Vyhovuje ?
Zkouška nepropustnosti	Ano
Radioizotopická aktivita nepřekračuje 100Bq/Kg	Ano
Rozměrová a vizuální zkouška	Ano

FAVEX s.r.o. zaručuje, že uvedené hodnoty odpovídají originálu dodavatele.

Za správnost odpovídá: Kostilková Petra, kostilkova@favex.cz
 Datum tisku: 25.04.2019

Příloha č.2: Přepis certifikátu ke svařovacímu drátu ESAB OK Aristorod 12.50



ZKUŠEBNÍ ZPRÁVA ČSN EN 10204 - 2.2

TEST REPORT

01201400059/17

Odběratel
Customer:

Obj.č./Your order No:

Zakáz.č./Our ref.:

Číslo výrobku Item no	Název výrobku Description	Množství Quantity	Jedn. Unit	LOT
1A50106910	OK ARISTOROD 12.50 1.0 mm	1008	kg.	PVR47713461B

Chemické složení/Chemical composition (%)

Drát Wire	C	Mn	Si	P	S	Cr	Ni
	0,081	1,44	0,86	0,014	0,011	0,03	0,03
	Mo	V	Nb	Cu	As	Sn	Al
	0,005	0,002	0,005	0,04	0,003	0,006	0,002
	Fe	Co	N	Sb	Ta	O	Zr+Ti
zbytek	0,005	0,009	0,005	0,0015	0,0042	0,006	

Zkouška tahem/Tensile test

Svarový kov Weld metal	Temp °C	Rp 0,2 N/mm 2	Re H N/mm 2	Rm N/mm 2	A5 %
	+20		470	560	26

Zkouška rázem/Impact test

Svarový kov Weld metal	Temp °C	J	Temp °C	J
	+20	130	-40	60
	-20	90		
	-30	70		

Doplňující data/Additional data

Class. Weld Metal: EN ISO 14341-A: G 38 3 C1 3Si1; EN ISO 14341-A: G 42 4 M20 3Si1; EN ISO 14341-A G 42 4 M21 3Si1 Classifications Wire Elektrode: EN ISO 14341-A: G 3Si1; SFA/AWS A5.18: ER70S-6; CSA W48: ER49S-6 CLASSIFICATIONS Wire : CAN/CSA-ISO 14341 B-G 49A 3 C1 S6; JIS Z 3312 YGW 12 (C1)
--

Datum/Date: 12.02.2018

Jana Jirušková
Q.C. Department

ESAB VAMBERK, s.r.o.,
člen koncernu
Smetanovo nábřeží 334, 517 54 Vamberk
IČ 25268023 DIČ: CZ 25268023

Adresa/Address

IČO

Telefon/Phone

Fax

ESAB VAMBERK, s.r.o., člen koncernu
Smetanovo nábřeží 334
517 54 VAMBERK
CZECH REPUBLIC

25268023

+420 494 501 476

+420 494 501 423

Zapsaná v obchodním rejstříku vedeném Krajským soudem v Hradci Králové, oddíl C, vložka 11464.

Příloha č.3: Přepis certifikátu ke svařovacímu drátu ESAB OK Tigrod 12.61



ZKUŠEBNÍ ZPRÁVA / TEST REPORT

v souladu s/ecc to EN 10204 - 2.2

Datum/Date: 2019-04-29

Číslo certifikátu/Cert no: EC25575999 rev. 0

Naše objednávka/Our order:

Naše reference/Our ref:

Číslo zákazníka/Cust no:

Datum obj. zákazníka/Your date:

Jiří Martinec

CZB00000

Vaše objednávka/Your order:

Vaše reference/Your ref:

Vaše faxové číslo/Your fax:

Váš e-mail/Your e-mail:

Jiří Martinec

ots@esab.cz

Fakturační adresa/Invoice address

ESAB VAMBERK, S.R.O.
SMETANOVO NÁBŘEŽÍ 334
517 54 VAMBERK
Czech Republic

Příjemce certifikátu/Cert receiver

Dodací adresa/Delivery address

ESAB VAMBERK, S.R.O.
SMETANOVO NÁBŘEŽÍ 334
517 54 VAMBERK
Czech Republic

DODÁVKA/DELIVERY

LOT číslo/Lot no:

PV244804084

Množství/Quantity:

