



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

POROVNÁNÍ CMT TWIN S OSTATNÍMI MIG/MAG PROCESY

COMPARISON OF CMT TWIN WITH OTHER MIG/MAG PROCESSES

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. MILAN JISKRA

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. JAROSLAV KUBÍČEK

BRNO 2014

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav strojírenské technologie

Akademický rok: 2013/2014

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

student(ka): Bc. Milan Jiskra

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

obor: **Strojírenská technologie a průmyslový management (2303T005)**

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:

Porovnání CMT TWIN s ostatními MIG/MAG procesy

v anglickém jazyce:

Comparison of CMT TWIN with other MIG/MAG processes

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

V oblasti svařování metodou MIG/MAG je celá řada výrazných inovací vedoucí k rozšíření možných aplikací v praxi. Mezi nejnovější techniky patří především CMT TWIN od firmy Fronius. Tato technika svařování se dostává do stále širších netradičních oblastí svařovaných konstrukcí a v DP je srovnána se standardními způsoby svařování MIG/MAG.

Cíle diplomové práce:

- 1) Charakteristika CMT procesu v kontextu s klasickým svařováním MIG/MAG.
- 2) Návrh experimentální práce zaměřené na zhodnocení vlastností svarových spojů CMT TWIN a klasického MIG/MAG svařování.
- 3) Provedení experimentu a diskuze výsledků.
- 4) Technické a ekonomické zhodnocení výsledků.

Seznam odborné literatury:

1. DVOŘÁK, M. a kol. Technologie II, 2vyd. CERM Brno, 7/2004, 237s. ISBN 80-214-2683-7
2. PILOUS, V. Materiály a jejich chování při svařování, 1vyd. ŠKODA-WELDING, Plzeň, 2009
3. BARTÁK, J. Výroba a aplikované inženýrství, 1vyd. ŠKODA-WELDING, Plzeň, 2009
4. KOLEKTIV AUTORŮ. Materiály a jejich svařitelnost, 1vyd. Zeross, Ostrava 2001, 292s. ISBN 80-85771-85-3
5. KOLEKTIV AUTORŮ. Technologie svařování a zařízení, 1vyd. Zeross, Ostrava 2001, 395s. ISBN 80-85771-81-0
6. KOLEKTIV AUTORŮ. Navrhování a posuzování svařovaných konstrukcí a tlakových zařízení, 1vyd. Zeross, Ostrava 1999, 249s. ISBN 80-85771-70-5
7. KOLEKTIV AUTORŮ. Výroba a aplikované inženýrství ve svařování, 1vyd. Zeross, Ostrava 2000, 214s. ISBN 80-85771-72-1

Vedoucí diplomové práce: Ing. Jaroslav Kubíček

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2013/2014.

V Brně, dne 22.11.2013

L.S.

prof. Ing. Miroslav Píška, CSc.
Ředitel ústavu

prof. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc., dr. h. c.
Děkan fakulty

ABSTRAKT

Vývoj svařovací technologie je hnán neustále kupředu především z důvodu snižování výrobních nákladů a nákladů na dodatečné rovnání svařenců vlivem tepelných deformací. Proto přední výrobci svařovacího zařízení přichází s novými metodami a technologiemi. Jednou z novinek je i vysoce výkonná tandemová technologie CMT Twin od společnosti Fronius. Experiment provedený v diplomové práci potvrzuje, že se jedná o velmi hospodárny proces. V porovnání s konvenčním svařováním je CMT Twin z pohledu výrobních nákladů na provedení svaru levnější variantou a vnáší do materiálu méně tepla. Aplikace zařízení CMT Twin vyžaduje průmyslového robota, tudíž metoda je předurčena pro sériovou až hromadnou výrobu. CMT Twin najde uplatnění například v automobilovém či lodním průmyslu.

Klíčová slova

svařování, CMT Twin, vnesené teplo, struktura, výrobní náklady

ABSTRACT

The development of welding technology is constantly going forward mainly due to the reduction of production costs and the costs of additional straightening of weldments due to the welding distortion. Therefore, the leading producers of welding machine are coming with new methods and technologies. One of the innovations is also the tandem technology CMT Twin from the company Fronius. The experiment carried out in the diploma thesis confirmed that this is a very cost effective process. The CMT Twin is from the point of view of production costs of the weld cheaper variant and bring less heat into the material compared with conventional welding. Application equipment CMT Twin requires industrial robot, so the method is predestined for the series up to mass production. The CMT Twin finds application, for example in the automotive and shipbuilding industry.

Key words

welding, CMT Twin, heat input, structure, production costs

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

JISKRA, Milan. *Porovnání CMT TWIN s ostatními MIG/MAG procesy*. Brno 2014. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav strojírenské technologie. 72 s. Vedoucí práce Ing. Jaroslav Kubíček.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma **Porovnání CMT TWIN s ostatními MIG/MAG procesy** vypracoval samostatně s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených na seznamu, který tvoří přílohu této práce.

16.05.2014

Datum

Bc. Milan Jiskra

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji tímto panu Ing. Jaroslavu Kubíčkoví za cenné připomínky a rady při vypracování diplomové práce. Dále děkuji všem pracovníkům společnosti FRONIUS Česká republika s.r.o. z obchodní centrály v Praze, kteří mi byli nápomocni a poskytli cenné rady a informace.

OBSAH

ABSTRAKT	5
PROHLÁŠENÍ	6
PODĚKOVÁNÍ	7
OBSAH	9
ÚVOD	11
1 SVAŘOVÁNÍ MIG/MAG	12
1.1 Svařovací zdroj	13
1.2 Podavač drátu	14
1.3 Svařovací hořák	14
1.4 Ochranné plyny	16
1.5 Přídavné materiály	17
1.6 Přenos kovu v oblouku	19
1.7 Představení společnosti Fronius	22
1.8 CMT („Cold Metal Transfer“)	23
1.8.1 Srovnání zkratového přenosu s CMT	24
1.8.2 Oblasti použití CMT	26
1.8.3 CMT Pulse	26
1.8.4 CMT Advanced	27
1.8.5 CMT Advanced Pulse	27
1.8.6 CMT Pin	28
1.9 CMT Twin	29
2 EXPERIMENT – VLASTNOSTI SVAROVÝCH SPOJŮ	34
2.1 Svařování tandemovou metodou CMT Twin	34
2.1.1 Průběh svarových spojení	35
2.1.2 Svařovací parametry	37
2.1.3 Vnesené teplo	43
2.2 Klasické svařování „jednodrátem“ v pulzu	45
2.2.1 Průběh svařování	45
2.2.2 Svařovací parametry	46
2.2.3 Vnesené teplo	47
2.3 Porovnání vneseného tepla u obou metod	48
2.4 Průřezy svarových housenek	50
2.5 Struktury svarových vzorků	52
2.5.1 Hliníkové slitiny	52

2.5.2	Nelegované oceli.....	54
2.5.3	Korozivzdorné oceli.....	57
3	TECHNICKO – EKONOMICKÉ SROVNÁNÍ.....	59
3.1	Hliníková slitina.....	61
3.2	Nelegovaná ocel.....	62
3.3	Korozivzdorná ocel	63
4	DISKUZE VÝSLEDKŮ	64
	ZÁVĚR.....	65
	SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ.....	66
	SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK.....	68
	SEZNAM OBRÁZKŮ.....	70
	SEZNAM TABULEK.....	72

ÚVOD

Technologii svařování lze zařadit mezi nejrozšířenější technologie ve strojírenské výrobě. Podíl svařování představuje asi 6 až 8 % celkové pracovní síly strojírenské výroby. Svařování je tudíž jedna z nejdůležitějších výrobních technologií a její význam a podíl na celkové výrobě neustále roste. Což je způsobeno především vývojem a průmyslovým využitím nových technologií svařování, které minimalizují:

- množství tepla vnesené svařováním do svarového spoje,
- deformace svařenců a zbytková napětí po svařování,
- změny vlastností svařovaných materiálů způsobené teplem vneseným svařováním do svarového spoje,
- množství svarového kovu potřebné pro vytvoření svarového spoje při zvýšené produktivitě práce [1].

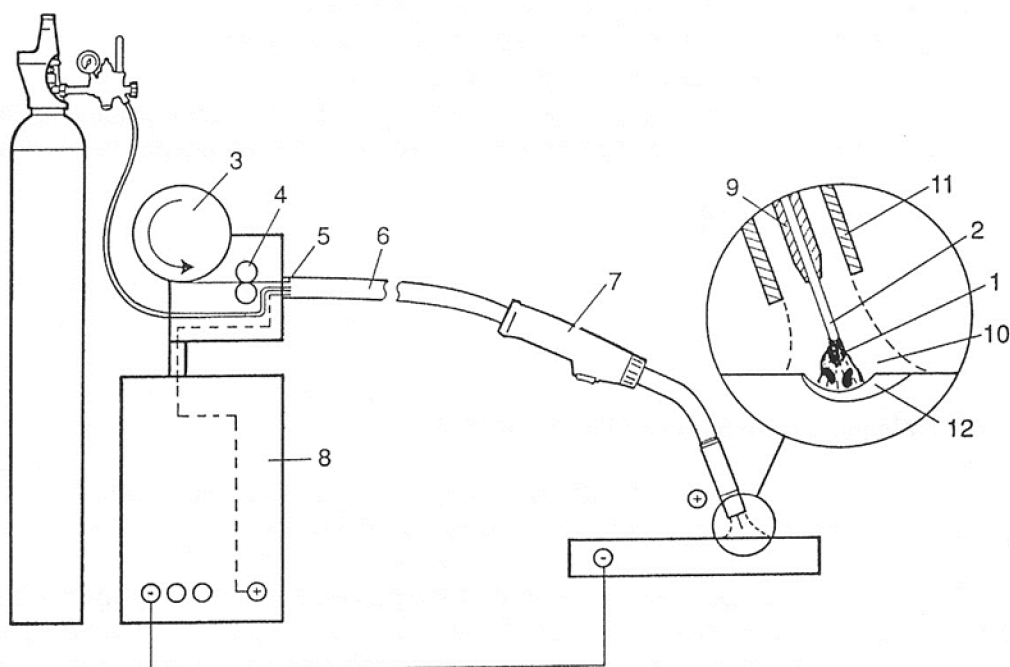
Diplomová práce je zaměřena na zcela nový způsob svařování pomocí modifikované metody MIG/MAG od společnosti Fronius nazvané CMT Twin (obr. 1) V teoretické části práce jsou rozebrány základní parametry, které ovlivňují vlastní svařovací proces. Následně je popsán princip jednodrátové metody CMT v návaznosti na tandemový způsob svařování metodou CMT Twin. V experimentální části práce budou svařeny vzorky ze tří různých materiálů tandemem CMT Twin a následně jednodrátém v pulzním režimu. Svařování pomocí metody CMT Twin bude provedeno v technologickém centru pro svarové zkoušky firmy Fronius v Praze. Další část svařování jednodrátém bude probíhat v laboratorních prostorách fakulty strojírenství VUT v Brně. Zde provedeme i mikroskopické snímky struktur svařených vzorků. V závěru bude provedeno technicko – ekonomické zhodnocení obou metod.



Obr. 1 Ukázka CMT Twin zařízení [2].

1 SVAŘOVÁNÍ MIG/MAG [3], [4], [5]

Jedná se o tavné obloukové svařování tavící se elektrodou v ochranné atmosféře inertního nebo aktivního plynu. Princip metody vyplývá z obr. 2. Kovová elektroda ve formě drátu (2) je plynule podávána do svařovacího hořáku (7). Proud se přivádí do elektrody kontaktní špičkou (9) našroubovanou do hořáku, která je spojena s kladným pólem proudu zdroje. Nekonečná elektroda ve formě drátu se posouvá do místa svaru konstantní rychlostí mechanizovaným podávacím zařízením (4). Mezi elektrodou a základním materiálem hoří oblouk (1), ve kterém se elektroda taví a kov se přenáší do svarové lázně (12). Ochranný plyn (10) se přivádí do místa svaru plynovou hubicí (11), vytváří soustřednou plynovou obálku oblouku, která chrání svarovou lázeň před nežádoucími účinky okolní atmosféry.



1 – elektrický oblouk, 2 – drátová elektroda, 3 – zásobník drátu, 4 – podávací kladky, 5 – rychloupínací spojka, 6 – hořákový kabel, 7 – svařovací hořák, 8 – zdroj svařovacího proudu, 9 – kontaktní svařovací průvlek, 10 – ochranný plyn, 11 – plynová tryska, 12 – svarová lázeň.

Obr. 2 Základní schéma svařování metodou MIG/MAG [6].

MIG/ MAG je metoda, která se hojně používá ve všech průmyslových odvětvích, od hromadné výroby nejrůznějších součástí až po svařování rozměrných svarků. Rovněž se používá při svařování různých tlouštěk materiálů ve všech polohách. Dosahuje vysoké produktivity a je velmi vhodná k automatizaci a robotizaci svařecských prací. Základní rozdělení metody na poloautomatické (ruční)

a mechanizované, umožňuje vyjádřit míru mechanizace vlastního procesu svařování.

1.1 Svařovací zdroj [3], [5]

a) Jednofázové nebo třífázové usměrňovače s plochou statickou charakteristikou

Jsou vhodné pro opravárenské a zámečnické práce. Jednoduchá regulace napětí, nastavení posuvu drátu a průběhu svařování (plynulé, bodové, intervalové) se provádí pomocí ovládacích prvků. Dalším možným ovládacím prvkem může být přepínač dvoutaktu (stisk spínače na hořáku zahájí svařování a následné uvolnění spínače proces zastaví) a čtyřtaktu (první stisk spínače zahájí svařování, druhý stisk proces ukončí). Dražší verze usměrňovačů mohou být navíc doplněny o digitální ampérmetr a voltmetr, předfuk, dofuk apod.

b) Středofrekvenční tyristorové nebo vysokofrekvenční tranzistorové střídače – invertory

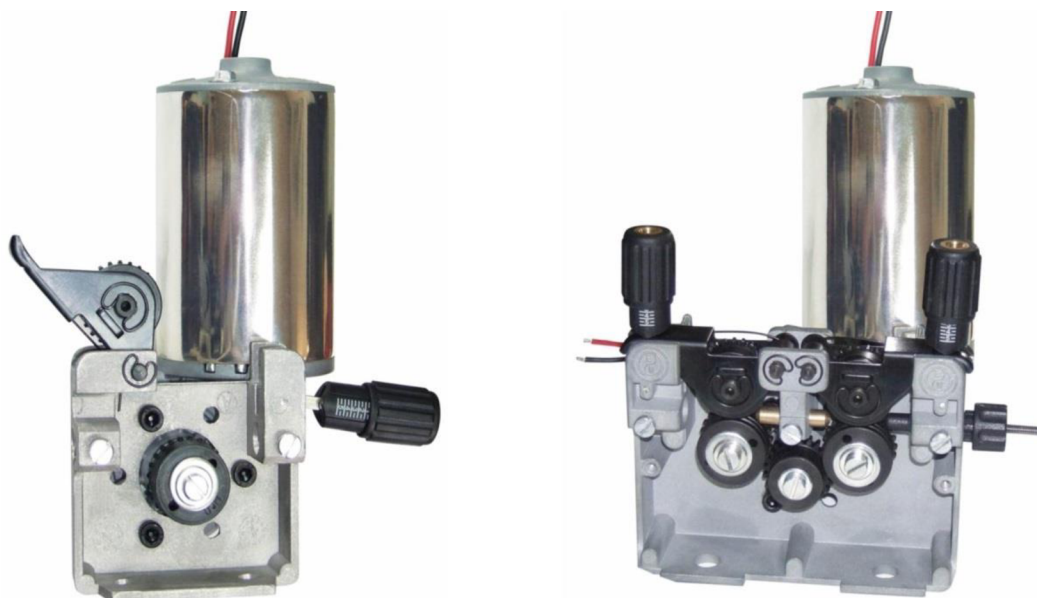
Jsou podstatně menší a lehčí než klasické usměrňovače a navíc umožňují pulzní svařování. Špičkové invertory řízené mikroprocesorem patří do skupiny tzv. synergických zdrojů. Mikroprocesor po zadání průměru drátu, druhu plynu, typu svařovaného materiálu a jednoho parametru (např. hodnoty proudu, tloušťky svařovaného materiálu nebo velikosti koutového svaru) automaticky nastaví zbývající svařovací parametry. Na tomto zdroji je možno nastavit a následně uložit omezené množství svařovacích programů. Další výhodou těchto zdrojů je možnost propojení s počítačem, kdy nám počítač umožní automaticky zaznamenávat svařovací parametry pro technickou dokumentaci. Z obr. 3 je patrný rozdíl mezi ovládním usměrňovače a invertoru.