20 KG

VÝROBEK/PRODUCT

Značka/Brand:

Popis/Desc:

Číslo výrobku/Item no:

ESAB

OK Tigrod 12.61 1.6x1000mm 5kg

120116R150

KLASIFIKACE/CLASSIFICATIONS

EN ISO 636-A: W 42 3 W3Si1

EN ISO 636-A: W3Si1

SFA/AWS A5.18: ER70S-6

CHEMICKÉ SLOŽENÍ/ CHEMICAL COMPOSITION

Wire/strip

Ostatní/Auxiliary:

C	0.078%
Si	0.85%
Mn	1.46%
P	0.013%
S	0.012%
Cr	0.04%
Ni	0.05%
Mo	0.00%
Cu	0.06%
V	0.03%
Al	0.00%

MECHANICKÉ VLASTNOSTI/MECHANICAL PROPS

Standard/norma/Standard:

Ostatní/Auxiliary:

Stav/podmínky/Condition:

EN

I1

As welded

PEVNOST/TENSILE

ReL Rm A4-A5

470 MPa 560 MPa 26 %

ZKOUŠKA RÁZEM/IMPACT

Temp -30 °C

KV 70 J

KOMENTÁŘ/COMMENTS

Certificate complies with requirements specified in ASME Sec II C, ed. 2013 Schedule F

Výrobek je dodán podle programu QA, který splňuje normu EN ISO 9001.

Tento certifikát je zhotoven elektronicky a je platný bez podpisu.

Veškeré dotazy prosím adresujte na:

ESAB VAMBERK, s.r.o., Smetanovo náb. 334, Vamberk 517 54, tel. +420 494 501 476, order@esab.cz

Product supplied under a QA Programme fulfilling the EN ISO 9001 standard.

This certificate is produced electronically and is valid without signature.

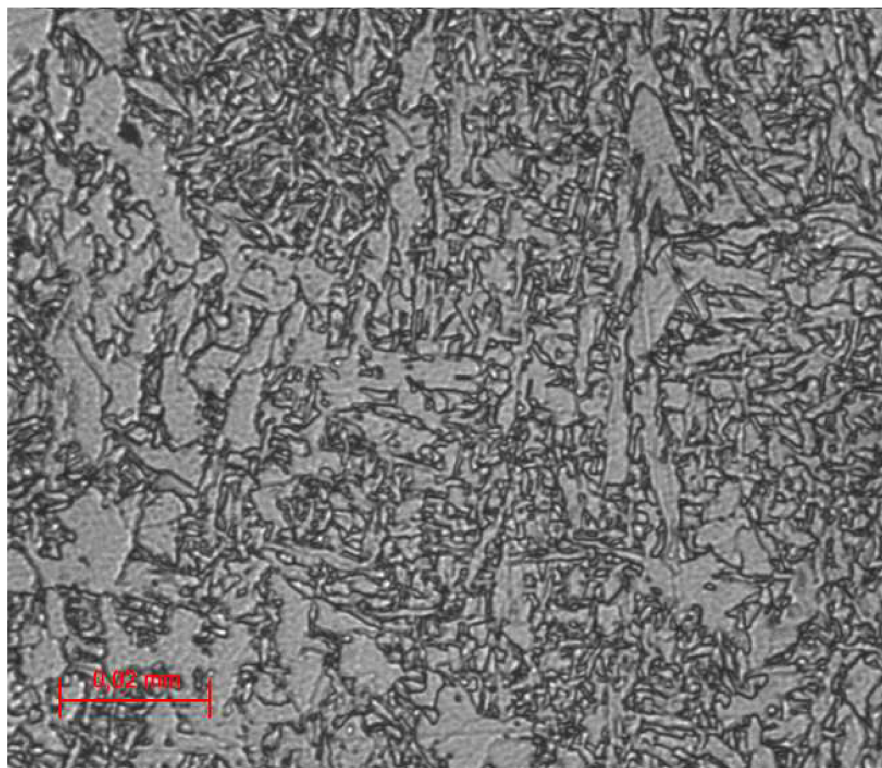
Please refer any queries to: (see above)