Obr. 3 Svařovací zdroj (vlevo - usměrňovač, vpravo - invertor) [7].

1.2 Podavač drátu [3], [5]

Podavače drátu mohou být buď pevně integrované do zdroje, nebo mohou být snímatelné. Důležitým rozhodovacím faktorem volby podavače drátu či samostatného svařovacího zdroje je počet kladek, které podávají svařovací drát. Svařovací zdroje mohou být vybaveny buď **dvoukladkovým** nebo **čtyřkladkovým** podavačem (obr. 4). Dvoukladkové podavače nejsou vhodné pro měkké dráty (např. Al) a plněné elektrody. Zvýšením počtu kladek je zajištěno optimální dodávání drátu během procesu svařování. Speciálním případem je metoda podávání drátu „**Push-Pull**“ (obr. 6a), kdy kladky v podavači drát tlačí a kladky, které jsou součástí svařovacího hořáku, drát táhnou. Touto metodou lze drát podávat až na vzdálenost 10m. Drát je dodáván ze zásobníku, který je součástí podavače. Při změně průměru drátu je nutné kladky vyměnit či kladku otočit. Často bývají na jedné kladce drážky pro dva průměry drátu.



Obr. 4 Podavače drátu (vlevo - dvoukladkový, vpravo - čtyřkladkový) [8].

1.3 Svařovací hořák [3], [9], [5]

Svařovací hořáky zabezpečují při svařování: přívod svařovacího proudu na tavící se elektrodu (drát) přes kontaktní špičku, dodávku ochranného plynu do místa svaru přes dýzu – hubici, dodávku drátu do místa oblouku a průtok chladicí kapaliny ke špičce a dýze (pro hořáky chlazené vodou).

Ruční svařovací hořáky dělíme podle způsobu jejich chlazení:

- a) plynem,
- b) kapalinou (vodou).

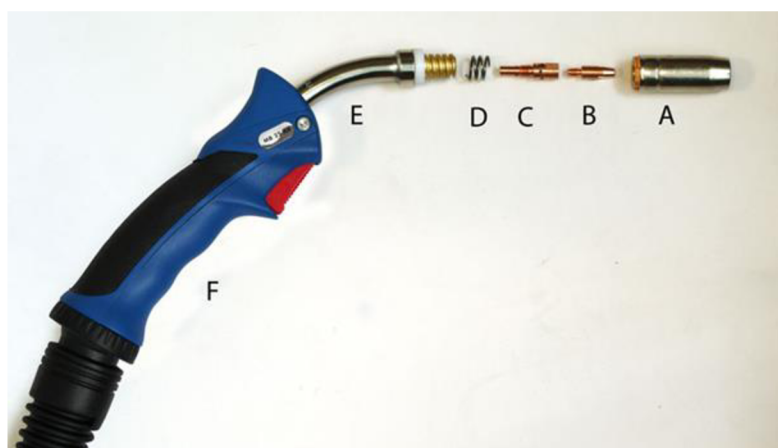
Chlazení vodou se využívá při svařování vyššími svařovacími parametry v dlouhých prozdech. Tyto hořáky mohou být vybaveny dálkovým ovládáním, případně i jednoduchým displejem.

Další skupinou jsou hořáky se systémem podávání „Push-Pull“ (obr. 6a), hořáky zajišťující odsávání zplodin z místa svařování, nebo hořáky určené speciálně pro robotizované svařování.

Svařovací hořáky pro robotizované svařování se vyrábí v provedení pro svařování jednou drátovou elektrodou nebo dvěma drátovými elektrodami (tandemový hořák). Použitím tandemového hořáku (obr. 6b) se dosahuje vysokého výkonu odtavení.

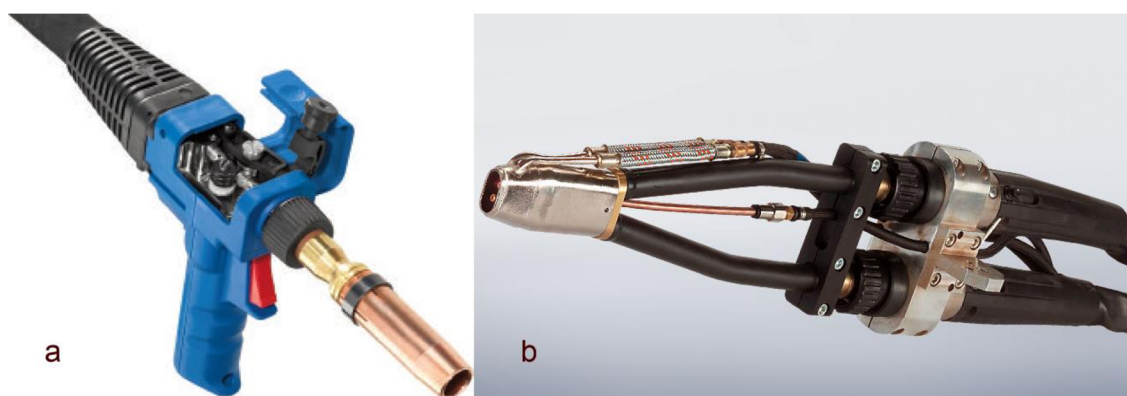
Přímo ze svařovacího hořáku vychází svařovací bowden, který je umístěn uvnitř hořákového kabelu. Pro ocelové dráty se používají ocelové svařovací bowdeny. U měkkých drátů (např. Al) dochází k postupnému zanášení bowdenu, což snižuje jeho životnost. Z tohoto důvodu se pro tento typ drátů dodávají speciální bowdeny, např. grafitové nebo teflonové.

Na obr. 5 je vyobrazena sestava vodou chlazeného hořáku.



- A - hubice,
- B - kontaktní špička,
- C - adaptér špičky
(rozdělovač plynu),
- D - pružina,
- E - hrdlo držáku,
- F - rukojeť se spínačem.

Obr. 5 Svařovací hořák s vodním chlazením [10].



a – hořák se systémem „Push-Pull“, b – tandemový vysokovýkonný hořák.

Obr. 6 Další druhy svařovacích hořáku [10], [2].

1.4 Ochranné plyny [6], [4], [11], [5]

Hlavní úlohou ochranných plynů je chránit svarovou lázeň, roztavený konec elektrody a oblouk před účinky okolní atmosféry, tzn. zamezit přístupu vzduchu do místa svařování. Používané ochranné plyny se liší chemickými a fyzikálními vlastnostmi. Z tohoto důvodu volba ochranného plynu výrazně ovlivňuje stabilitu oblouku, způsob přenosu kovu přes oblouk a vytvoření svařovací housenky. Dále má výrazný vliv na metalurgické reakce v oblouku, kapce, tekutém kovu a mezi tekutým kovem a struskou.

Trvalý vývoj používaných ochranných plynů směřuje od jednosložkových (CO_2), přes dvousložkové ($\text{Ar} + \text{CO}_2$) k moderním tříložkovým plynům ($\text{Ar} + \text{CO}_2 + \text{He}$). Při volbě plynů rozhodují technické a ekonomické ukazatele. V minulosti se používaly jednosložkové plyny, především ekonomicky výhodný CO_2 . V současnosti jsou velmi rozšířené směsi argonu s oxidem uhličitým nebo kyslíkem.

Inertní plyny: argon, helium a jejich směsi chemicky nereagují se svarovou lázní a propal prvků ve svarovém kovu je minimální. Tyto plyny nemají tudíž vliv na výsledné chemické složení svarového kovu. Inertní plyny používáme pro svařování metodou TIG všech svařitelných materiálů a metodou MIG pro slitiny hliníku, mědi, niklu, aj.

Aktivní plyny ovlivňují v menší nebo větší míře chemické složení svarového kovu.

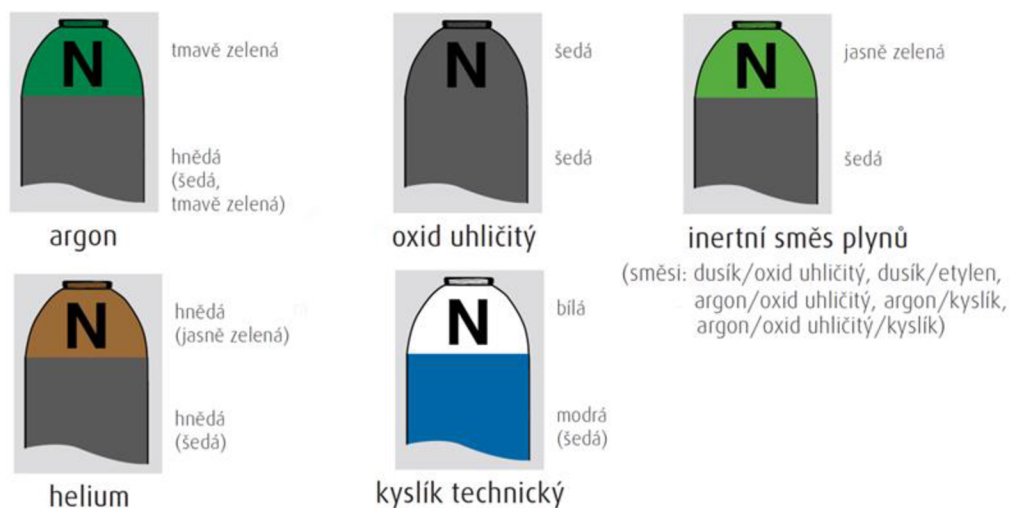
Hlavní složkou ochranných atmosfér je **Argon**. Je používán pro jeho inertní charakter, relativně nízký ionizační potenciál. Díky tomu se oblouk snadno zapaluje a má vysokou stabilitu hoření. Argon má velmi dobrou tepelnou vodivost a elektrický oblouk, který hoří v argonu má vysokou teplotu. Při svařování ocelí tavící se elektrodou se čistý používá zřídka, obvykle v kombinaci s jinými plyny.

Oxid uhličitý se používá pro jeho metalurgické účinky na svarovou lázeň a vysokou tepelnou vodivost. Díky této vlastnosti rozšiřuje a prohlubuje závar. Svařování v čistém CO_2 se používá hlavně v oblasti zkratového procesu nižšími proudy při svařování nízkouhlíkových a nízkolegovaných ocelí. Nedá se aplikovat při svařování sprchovým přenosem.

Kyslík přidávaný do moderních tříložkových směsí zajišťuje snížení povrchového napětí taveniny a lepší stabilitu elektrického oblouku. Díky tomu lze dosáhnout dokonalého přechodu svaru do základního materiálu a hladké kresby svarové housenky. Důsledkem sníženého povrchového napětí je tvorba jemného rozstříku, který neulpívá na svařenci a šetří tak náklady na dokončovací operace. Přídavek kyslíku též příznivě působí na přechod do sprchového režimu přenosu svarového kovu.

Helium je inertní plyn s mimořádně vysokou tepelnou vodivostí. Přítomnost helia v ochranné atmosféře umožňuje svařovat s vyššími parametry, případně v přechodových oblastech přenosu přídavného materiálu. Proto jsou směsné plyny s heliem přednostně používány pro mechanizované způsoby svařování, při kterých lze nejlépe využít specifických vlastností těchto směsí.

Plyny a směsi plynů jsou uchovány v kovových tlakových lahvích, které jsou barevně rozlišeny podle evropské normy ČSN EN 1089-2. Značení je patrné z obr. 7.



Obr. 7 Barevné značení vybraných průmyslových plynů [12].

1.5 Příkladné materiály [9], [13], [5]

Při svařování různých kovových materiálů metodou MIG/MAG se používají přídatné materiály ve formě plného drátu nebo plněného drátu (trubičkového drátu). Trubičkový drát je tvořen páskou svinutou do kruhového průřezu nebo tenkostěnnou trubičkou, s vnitřní náplní tavidla (rutilovou nebo bazickou) či kovového prášku, případně i s potřebnými legurami.

Při svařování plní přídatné materiály tyto funkce:

- doplňují objem svarové lázně a zajišťují tak svary požadovaného tvaru a průřezu,
- nahrazují prvky, které při svařování snížily svoji koncentraci ve svaru,
- zabezpečují dodávku legujících prvků, dezoxidačních přísad do svaru s cílem zlepšit vlastnosti svarového kovu.

Pro zabezpečení těchto funkcí musí mít přídatné materiály následující vlastnosti:

- vhodné chemické složení,
- vhodný průřez (průměr) drátu,
- vysokou čistotu a hladkost povrchu,
- přiměřenou tvrdost a tuhost,
- požadované rozměrové a tvarové tolerance.

Dráty plného průřezu pro svařování ocelí se vyrábí v průměrech: \varnothing 0,6; \varnothing 0,8; \varnothing 1,0; \varnothing 1,2; \varnothing 1,6 mm a pro svařování neželezných kovů: \varnothing 0,8; \varnothing 1,0; \varnothing 1,2; \varnothing 1,6; \varnothing 2,4 mm. Přídatné dráty mohou být na povrchu pokryty tenkou vrstvou

mědi, aby se zabránilo jejich korozi při transportu a skladování. Měděná vrstva dále zlepšuje přívod proudu z kontaktní špičky svařovacího hořáku.

Plné dráty pro metodu MIG/MAG jsou běžným nebo přesným způsobem vinuty na cívku obvykle o hmotnosti 5 až 18 kg dle druhu, typu a průměru drátu. Pro mechanizovaná a robotizovaná pracoviště jsou některé typy drátů dodávány ve velkokapacitním balení o hmotnosti 200 kg pro průměr 0,8 mm a 250 kg pro ostatní průměry, nebo i ve větším provedení o hmotnosti 475 kg.

Trubičkové dráty plněné vhodnými přísadami se dělí podle chemického složení náplně na elektrody s náplní:

- rutilovou,
- bazickou,
- kovovou.

Trubičkové dráty jsou běžně dodávány na cívkách o hmotnosti 5 až 16 kg podle druhu a průměru. Některé druhy jsou rovněž dodávány ve velkokapacitních baleních.

Na obr. 8 je možno vidět zleva: návin drátu na cívce vážící 18 kg, dále balení v sudech o hmotnosti 250 kg a 475 kg.



Obr. 8 Varianty balení svařovacího drátu [7].

Přídavné materiály pro svařování musí vyhovovat svými mechanickými, metalurgickými, korozními a operativními vlastnostmi požadavkům na kvalitní svarový spoj.

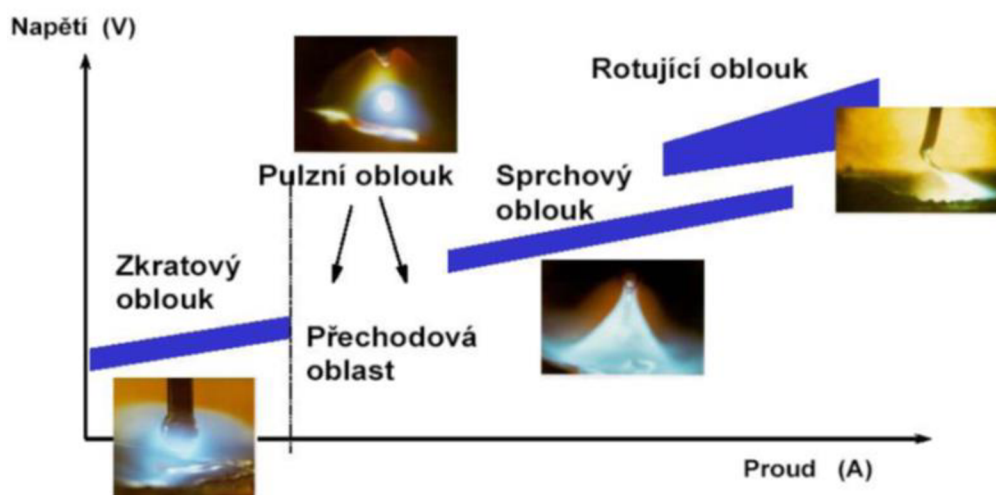
Volba přídavných materiálů se řídí:

- použitým základním materiálem,
- zvolenou metodou svařování,
- schválenou specifikací postupu svařování WPS,
- požadovaným stupněm jakosti,
- konstrukčním uspořádáním svarku.

1.6 Přenos kovu v oblouku [3], [6], [5]

Způsob přenosu kovu z elektrody přes oblouk do svarové lázně ovlivňuje jeho stabilitu, rozstřík, schopnost svařovat v polohách, tvar a kvalitu povrchu nanesené housenky, ale i mechanické vlastnosti svarového kovu.

Přenos kovu v oblouku můžeme rozdělit do oblastí uvedených v následujícím obr. 9.



Obr. 9 Oblasti přenosu kovu v oblouku [14].

Zkratový přenos kovu do lázně probíhá při nižších hodnotách svařovacího proudu, od 60 do 180 A, napětí se pohybuje v rozsahu 14 až 22 V. Konec drátu se přiblíží svařovanému materiálu, přičemž dojde až ke zkratu. Růstem odporu se drát zahřívá a vlivem elektromagnetických sil dojde k vytvoření kapky. Zkratový přenos provází výrazný rozstřík svarového kovu. Stabilita procesu závisí na správném nastavení napětí a rychlosti podávání drátu. Zkratový přenos je vhodný pro svařování tenkých materiálů (plechů).

Bezzkratový přenos kovu probíhá při vyšších hodnotách proudu. V pásmu mezi zkratovým a bezzkratovým přenosem kovu se nachází tzv. přechodová oblast přenosu kovu, která se vyznačuje tvorbou velkých kapek, které se do svarové lázně uvolňují vlivem gravitační síly. V této oblasti probíhají nepravidelné zkraty a nestabilní hoření oblouku. Hodnoty proudu se pohybují od 190 do 300 A, napětí v rozmezí 22 až 28 V. Díky výraznému rozstříku se tento přenos nedoporučuje používat. Dalším zvýšením proudu dochází ke zvýšení frekvence oddělování kapek a snížení jejich velikosti. Tento typ přenosu kovu se nazývá **sprchový**. V tomto přenosu je velké množství vneseného tepla, proto je vhodný především pro svařování materiálů větších tloušťek.

Pulzní přenos se vyznačuje spojením výhod zkratového přenosu (minimální vnesené teplo) a sprchového přenosu (minimální rozstřík). Jak je vidět z obr. 10 hodnota proudu se periodicky mění, nízký základní proud udržuje oblouk a při opakovaném zvyšování proudu do sprchové oblasti dojde k oddělení kapky. U

tohoto přenosu je nutné nastavit jednotlivé parametry, tj. frekvenci pulzů, dobu pulzu, základní a maximální proud.



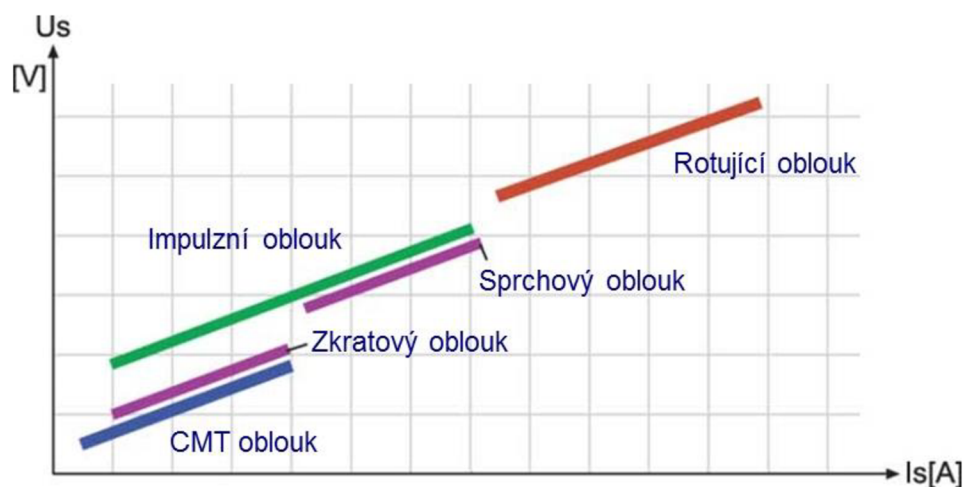
Obr. 10 Pulsní charakteristika oblouku [15].

Modifikací těchto základních typů přenosu kovu firmy vyvíjejí další typy přenosu kovu, které nesou vlastní obchodní pojmenování. V principu využívají především řízeného přenosu kovu do lázně, jež uskutečňují pomocí moderních invertorových zdrojů. Některé příklady moderních procesů vyvinutých modifikací ze zkratového přenosu kovu jsou uvedeny v tabulce 1.1.

Tab. 1.1 Příklady některých modifikovaných procesů.

Název procesu	Společnost	Popis
CMT – Cold Metal Transfer	Fronius	Přechod materiálu při značně nižší teplotě a při zpětném pohybu drátu
STT – Surface Tension Transfer	LINCOLN ELECTRIC	Svařování s přenosem kovu řízeným povrchovým napětím
coldArc	EWM HIGHTEC WELDING	Krátký oblouk s malým vneseným teplem
microMIG - CC	SKS Welding Systems	Proces velmi podobný CMT využívající zpětného pohybu drátu ovšem bez vyrovnávacího členu (pufru)
Cold Weld	CLOOS	Pomocí střídavého proudu se vytváří speciální tvar pulsu, který má za následek velmi malý přívod tepla

Na následujícím obr. 11 je pro porovnání zakreslena poloha oblouku CMT vůči ostatním typům oblouku. CMT oblouk se nachází v blízkosti zkratového oblouku.



Obr. 11 CMT oblouk společně se základními typy oblouků [16].

Jak je vidět svařovací parametry proudu a napětí CMT oblouku jsou blízké „klasickému“ zkratovému oblouku. Ovšem chování oblouku je naprosto odlišné díky aplikování moderního invertorového zdroje s technologií zpětného pohybu drátu. Podrobnější popis CMT oblouku a jeho srovnání se zkratovým obloukem bude provedeno v následující kapitole 1.8.

1.7 Představení společnosti Fronius

Společnost Fronius International je rakouská firma se sídlem v Pettenbachu a dalšími pobočkami ve Welsu, Thalheimu, Steinhausu a Sattledtu. Podnik má 3250 zaměstnanců po celém světě a působí v oborech:

- nabíjecí systémy akumulátorů,
- svařovací technika
- solární elektronika.

Díky 19 mezinárodním společnostem Fronius a prodejním partnerům či zastoupením ve více než 60 zemích dosahuje podílu exportu ve výši zhruba 95 procent. Díky inovativním výrobkům a službám, stejně jako 737 aktivním patentům je společnost Fronius technologickou jedničkou na světovém trhu.

Fronius působí v České republice od roku 1991. O rok později byl otevřen výrobní závod v Českém Krumlově, kde se také nachází sídlo firmy. V závodě se vyrábějí transformátory pro zařízení Fronius. Společnost v České republice zaměstnává více než 300 pracovníků. V Praze v roce 2010 vzniklo zastoupení všech 3 divizí společnosti Fronius a nové "Národní technologické centrum", které nabízí zákazníkům kompletní balíček služeb:

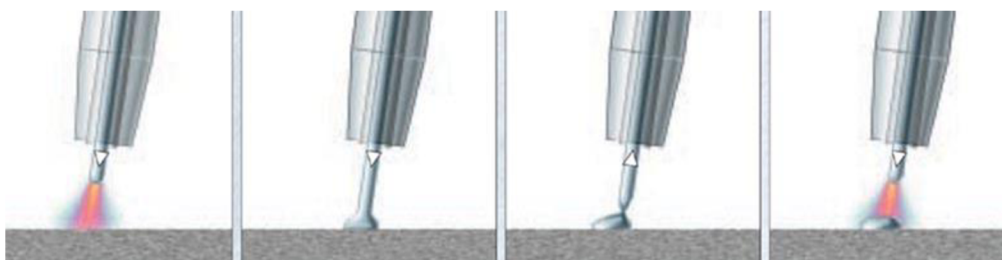
- poskytuje poradenství a konzultace v oblasti svařování,
- zajišťuje svařovací pokusy pro konkrétní výrobní postupy a materiály,
- provádí ukázky svařování zaměřené na speciální procesy a techniku,
- při technických problémech poskytuje podporu 2. stupně (např. software),
- zabezpečuje kontrolu svařovacího procesu, záznam a správu svařovacích dat,
- pořádá školení a semináře. [2]



Obr. 12 Pobočka firmy Fronius v Praze [2].

1.8 CMT („Cold Metal Transfer“) [17], [18]

Vývoj této jedinečné technologie, která umožňuje svařování oceli s hliníkem, trval více než 10 let. Vše začalo s požadavkem automobilového průmyslu na vytvoření systému pro svařování tenkých plechů. Společnost Fronius vyvinula pozoruhodný proces, který otevírá zcela nové možnosti v oblasti spojování materiálů. Jedná se o proces označovaný jako CMT – Cold Metal Transfer a týká se nízkoenergetického přechodu kapky při svařování MIG/MAG. „Studený“ přenos materiálu je výsledkem digitálně kontrolovaného krátkého oblouku a vratného pohybu drátu (obr. 13).



Obr. 13 Princip procesu CMT – Cold Metal Transfer [17].

U procesu CMT osciluje tepelné zatížení neustále mezi úrovněmi horká/studená, horká/studená. Celý proces je digitálně řízen, včetně zpětného pohybu drátu, který probíhá s frekvencí až 90 Hz. Procesor, jakožto řídicí člen se zpětnou vazbou, udržuje konstantní délku oblouku bez ohledu na dodržení podmínek svařování (měnící se rychlost svařování či proměnlivý výlet drátu) přičiněných lidským faktorem.

Pro dosažení trhavého pohybu vpřed a zpět byly použity dva posuvy drátu. Zadní posuv umístěný bezprostředně za zásobníkem drátu, který suně drát dopředu konstantní rychlostí. Přední posuv zabudovaný přímo do hořáku, který pohybuje drátem tam a zpět až 90krát za sekundu. Dále pak byl mezi oba posuvy vsazený tzv. pufrovací člen (obr. 14), aby došlo k vzájemnému oddělení pohonných mechanismů a získal se vyrovnávací zásobník drátu.



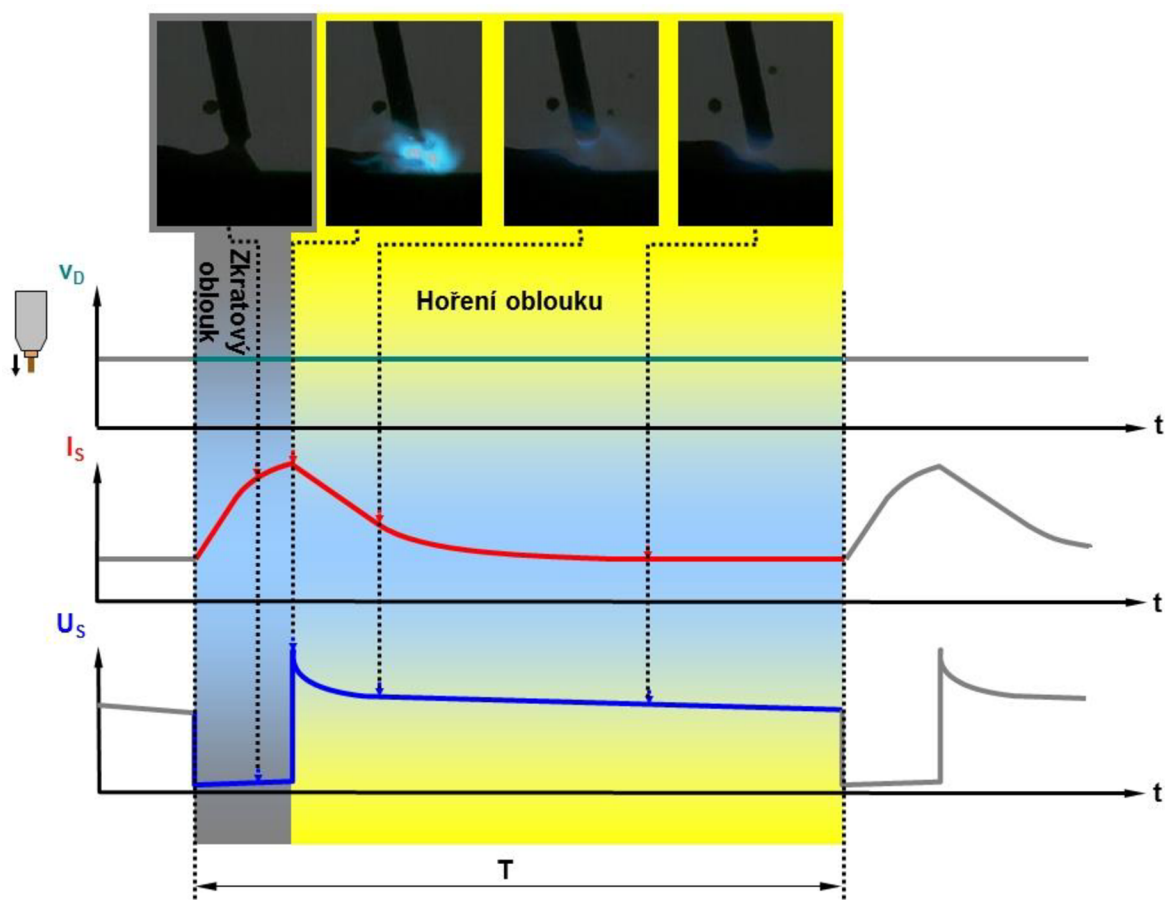
Obr. 14 Podavač drátu se servomotorem (vlevo) a pufrovací zásobník drátu (vpravo) [16].