Za správnost/Validation

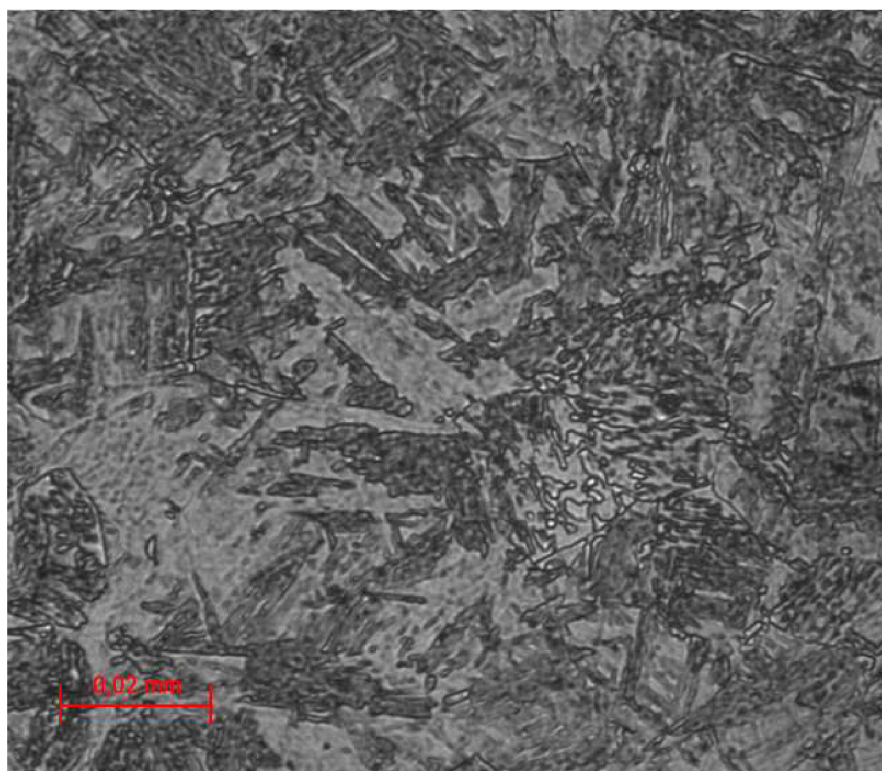
Jose Abal Lopez,H. Rasmuson Product Manager,

Příloha č.4: Fotografie mikrostruktury vzorku svařovaného metodou MAG

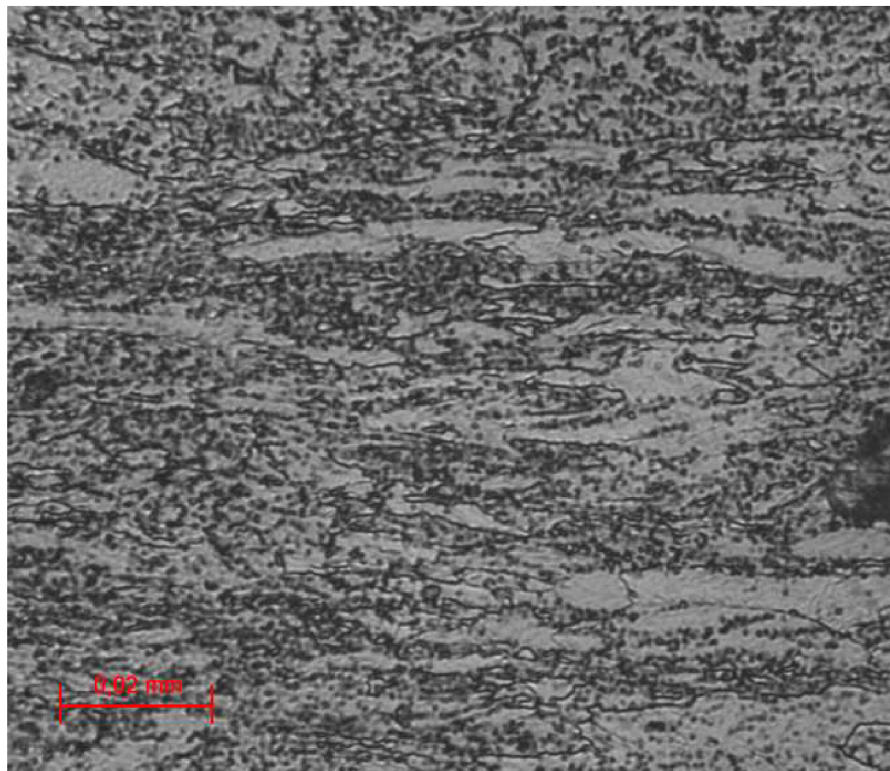
Mikrostruktura svarového kovu (MAG):