Výsledkem celého procesu CMT je:

- vysoká přemostitelnost bez nutnosti použití svařové podložky,
- minimální deformace svařence díky nízkému vnesenému teplu,
- vysoce stabilní oblouk,
- prakticky nulový rozstřík,
- minimum dokončovacích prací.

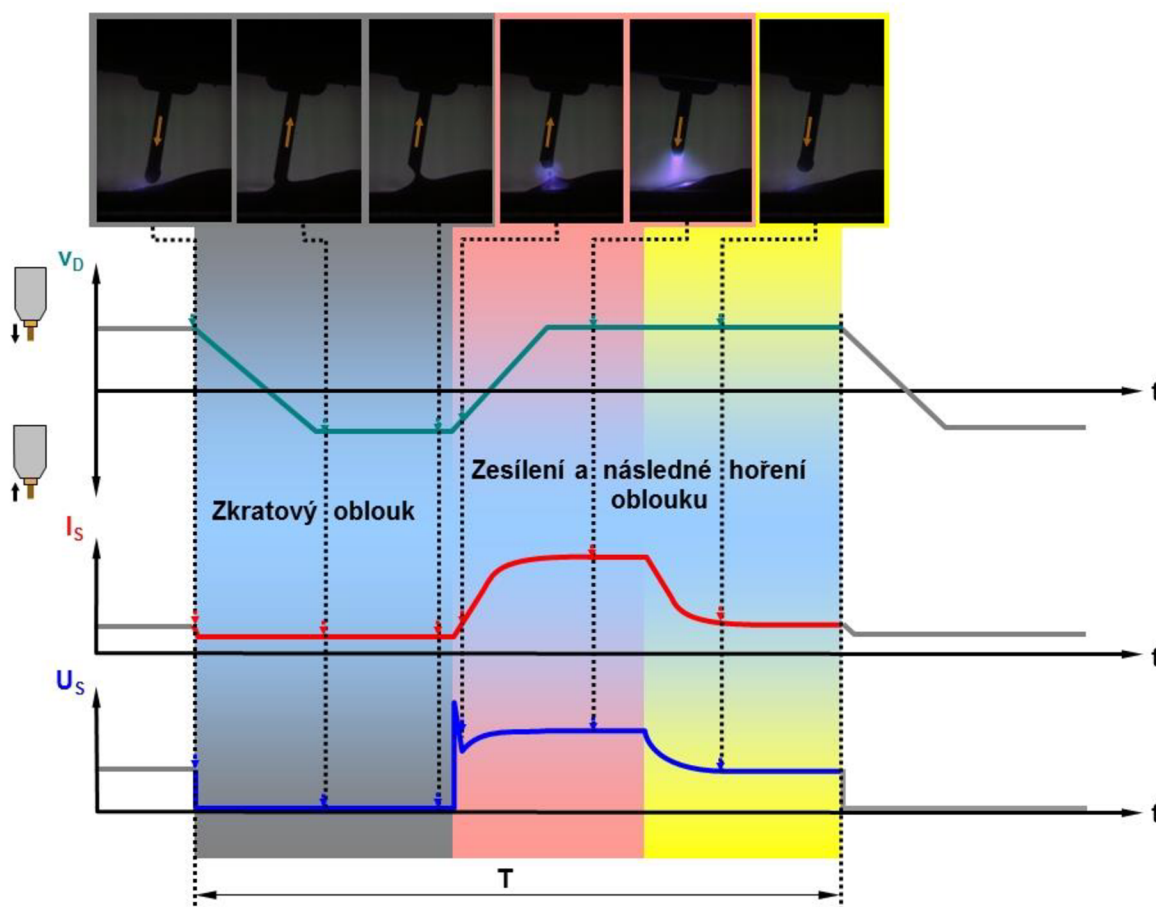
1.8.1 Srovnání zkratového přenosu s CMT

Na obr. 15 můžeme vidět graficky vyneseny průběh podávací rychlosti drátu, proudu a napětí v závislosti na čase při základním zkratovém přenosu kovu. Svařovací drát je zde veden do svařové lázně konstantní rychlostí. Přenos kovu do lázně probíhá ve fázi zkratového oblouku při vysokém nárůstu svařovacího proudu. Z tohoto důvodu je do svařové lázně vneseno značné množství tepla a celý proces je doprovázen značným rozstříkem. Následně probíhá hoření oblouku při výrazném nárůstu napětí a pozvolném poklesu proudu.



Obr. 15 Průběh svařovacích parametrů u zkratového oblouku [16].

Naproti tomu na obr. 16 jsou graficky zaneseny hodnoty podávací rychlosti drátu, proudu a napětí v závislosti na čase při přenosu kovu procesem CMT. Metoda kombinuje horkou fázi hoření oblouku a studenou fázi přenosu kovu. V horké fázi zesílení a hoření oblouku se taví drátová elektroda i základní materiál. Dochází k navýšení proudu a napětí. Drát se pohybuje směrem vpřed k lázni. Ve studené fázi přenosu kovu zkratovým obloukem v okamžiku kontaktu nataveného drátu s tavnou lázní, kdy dochází ke zkratu, se snižuje intenzita proudu a probíhá zpětný pohyb drátu zatažením do hubice. Zpětným zatažením je podpořeno oddělení přesně jedné kapky bez rozstříku. Snížení intenzity proudu i napětí provází nízká hodnota vneseného tepla do svaru.



Obr. 16 Průběh svařovacích parametrů u CMT oblouku [16].

Proces CMT se oproti konvenčnímu postupu MIG/MAG vyznačuje třemi hlavními znaky:

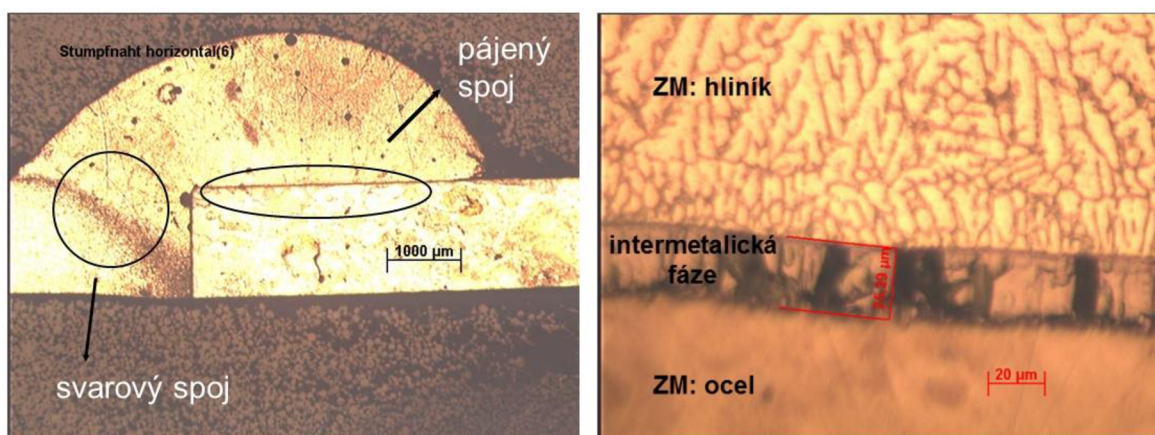
- vratným pohybem drátu, který je integrován do digitálního řízení celého procesu,
- výrazně nižším přívodem energie do svařence,
- bezrozstříkovým přechodem materiálu.

Proces vnáší do materiálu o 20 až 30 % méně tepla než svařování MIG/MAG. Díky tomu se materiál zřetelně méně deformuje. Podstatně méně času bude

potřeba na nákladné vyrovnávání deformovaných svařenců. Proces CMT je oproti alternativním postupům spolehlivější a tudíž se hodí pro automatizovanou sériovou výrobu [19].

1.8.2 Oblasti použití CMT [17]

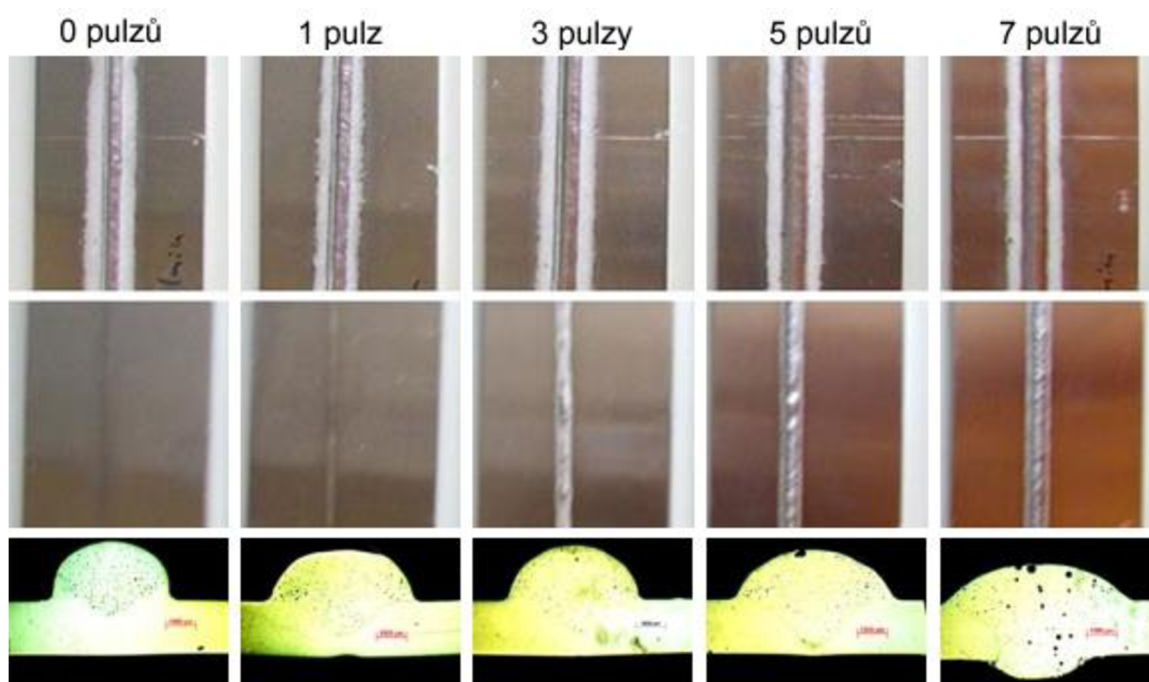
- Svařování tenkých plechů od tloušťky 0,3 mm (ocel, hliník, CrNi),
- pájení elektrolyticky nebo žárově pozinkovaných plechů,
- svařování silných plechů s tenkými,
- plátování při nízkém smísení se základním materiálem,
- spojování pozinkované oceli s hliníkem (na straně Al je svarový spoj, na straně oceli je pájený spoj) při požadavku na zinkovou vrstvu > 10 μm (obr. 17).



Obr. 17 Spojení oceli s hliníkem [20].

1.8.3 CMT Pulse

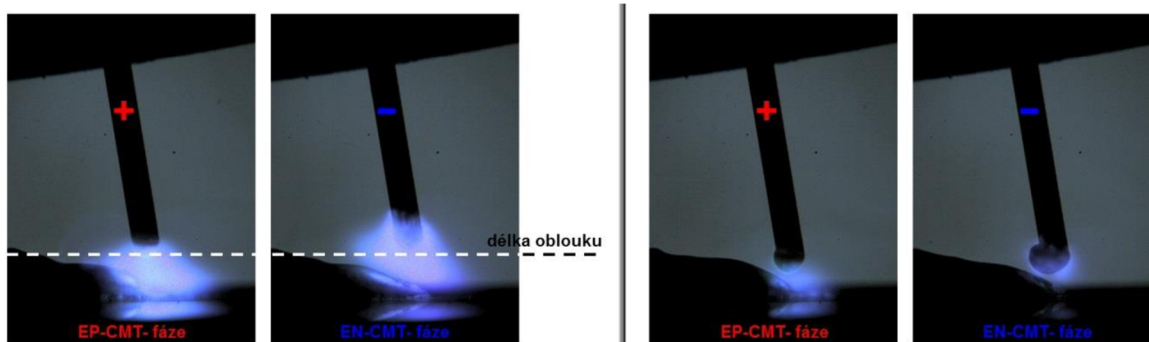
Jedná se o kombinaci procesu CMT s pulzním obloukem. U procesu lze individuálně sladit dva druhy přechodu materiálu, například jednou zkratový přechod CMT a dvakrát bezzkratový pulzní přechod. Nebo jednou CMT, třikrát pulz – záleží na konkrétním použití. Čím více pulzů zařadíme do procesu, tím větší získáme póry ve svaru (obr. 18), kdy většina z nich stihne vyplavat na povrch. Větší póry se neshlukují v natavované hraně, tudíž svarová oblast není náchylná tolik na trhliny. Charakteristickou vlastností procesu Puls-Mix je optimalizované chování návaru při současně maximální stabilitě procesu a pro CMT typické optimalizované vnesení tepla [18].



Obr. 18 Kombinace CMT-procesu s impulzním obloukem [16].

1.8.4 CMT Advanced

Princip funkce se zakládá na kombinaci oblouku s pozitivně a negativně polarizovanými cykly CMT. Ke změně polarity dochází během zkratové fáze, oblouk zůstává stabilní. Během negativně polarizované fáze dosahuje svařovací proces vysokého odtavného výkonu (obr. 19) a lepší přemostitelnosti spár. Během pozitivního cyklu je dosahováno cíleného přínosu tepla a přesného přechodu kapky. Poměr mezi pozitivním a negativním cyklem lze individuálně definovat dle požadavků [21].



Obr. 19 Vliv polarizace na délku oblouku (vlevo) a odtavný výkon (vpravo) [22].

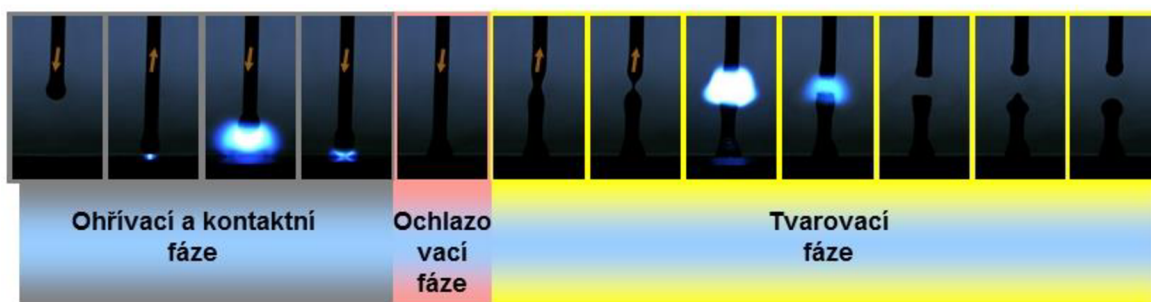
1.8.5 CMT Advanced Pulse

Proces CMT Advanced Pulse se skládá z kombinace cyklů CMT s negativní polaritou elektrod a pulzní fáze s pozitivní polaritou. Během negativně polarizované fáze CMT je i zde dosahováno vyššího odtavného výkonu při nízkém

přínosu tepla. Během změny polarity na pozitivní pulzní cyklus dochází ke zkratu. S pulzní fází dosahuje uživatel kromě vyššího tepla také bezzkratového přechodu kapky. Poměr mezi pozitivním a negativním cyklem procesu je i zde volně volitelný. Takto je možno provádět spojování vysoce pevných ocelí s dostatečným odtavným výkonem a nízkým přínosem tepla [21].

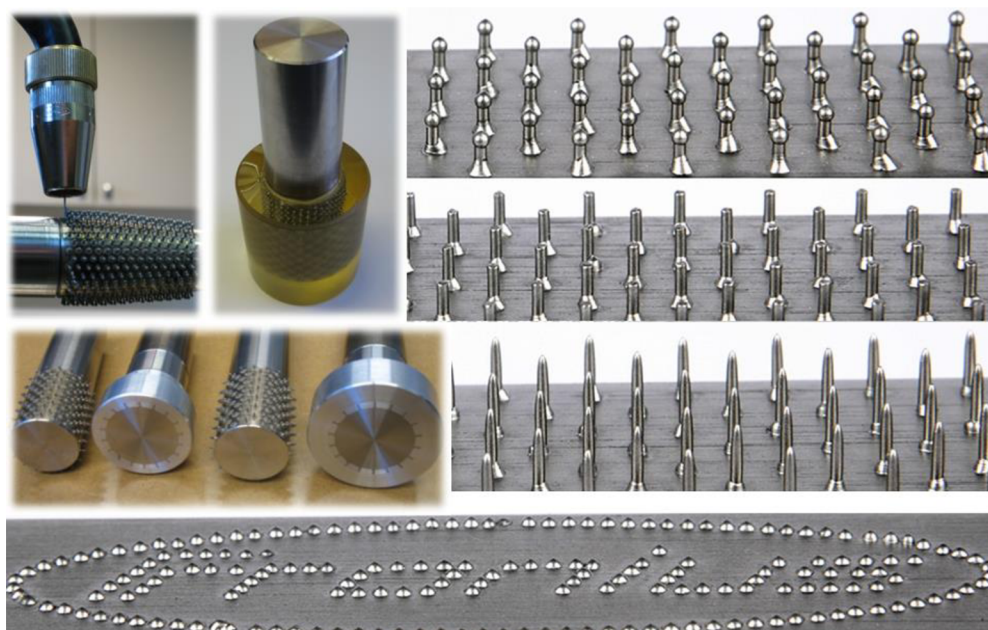
1.8.6 CMT Pin

Díky dokonalému řízení oblouku CMT byla objevena další oblast možného použití této technologie. Princip metody CMT Pin je patrný z obr. 20. Výsledkem mohou být tři tvary konců pinů: válcový, kónický či kulovitý. CMT Pin se hodí pro spojování kovů s jinými kovovými či nekovovými materiály. Spojení se provádí zalitím nebo nástřikem z kovů nebo plastických hmot na předmět pokrytý piny.



Obr. 20 Principiální postup CMT Pin [22].

Pomocí „pinové“ technologie lze na kovové předměty pomocí precizně navařených bodů, rozestoupených od sebe v dané vzdálenosti, reprodukovat různé obrazce (obr. 21).



Obr. 21 Ukázka použití CMT Pin [20].

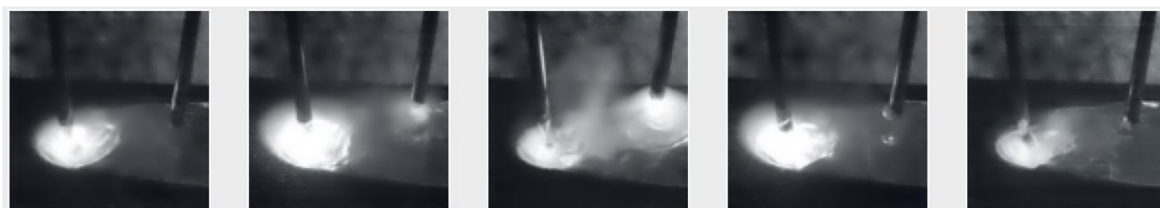
1.9 CMT Twin [23], [24]

Společnost Fronius v roce 2012 na veletrzích poprvé začala představovat svoji tandemovou svařovací metodu CMT Twin. Nové řešení se dvěma dráty umožňuje uživatelům použít v jednom systému dva procesy CMT nebo kombinaci procesu CMT a procesu impulzního svařování v ochranné atmosféře. Metoda CMT Twin představuje rozšíření již dříve dostupného vysoce výkonného svařování se dvěma dráty TimeTwin.

Metoda TimeTwin využívá taktéž dva oblouky, ovšem v kombinaci Puls/Puls, Sprcha/Puls nebo Puls/Sprcha. Oba zdroje musí být vzájemně synchronizované se 180° fázovým posuvem. Parametry svařování (proud, napětí, rychlost drátu) na obou zdrojích nemohou být příliš rozdílné, jinak by byl proces příliš nestabilní. Metoda TimeTwin je tedy správnou volbou, pokud se jedná o zvyšování rychlosti svařování, resp. odtavný výkon. U svařových švů, u kterých se požaduje velký průřez, však může být problémem příliš vysoký přínos tepla. Pokud je tavná lázeň příliš tekutá, svar se propadne. V takových případech je zapotřebí postup, při kterém je přínos tepla nižší a lze jej přesně nastavit.

Zde se nasazuje CMT Twin metoda, která kombinuje výhody metod TimeTwin a CMT v jednom systému. U svařovacího postupu CMT se elektroda kontrolovaně pohybuje sem tam, a tím se mechanicky podporuje uvolnění kapky. Jednotlivé kapky kovu z přidružené elektrody CMT jsou vtahovány do již tekuté lázně od vedoucí elektrody. Tímto řízeným uvolňováním kapek nedochází téměř k žádným rozstříkům a přínos tepla je podstatně nižší. Proces je stabilnější, protože délka oblouku nezávisí na vlivech povrchu svařence a na rychlosti svařování. Metoda CMT Twin ve srovnání s jinými tandemovými metodami není příliš náchylná na tzv. foukání oblouku, kdy jeden oblouk ovlivňuje druhý a naopak. Vzhledem k navzájem nezávisle nastavitelným rychlostem posuvu drátu lze podle požadavků nastavit různě vysoké odtavné výkony.

Na obr. 22 se vedoucí elektroda nachází v pulzním režimu, podřízená elektroda v režimu CMT vyplňuje tavnou lázeň na požadovaný rozměr. Proces se vyznačuje minimálním vzájemným ovlivňováním oblouků a stabilní tavnou lázní.



Obr. 22 CMT Twin - tavná lázeň [24].

Vedoucí elektroda při vysoké rychlosti drátu zajišťuje žádoucí vysoký závar, podřízená elektroda při nízké rychlosti drátu a minimálním přínosu tepla vyplňuje svar. Aby se svařový šev dokonale dařil již od samého začátku, podřízená elektroda u metody CMT Twin zahájí svoji činnost teprve tehdy, když je proces hlavní elektrody stabilní a podřízená elektroda obdrží odpovídající spouštěcí signál.

Přednosti metody CMT Twin jsou:

- snížený přínos tepla,
- vysoká kvalita svaru,
- vysoká spolehlivost procesu,
- hlubší závar,
- snadné přemostění spár,
- vysoká rychlost svařování,
- nižší rozstřík,
- minimum dokončovacích prací.

Díky těmto vlastnostem je metoda CMT Twin zvláště vhodná pro svařování tenkých plechů vysokou rychlostí a pro polohové svařování s vysokým odtavným výkonem, aniž by vnesené teplo překročilo optimální hranici. CMT Twin je tak předurčena pro nasazení v automobilovém průmyslu, pro výrobu lodí a pracovních strojů a pro stavbu elektráren.

V tab. 1.2 jsou uvedeny kombinace oblouků využívané metodou CMT Twin s popisem vlastností, které jednotlivý oblouk vnáší do procesu.

Tab. 1.2 Popis a vlastnosti procesů při jejich kombinaci [25]

Procesy	Vedoucí elektroda	Vlečná elektroda
Pulse / CMT	- hluboké provaření - vysoký odtavný výkon	- velmi dobré vyplnění svaru - zlepšení stability procesu
CMT / CMT	- kratší oblouk než vlečná elektroda - vyšší výkon oblouku než vlečná elektroda - zahajuje svařovací proces	- oblouk naladěný do tavné lázně

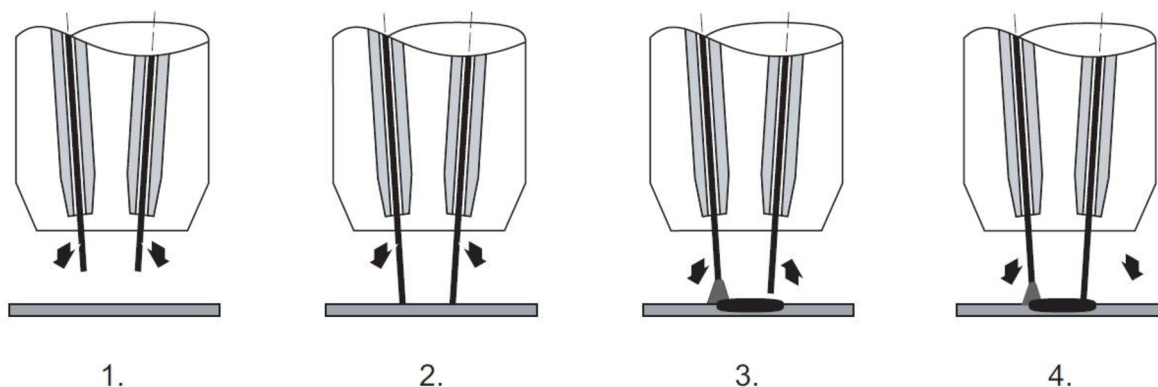
CMT Twin nabízí dokonale sladěné charakteristiky pro každé použití (tab. 1.3). Nejsilnější materiály se nejlépe svařují s charakteristikou „HD – Heavy Duty“. Charakteristika „Speed“ se výborně hodí pro tenké plechy při vysokých rychlostech svařování. Charakteristika „Root“ je vhodná pro kořenové svary.

Metoda CMT Twin dále nabízí obrovské možnosti při svařování s plynem CO₂. Nejen perfektní výsledek svařování s minimálním rozstříkem díky dokonalému uvolnění kapky v procesu CMT, ale i dvakrát tak vysoké rychlosti svařování, resp. dvojnásobné odtavné výkony.

Tab. 1.3 Varianty režimů CMT Twin [26].

Varianty CMT Twin	CMT Twin Speed	CMT Twin HD	CMT Twin Root	CMT Twin CO ₂	CMT Twin Cladding
Vodící (Lead)	Puls	Puls	CMT / Puls	CMT	CMT
Vlečný (Trail)	CMT	CMT	CMT	CMT	CMT
Aplikace	Rychlostní svařování	Vyšší odtavný výkon	Svařování do kořene	100 % CO ₂	Plátování

U metody je použito nové synchronizované zahájení svařování, které zajišťuje stabilitu oblouku od samého začátku (obr. 23). Rovnoměrné vytékání svaru a optimální závar od začátku svařování jsou ideálními předpoklady pro dokonalý vzhled svaru po celé délce svarového švu.



Obr. 23 Synchronizovaný start CMT Twin [25].

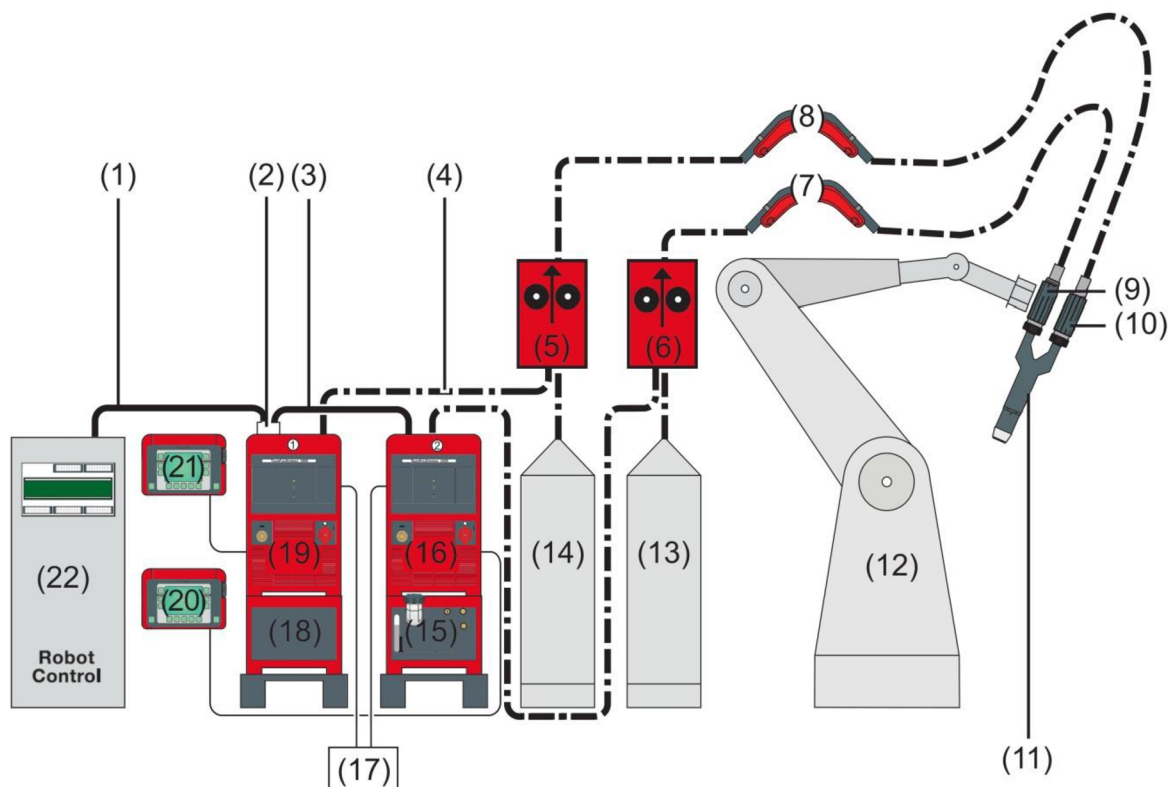
1. Obě drátové elektrody se posouvají vpřed směrem ke svařenci.
2. Obě drátové elektrody se dotknou povrchu svařence.
3. Vodící drátová elektroda zahájí svařovací proces, zatímco vlečná drátová elektroda se zatáhne zpět směrem od svařence a čeká na startovací signál od vodící elektrody = zpoždění zapálení.
4. Jakmile vlečná drátová elektroda obdrží startovací signál, potom také zahájí svařovací proces.

Pro metodu CMT Twin byl navržen mimořádně robustní a vysoce výkonný kompaktní svařovací hořák Twin Compact Pro, který umožňuje dobrý přístup ke svařovaným dílům (obr. 24).



Obr. 24 Hořák Twin Compact Pro [26].

Na obr. 25 je schematicky vyobrazena sestava pracoviště vybaveného CMT Twin s popisem jednotlivých prvků v tab. 1.4.



Obr. 25 Konfigurace zařízení CMT Twin [25].

Tab. 1.4 Prvky CMT Twin zařízení [25].