Mikrostruktura tepelně ovlivněné oblasti (MAG):

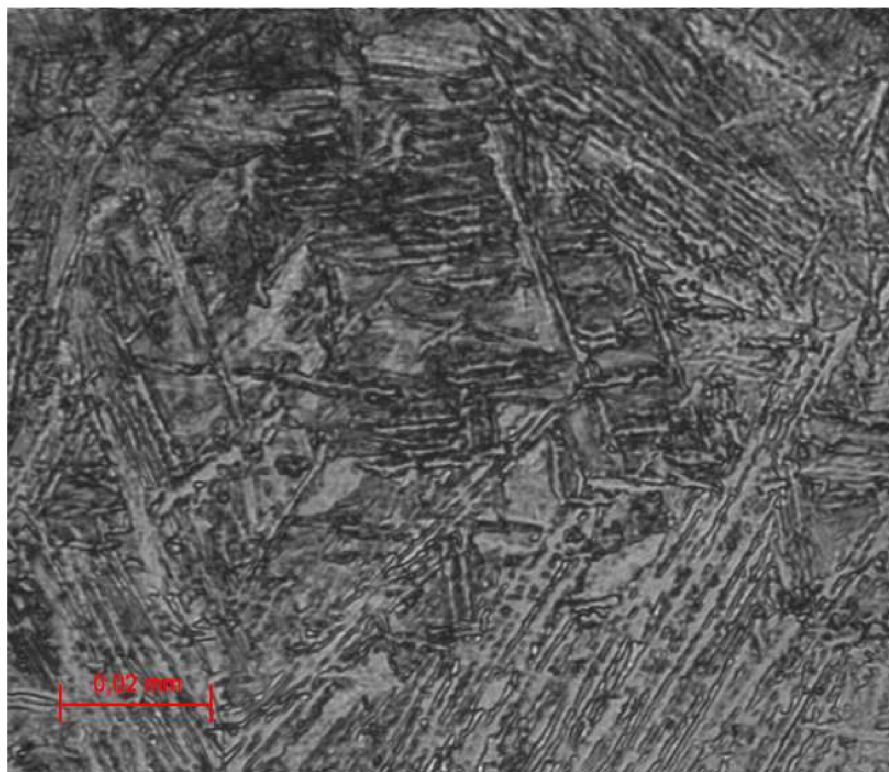


Mikrostruktura základního materiálu (MAG):