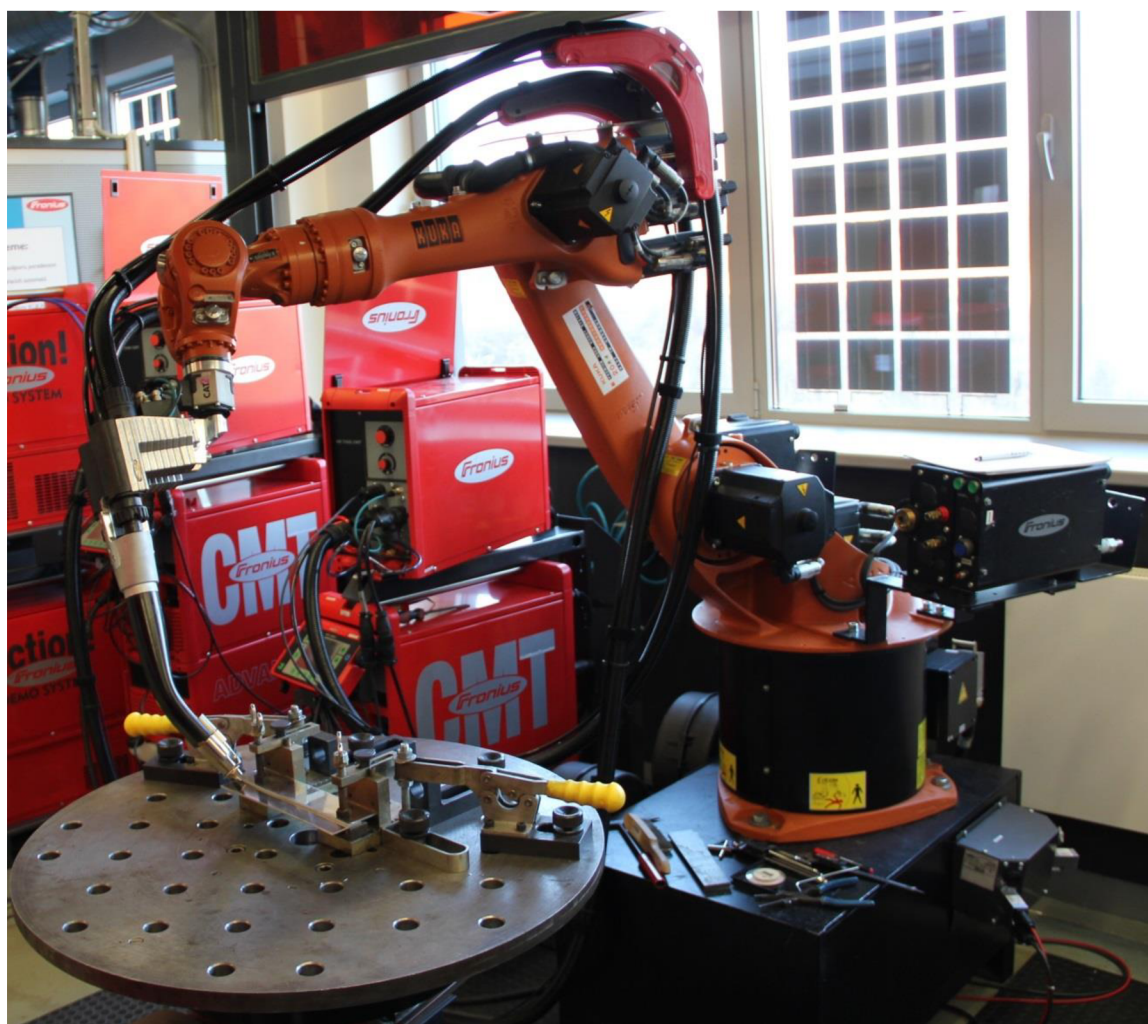
(1)	Připojení k řídicí jednotce robota
(2)	Rozhraní pro robota
(3)	Připojení k rozhraní pro robota
(4)	Kabelové vedení
(5), (6)	Podavač drátu VR 7000 CMT nebo VR 1550
(7), (8)	Pufrovací člen
(9), (10)	Podávací jednotka Robacta Drive CMT
(11)	Svařovací hořák Robacta Twin Compact Pro
(12)	Robot
(13), (14)	Zásobník drátu
(15), (18)	Chladicí modul FK 9000 R nebo FK 4000 R
(16), (19)	Svařovací zdroj TPS 5000 CMT
(17)	Propojení svařovacích zdrojů a podávacích jednotek drátu LHSB-HUB
(20), (21)	Dálkové ovládání RCU 5000i
(22)	Řídicí jednotka robota

2 EXPERIMENT – VLASTNOSTI SVAROVÝCH SPOJŮ

Experimentální práce se zabývá provedením svarů metodou CMT Twin a klasickým MIG/MAG svařováním v pulzním oblouku s následným zhodnocením vlastností těchto spojů a vzájemným porovnáním. Svaření vzorků metodou CMT Twin proběhlo v Národním technologickém centru firmy Fronius v Praze. Klasické svařování proběhlo v laboratorních prostorách Fakulty strojního inženýrství VUT v Brně.

2.1 Svařování tandemovou metodou CMT Twin

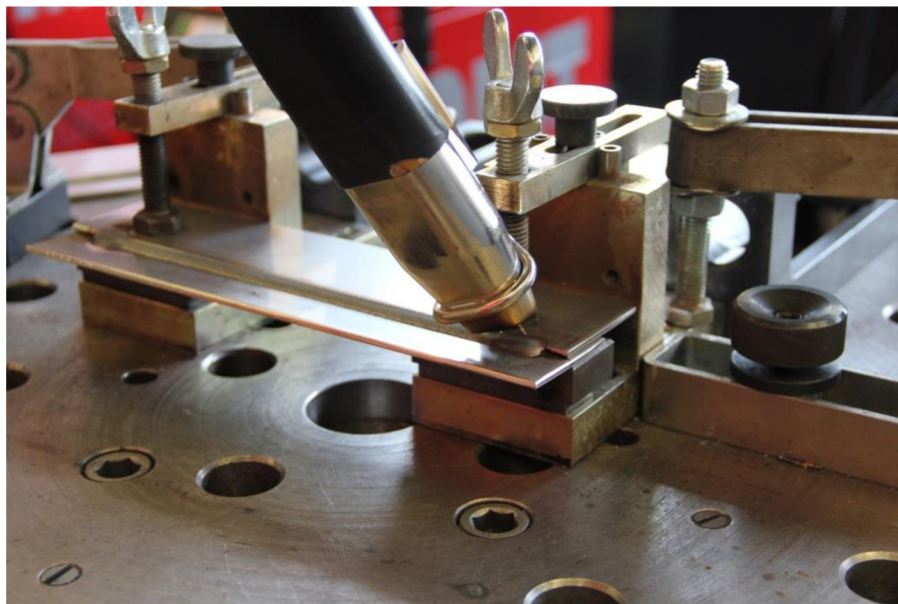
Pracoviště firmy Fronius v Praze bylo vybaveno průmyslovým robotem od společnosti Kuka (obr. 26). Tento robot byl osazen tandemovou svařovací technikou CMT Twin.



Obr. 26 Svařovací robot vybavený CMT Twin zařízením v Praze.

2.1.1 Průběh svarových spojení

Postupně bylo svařeno 5 svarových vzorků z hliníkové slitiny, 5 z nelegované oceli a poté 5 z korozivzdorné oceli. Polotovarem byly 3 mm tlusté, 250 mm dlouhé plechy. Tyto plechy jsme upnuli do přípravku a následně svařili, čímž nám vzniklo přeplátované spojení (obr. 27). Hořák byl mírně skloněný ke směru svařování tak, že jsme svařovali dopředným způsobem (tlačený oblouk). Vlastní proces svařování trval pouze cca. pět sekund na jeden svár díky výkonné tandemové metodě při rychlosti pohybu hořáku $50 \text{ mm}\cdot\text{s}^{-1}$.



Obr. 27 Plechy upnuté v přípravku.

V následujících tab. 2.1 – tab. 2.3 jsou popsány svařované materiály.

Tab. 2.1 Základní údaje slitiny hliníku AlMg3 (42 4413 dle ČSN) [27].

Chemické složení	2,5 - 4,0 % Mg	0,05 - 0,04 % Mn	max. 0,5 % Si
	max. 0,4 % Fe	max. 0,2 % Ti	max. 0,2 % Zn
	max. 0,1 % Cu	max. 0,05 % Cr	zbytek Al
Mechanické vlastnosti	Mez kluzu	$R_{p0,2} = \text{min. } 80 \text{ MPa}$	
	Mez pevnosti	$R_m = \text{min. } 170 \text{ MPa}$	
Fyzikální vlastnosti	Hustota	$\rho = 2650 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$	
	Tepelná vodivost	$\lambda_t = 126 - 167 \text{ W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$	
Svařitelnost	Velmi dobrá všemi běžnými technologiemi		
Použití	Na středně namáhané konstrukce, které mají odolávat korozi a případně být dobře lešitelné		

Tab. 2.2 Základní údaje nelegované oceli S235JRG1 (11 373 dle ČSN) [27].

Chemické složení	max. 0,17 % C	max. 0,045 % P
	max. 0,045 % S	max. 0,007 % N
Mechanické vlastnosti	Mez kluzu	$R_{eH} = \text{min. } 235 \text{ MPa}$
	Mez pevnosti	$R_m = 340 - 470 \text{ MPa}$
Fyzikální vlastnosti	Hustota	$\rho = 7850 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$
	Tepelná vodivost	$\lambda_t = 54,5 \text{ W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$
Svařitelnost	Vhodná ke svařování	
Použití	Součásti konstrukcí a strojů menších tlouštěk, i tavně svařované, namáhané staticky i mírně dynamicky	

Tab. 2.3 Základní údaje korozivzdorné oceli X5CrNi18-10 (17 240 dle ČSN) [27].

Chemické složení	max. 0,07 % C	max. 2 % Mn	max. 1 % Si
	17 – 19,5 % Cr	8 – 10,5 % Ni	max. 0,11 % N
Mechanické vlastnosti	Mez kluzu	$R_{p0,2} = \text{min. } 186 \text{ MPa}$	
	Mez pevnosti	$R_m = 490 - 686 \text{ MPa}$	
Fyzikální vlastnosti	Hustota	$\rho = 7900 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$	
	Tepelná vodivost	$\lambda_t = 15 \text{ W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$	
Svařitelnost	Svařitelná všemi obvyklými způsoby		
Použití	Vhodná pro prostředí oxidační povahy, pro silné anorganické kyseliny jen při velmi nízkých koncentracích a v oblasti normálních teplot		

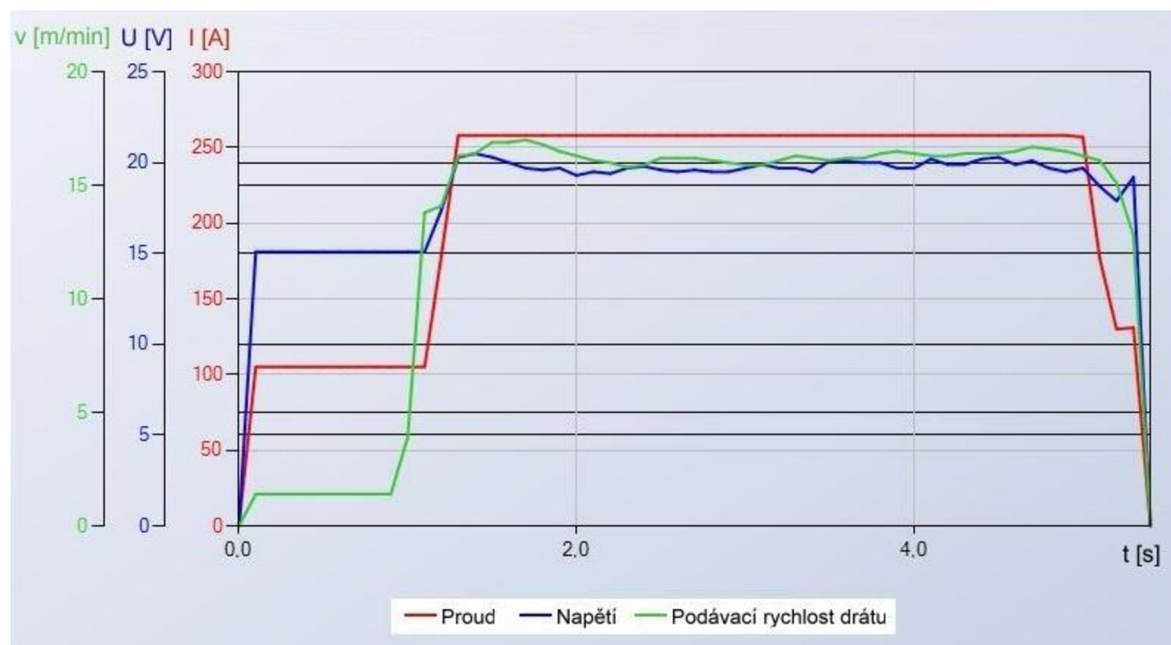
2.1.2 Svařovací parametry

V následujících tabulkách jsou uvedeny podmínky svařování CMT Twin.

A) Svařování hliníkové slitiny

Tab. 2.4 Svařovací podmínky při svařování hliníkové slitiny

Základní materiál	plech tl. 3 mm: AlMg3	
Přídavný materiál	drát \varnothing 1,2 mm: AlMg5	
Ochranný plyn	100 % Ar	
Průtok ochranného plynu	q_{pl}	30 [l·min ⁻¹]
Rychlost svařování	v_s	3 [m·min ⁻¹], tj. 50 [mm·s ⁻¹]

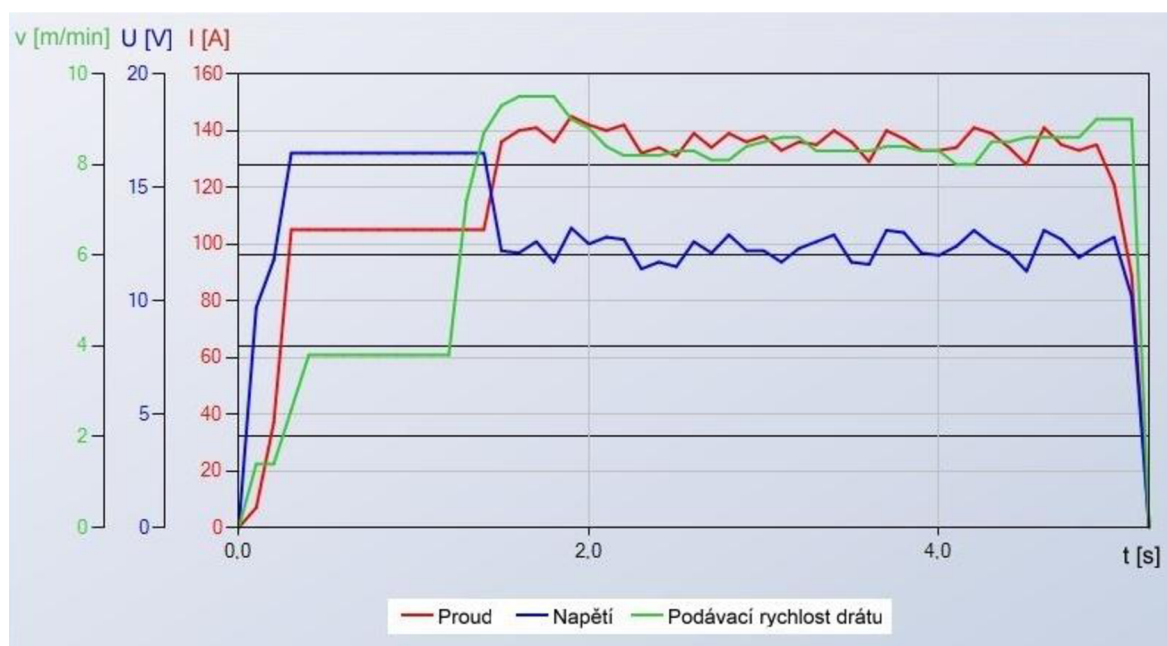


Obr. 28 Grafický výstup parametrů zdroje Lead Puls u svaru: 4.AIMg.

Tab. 2.5 Skutečné parametry zdroje Lead Puls při svařování hliníkové slitiny.

Svar	Svařovací proud	Svařovací napětí	Podávací rychlost drátu
	I_1 [A]	U_1 [V]	v_{d1} [m·min ⁻¹]
1.AIMg	251,9	19,5	15,5
2.AIMg	251,9	19,5	15,5
3.AIMg	257,9	19,6	16
4.AIMg	257,9	19,8	16,3
5.AIMg	257,9	19,5	15,9

V průběhu svařování byly veškeré parametry zaznamenávány přes ovládací panel RCU 5000i na paměťovou kartu i na lokální síť. Sesbíraná data byla zobrazena na PC v programu Fronius Xplorer s časovým rozlišením po 0,1 sekundách. Skutečné parametry uvedené v tabulkách pro oba zdroje zvlášť u jednotlivých materiálů byly získány po odfiltrování náběhové fáze (1,5 s) a doběhové fáze (0,3 s) a zprůměrováním zbylých hodnot. Odfiltrované části hodnot můžeme vidět z grafického vykreslení parametrů v programu Xplorer.



Obr. 29 Grafický výstup parametrů zdroje Trail CMT u svaru: 4.AIMg.

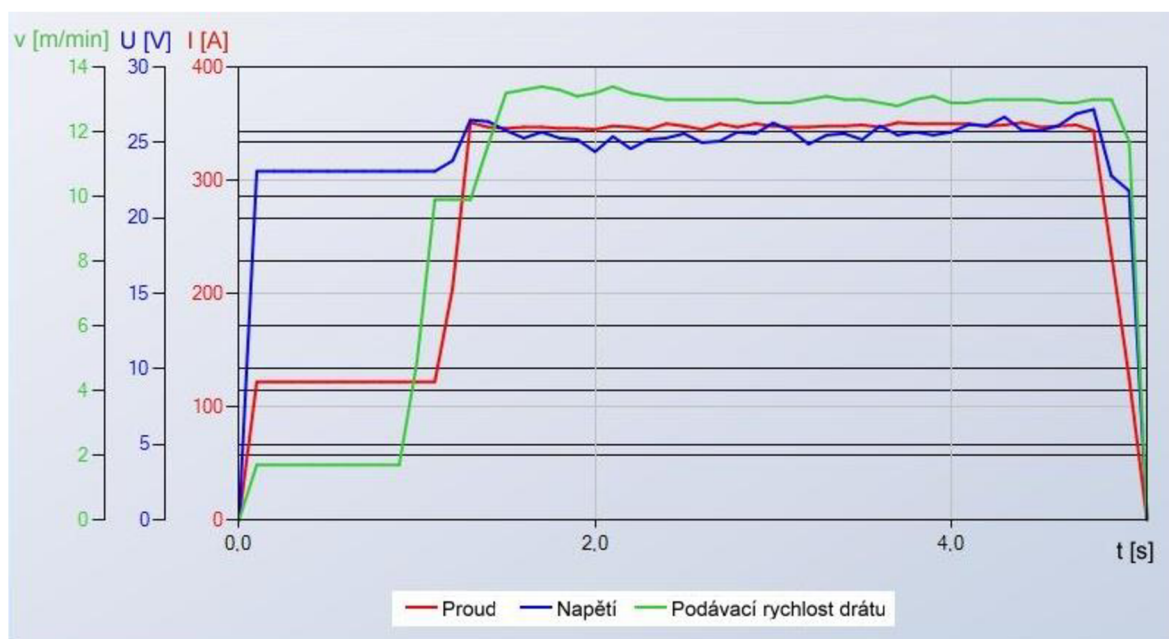
Tab. 2.6 Skutečné parametry zdroje Trail CMT při svařování hliníkové slitiny.

Svar	Svařovací proud	Svařovací napětí	Podávací rychlost drátu
	I_2 [A]	U_2 [V]	v_{d2} [m·min ⁻¹]
1.AIMg	251,9	19,5	15,5
2.AIMg	251,9	19,5	15,5
3.AIMg	257,9	19,6	16
4.AIMg	257,9	19,8	16,3
5.AIMg	257,9	19,5	15,9

B) Svařování nelegované oceli

Tab. 2.7 Svařovací podmínky při svařování nelegované oceli

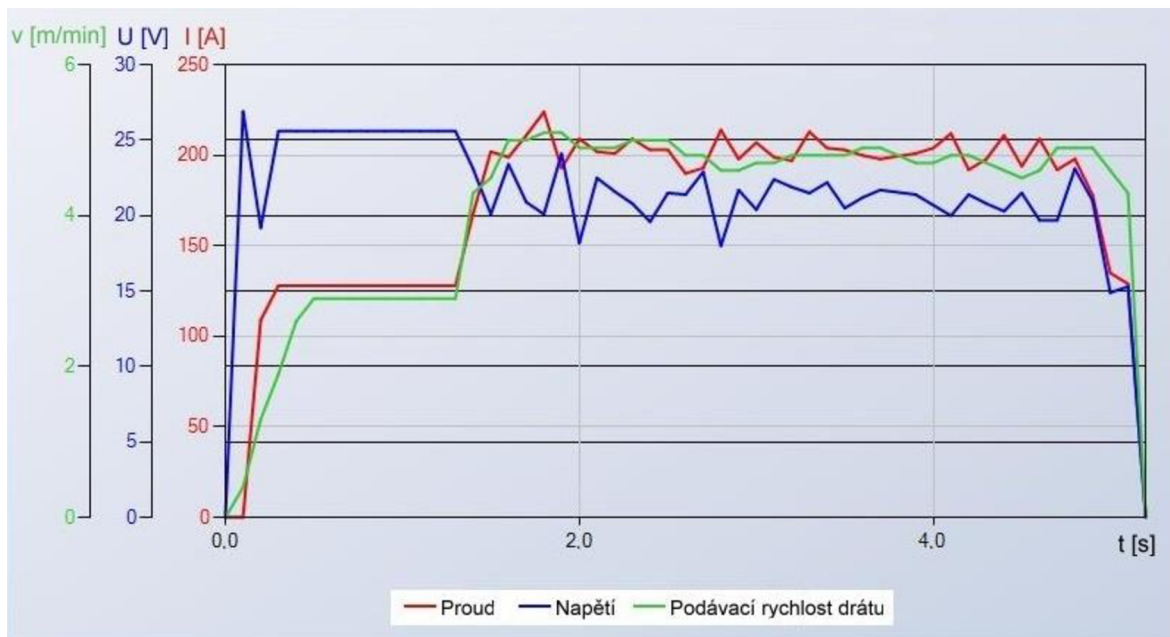
Základní materiál	plech tl. 3 mm: 11 373	
Přídavný materiál	drát \varnothing 1,2 mm: G3Si1	
Ochranný plyn	Ar + 18 % CO ₂	
Průtok ochranného plynu	q_{pl}	30 [l·min ⁻¹]
Rychlost svařování	v_s	3 [m·min ⁻¹], tj. 50 [mm·s ⁻¹]



Obr. 30 Grafický výstup parametrů zdroje Lead Puls u svaru: 4. ocel.

Tab. 2.8 Skutečné parametry zdroje Lead Puls při svařování nelegované oceli.

Svar	Svařovací proud	Svařovací napětí	Podávací rychlost drátu
	I_1 [A]	U_1 [V]	v_{d1} [m·min ⁻¹]
1.C-ocel	349,5	24,4	13,5
2.C-ocel	349	24,7	13,6
3.C-ocel	348	25,6	13,1
4.C-ocel	347,9	25,5	13
5.C-ocel	347,9	25,4	13,1



Obr. 31 Grafický výstup parametrů zdroje Trail CMT u svaru: 4. ocel.

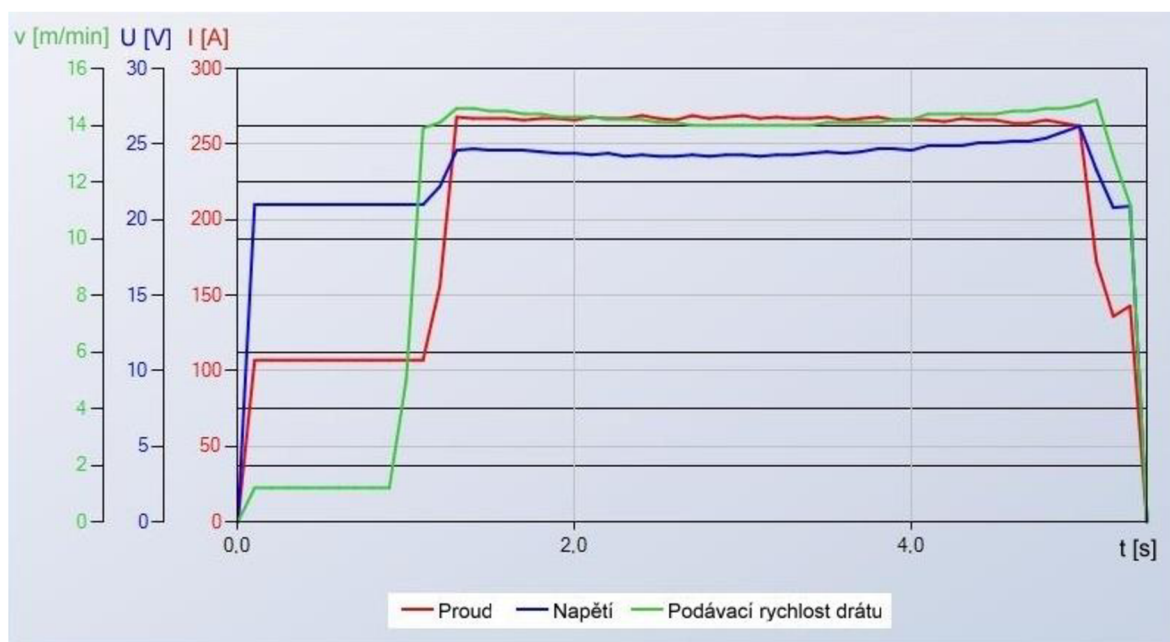
Tab. 2.9 Skutečné parametry zdroje Trail CMT při svařování nelegované oceli.

Svar	Svařovací proud	Svařovací napětí	Podávací rychlost drátu
	I_2 [A]	U_2 [V]	v_{d2} [m·min ⁻¹]
1.C-ocel	202,2	21,3	4,8
2.C-ocel	202,2	21,3	4,7
3.C-ocel	200,5	21,1	4,8
4.C-ocel	202,4	21,1	4,8
5.C-ocel	200,2	20,7	4,7

C) Svařování korozivzdorné oceli

Tab. 2.10 Svařovací podmínky při svařování korozivzdorné oceli

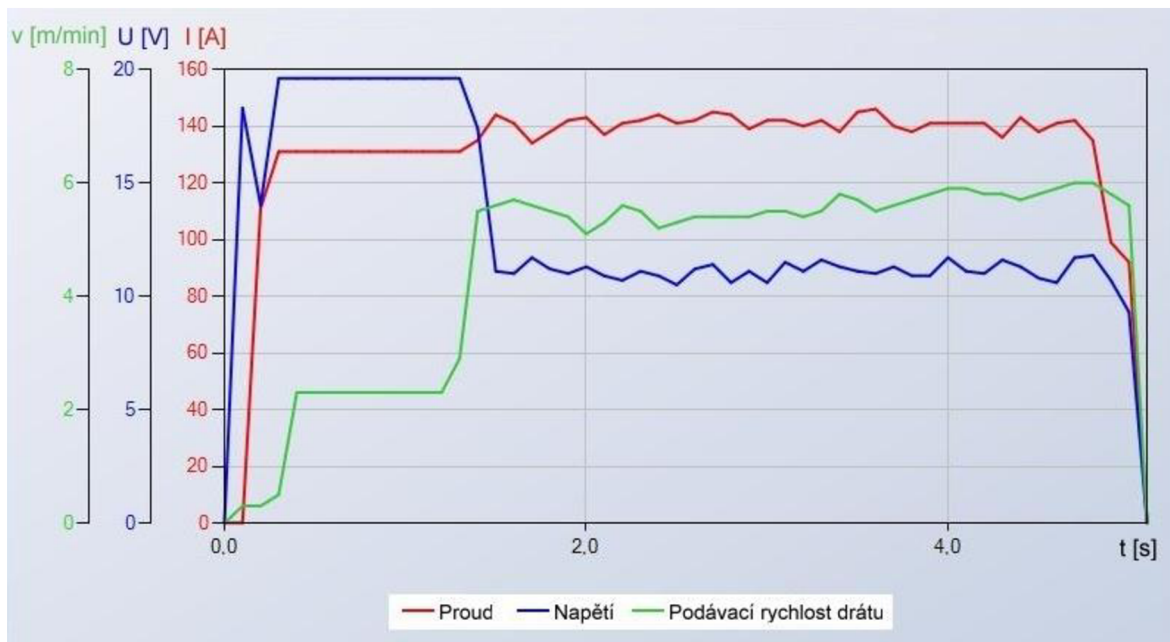
Základní materiál	plech tl. 3 mm: 17 240	
Přídavný materiál	drát \varnothing 1,0 mm: G 18 8 Mn	
Ochranný plyn	Ar + 2,5 % CO ₂	
Průtok ochranného plynu	q_{pl}	30 [l·min ⁻¹]
Rychlost svařování	v_s	3 [m·min ⁻¹], tj. 50 [mm·s ⁻¹]



Obr. 32 Grafický výstup parametrů zdroje Lead Puls u svaru: 4.CrNi.

Tab. 2.11 Skutečné parametry zdroje Lead Puls při svařování korozivzdorné oceli.

Svar	Svařovací proud	Svařovací napětí	Podávací rychlost drátu
	I_1 [A]	U_1 [V]	v_{d1} [m·min ⁻¹]
1.CrNi	266,4	24,1	14,3
2.CrNi	266,1	24,7	14,4
3.CrNi	266	24,6	14,4
4.CrNi	266,6	24,6	14,2
5.CrNi	266,3	24,7	14,3



Obr. 33 Grafický výstup parametrů zdroje Trail CMT u svaru: 4.CrNi.

Tab. 2.12 Skutečné parametry zdroje Trail CMT při svařování korozivzdorné oceli.

Svar	Svařovací proud	Svařovací napětí	Podávací rychlost drátu
	I_2 [A]	U_2 [V]	v_{d2} [m·min ⁻¹]
1.CrNi	140	11,1	5,5
2.CrNi	141,7	11,4	5,7
3.CrNi	140,9	11,2	5,6
4.CrNi	141,1	11,1	5,6
5.CrNi	139,4	11,1	5,6

2.1.3 Vnesené teplo

Z výše uvedených parametrů byly pro všechny provedené svary vypočteny hodnoty vneseného tepla pro každý zdroj zvlášť (tab. 2.13 – tab. 2.15). Možno povšimnout, že teplo vnesené do materiálu ze zdroje CMT představuje pouze přibližně 20 % z celkového vneseného tepla.