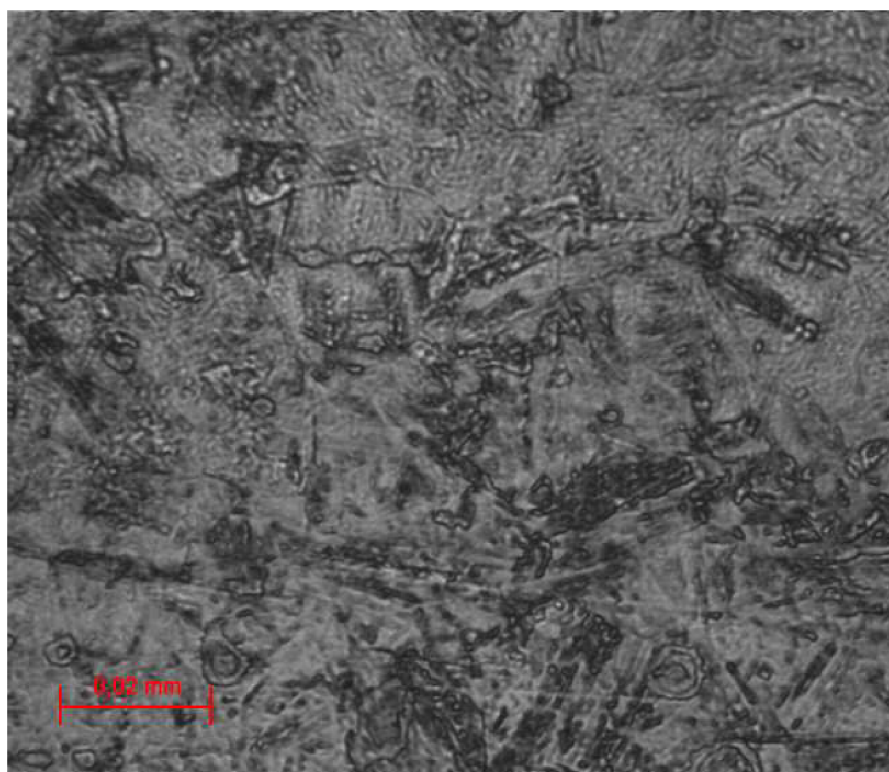


Příloha č.5: Fotografie mikrostruktury vzorku svařovaného metodou TIG

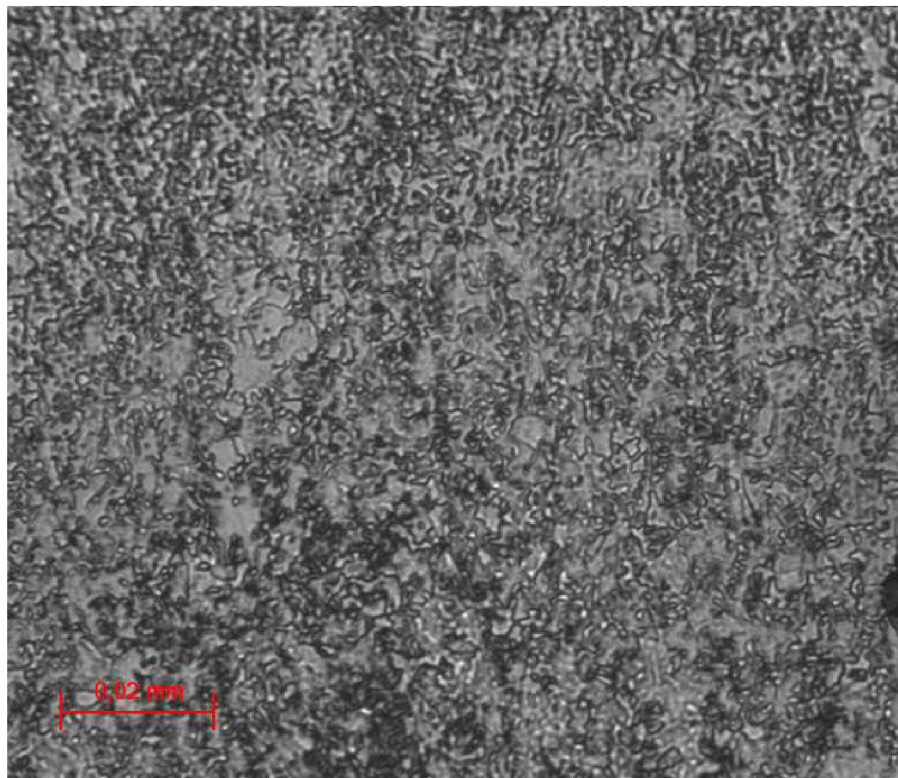
Mikrostruktura svarového kovu (TIG):



Mikrostruktura tepelně ovlivněné oblasti (TIG):



Mikrostruktura základního materiálu (MAG):



Příloha č. 6: Hodnoty naměřené mikrotvrdosti

Číslo měření	Vzdálenost od středu svaru [mm]	Mikrotvrdost MAG [HV]	Mikrotvrdost TIG [HV]
1	0	234	311
2	0,2	218	309
3	0,4	225	305
4	0,6	241	314
5	0,8	209	310
6	1	203	337
7	1,2	213	318
8	1,4	240	314
9	1,6	216	322
10	1,8	219	325
11	2	216	319
12	2,2	222	346
13	2,4	211	405
14	2,6	232	491
15	2,8	248	501
16	3	252	480
17	3,2	262	468
18	3,4	267	460
19	3,6	315	438
20	3,8	319	408
21	4	320	339
22	4,2	316	317
23	4,4	296	289
24	4,6	291	287
25	4,8	258	235
26	5	243	205
27	5,2	252	211
28	5,4	234	219
29	5,6	266	235
30	5,8	258	229
31	6	228	223
32	6,2	242	220
33	6,4	253	227

Příloha č.7: Specifikace zkušebního trhacího stroje ZD40

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

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

Technické parametry:

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

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



Řídicí jednotka EDC 60