Tab. 2.13 Hodnoty vneseného tepla při svařování hliníkové slitiny.

Svar	Vnesené teplo - Puls	Vnesené teplo - CMT	Celkové vnesené teplo
	Q_1 [kJ·mm ⁻¹]	Q_2 [kJ·mm ⁻¹]	Q_{12} [kJ·mm ⁻¹]
1.AIMg	0,0786	0,0237	0,1023
2.AIMg	0,0786	0,0237	0,1023
3.AIMg	0,0809	0,0269	0,1078
4.AIMg	0,0817	0,0269	0,1086
5.AIMg	0,0805	0,0267	0,1072

Tab. 2.14 Hodnoty vneseného tepla při svařování nelegované oceli.

Svar	Vnesené teplo - Puls	Vnesené teplo - CMT	Celkové vnesené teplo
	Q_1 [kJ·mm ⁻¹]	Q_2 [kJ·mm ⁻¹]	Q_{12} [kJ·mm ⁻¹]
1.C-ocel	0,1364	0,0689	0,2053
2.C-ocel	0,1379	0,0689	0,2068
3.C-ocel	0,1425	0,0677	0,2102
4.C-ocel	0,1419	0,0683	0,2102
5.C-ocel	0,1414	0,0663	0,2077

Tab. 2.15 Hodnoty vneseného tepla při svařování korozivzdorné oceli.

Svar	Vnesené teplo - Puls	Vnesené teplo - CMT	Celkové vnesené teplo
	Q_1 [kJ·mm ⁻¹]	Q_2 [kJ·mm ⁻¹]	Q_{12} [kJ·mm ⁻¹]
1.CrNi	0,1027	0,0249	0,1276
2.CrNi	0,1052	0,0258	0,1310
3.CrNi	0,1047	0,0252	0,1299
4.CrNi	0,1049	0,0251	0,1300
5.CrNi	0,1052	0,0248	0,1300

Vnesené teplo od zdroje v pulzním oblouku bylo spočteno podle vztahu (1).

$$Q_1 = \frac{\eta \cdot U_1 \cdot I_1}{v_s \cdot 1 \cdot 10^3} \quad (1)$$

kde:	Q_1 [kJ.mm ⁻¹]	-	vnesené teplo ze zdroje v pulzním režimu,
	η [-]	-	účinnost přenosu tepla obloukem (pro MIG/MAG $\eta = 0,8$),
	U [V]	-	svařovací napětí,
	I [A]	-	svařovací proud,
	v_s [mm.s ⁻¹]	-	rychlost svařování.

Vnesené teplo od zdroje v CMT oblouku bylo spočteno podle vztahu (2).

$$Q_2 = \frac{\eta \cdot U_2 \cdot I_2}{v_s \cdot 1 \cdot 10^3} \quad (2)$$

kde:	Q_2 [kJ.mm ⁻¹]	-	vnesené teplo ze zdroje v CMT režimu,
	η [-]	-	účinnost přenosu tepla obloukem (pro MIG/MAG $\eta = 0,8$),
	I [A]	-	svařovací proud,
	v_s [m.min ⁻¹]	-	rychlost svařování.

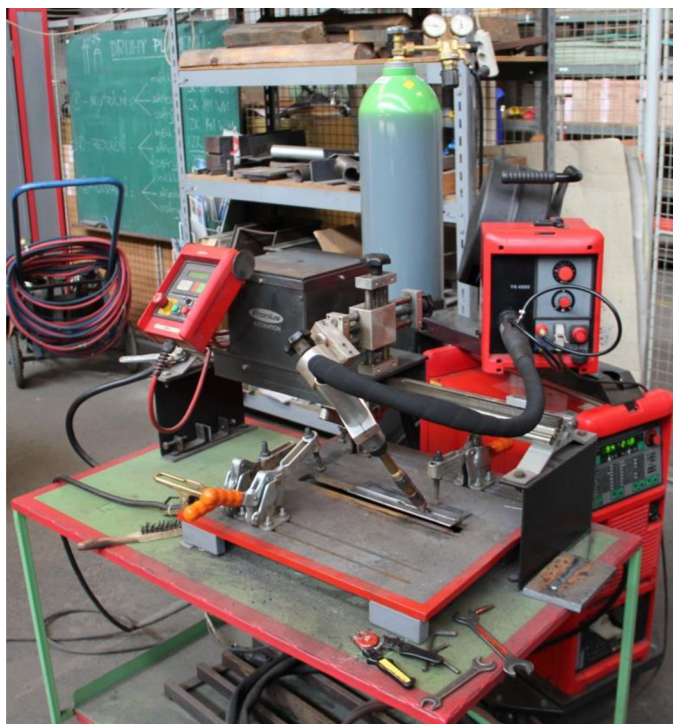
Celkové teplo vnesené do svařence získáme sečtením vnesených tepel z obou zdrojů podle vztahu (3).

$$Q_{12} = Q_1 + Q_2 \quad (3)$$

kde:	Q_{12} [kJ.mm ⁻¹]	-	celkové vnesené teplo z obou zdrojů,
	Q_1 [kJ.mm ⁻¹]	-	vnesené teplo ze zdroje v pulzním režimu,
	Q_2 [kJ.mm ⁻¹]	-	vnesené teplo ze zdroje v CMT režimu.

2.2 Klasické svařování „jednodrátem“ v pulzu

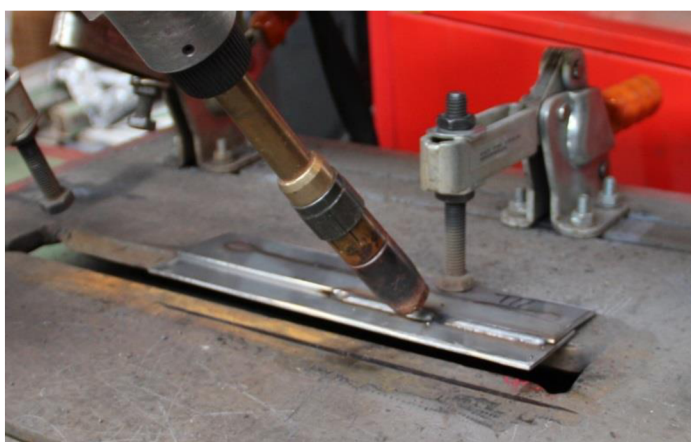
Svařovací pracoviště v dílenských prostorách školy bylo vybaveno přímočarým pojezdem osazeným svařovacím poloautomatem MIG/MAG od firmy Fronius (viz. obr. 34).



Obr. 34 Svařovací poloautomat MIG/MAG s přímočarým pojezdem.

2.2.1 Průběh svařování

Jako základní materiál jsme použili plechy svařené předchozí metodou CMT Twin. Plechy jsme svařovali z opačné strany, kde zbyl prostor pro svarovou housenku (obr. 35). Svařovali jsme jedním drátem svary dlouhé cca 80 mm.



Obr. 35 Plechy upnuté v přípravku.

Díky aplikaci svarů z obou metod na jeden dílec, budeme moci svary mezi sebou snadno porovnávat.

2.2.2 Svařovací parametry

V následujících tabulkách jsou uvedeny podmínky při pulzním svařování.

A) Svařování hliníkové slitiny

Tab. 2.16 Svařovací podmínky při svařování hliníkové slitiny

Základní materiál	plech tl. 3 mm: AlMg3	
Přídavný materiál	drát \varnothing 1,2 mm: AlSi5	
Ochranný plyn	100 % Ar	
Průtok ochranného plynu	q_{pl}	14 [l·min ⁻¹]

Tab. 2.17 Skutečné parametry při svařování hliníkové slitiny.

Svar	Svařovací proud	Svařovací napětí	Podávací rychlost drátu	Rychlost svařování	
	I_1 [A]	U_1 [V]	v_{d1} [m·min ⁻¹]	v_s [m·min ⁻¹]	v_s [mm·s ⁻¹]
I.AlMg	98	18,9	4,5	0,5	8,3
II.AlMg	101	19	4,5	0,5	8,3
III.AlMg	121	19,6	5,5	0,6	10
IV.AlMg	111	19,2	5	0,6	10

Všechny 4 svary u hliníkové slitiny byly svařeny dopředným způsobem.

B) Svařování nelegované oceli

Tab. 2.18 Svařovací podmínky při svařování nelegované oceli

Základní materiál	plech tl. 3 mm: 11 373	
Přídavný materiál	drát \varnothing 1,2 mm: G4Si1	
Ochranný plyn	Ar + 18 % CO ₂	
Průtok ochranného plynu	q_{pl}	14 [l·min ⁻¹]

Tab. 2.19 Skutečné parametry při svařování nelegované oceli.

Svar	Svařovací proud	Svařovací napětí	Podávací rychlost drátu	Rychlost svařování	
	I_1 [A]	U_1 [V]	v_{d1} [m·min ⁻¹]	v_s [m·min ⁻¹]	v_s [mm·s ⁻¹]
I.C-ocel	112	23	3,9	0,5	8,3
II.C-ocel	130	23,6	4,4	0,5	8,3
III.C-ocel	124	22,9	4	0,6	10
IV.C-ocel	148	22,9	4	0,6	10

U nelegované oceli byly svary I.-II. svařeny dopředným způsobem (tlačný oblouk), svary III.-IV. zpětným způsobem (tažený oblouk).

C) Svařování korozivzdorné oceli

Tab. 2.20 Svařovací podmínky při svařování korozivzdorné oceli

Základní materiál	plech tl. 3 mm: 17 240	
Přídavný materiál	drát \varnothing 1,0 mm: G 19 9 NbSi	
Ochranný plyn	Ar + 18 % CO ₂	
Průtok ochranného plynu	q _{pl}	14 [l·min ⁻¹]

Tab. 2.21 Skutečné parametry při svařování korozivzdorné oceli.

Svar	Svařovací proud	Svařovací napětí	Podávací rychlost drátu	Rychlost svařování	
	I ₁ [A]	U ₁ [V]	v _{d1} [m·min ⁻¹]	v _s [m·min ⁻¹]	v _s [mm·s ⁻¹]
I.CrNi	112	22,1	5,2	0,5	8,3
II.CrNi	130	22,1	5,2	0,5	8,3
III.CrNi	124	21,5	5,2	0,5	8,3
IV.CrNi	148	21,8	5,2	0,5	8,3

U korozivzdorné oceli byly svary I.-II. svařeny dopředným způsobem, svary III.-IV. zpětným způsobem.

2.2.3 Vnesené teplo

Hodnoty vneseného tepla pro svařování v pulzním režimu byly spočteny podle vztahu (1), podobně jako v předchozím případě, ovšem pro jeden samotný zdroj.

Tab. 2.22 Hodnoty vneseného tepla při svařování hliníkové slitiny.

Svar	Vnesené teplo
	Q ₁ [kJ·mm ⁻¹]
I.AIMg	0,1778
II.AIMg	0,1842
III.AIMg	0,1897
IV.AIMg	0,1705

Tab. 2.23 Hodnoty vneseného tepla při svařování nelegované oceli.

Svar	Vnesené teplo
	Q_1 [kJ·mm ⁻¹]
I.C-ocel	0,2473
II.C-ocel	0,2945
III.C-ocel	0,2272
IV.C-ocel	0,2712

Tab. 2.24 Hodnoty vneseného tepla při svařování korozivzdorné oceli.

Svar	Vnesené teplo
	Q_1 [kJ·mm ⁻¹]
I.CrNi	0,2037
II.CrNi	0,2037
III.CrNi	0,1899
IV.CrNi	0,1967

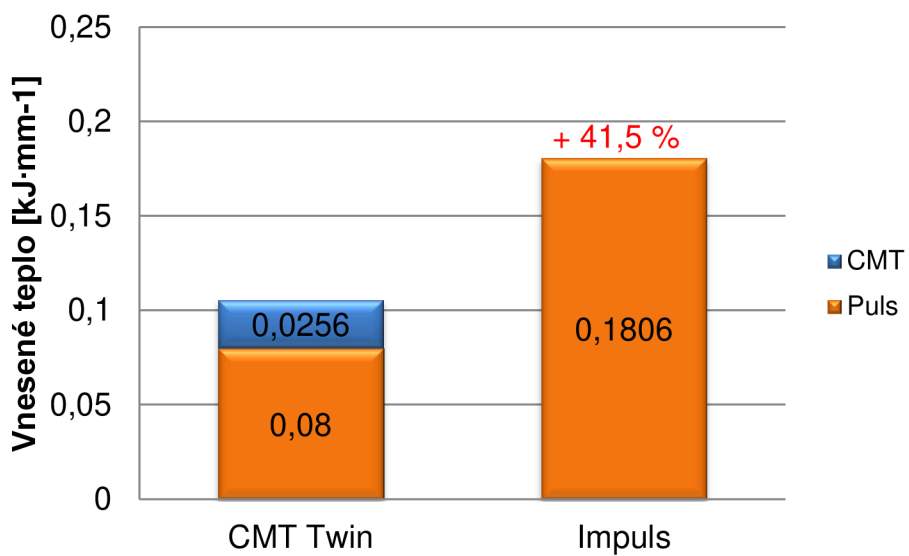
2.3 Porovnání vneseného tepla u obou metod

Hodnoty vneseného tepla, jak pro svařování „dvoudrátém“ pomocí CMT Twin, tak pro svařování „jednodrátém“ pomocí pulzu, jsme zprůměrovaly. Z těchto průměrných hodnot byly vytvořeny grafy pro názorné porovnání vnesených tepel.

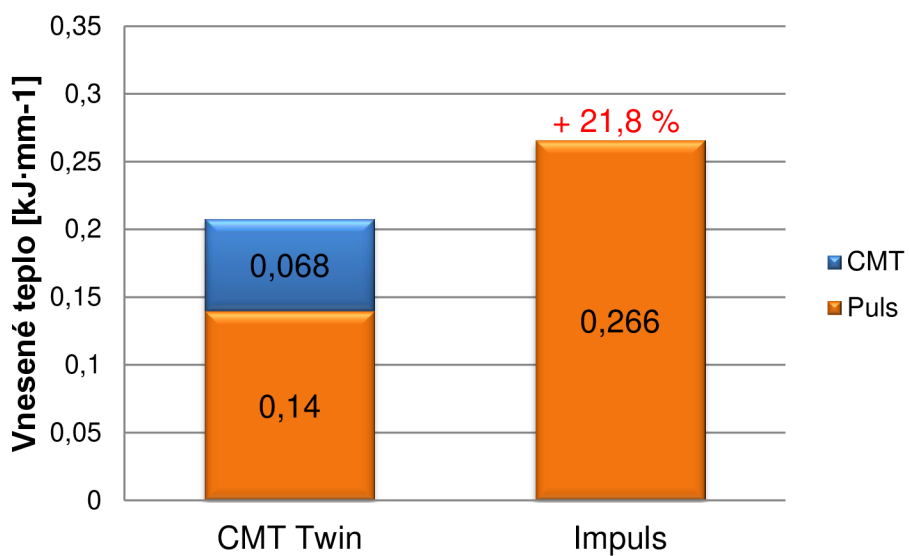
Při svařování plechů z hliníkové slitiny pomocí metody CMT Twin bylo vneseno do materiálu o 41,5 % méně tepla než u klasického pulzního svařování jednou drátovou elektrodou (obr. 36).

Při svařování plechů z nelegované oceli metodou CMT Twin bylo vneseného tepla v průměru o 21,8 % méně oproti klasickému impulsnímu svařování jedním drátem. (obr. 37).

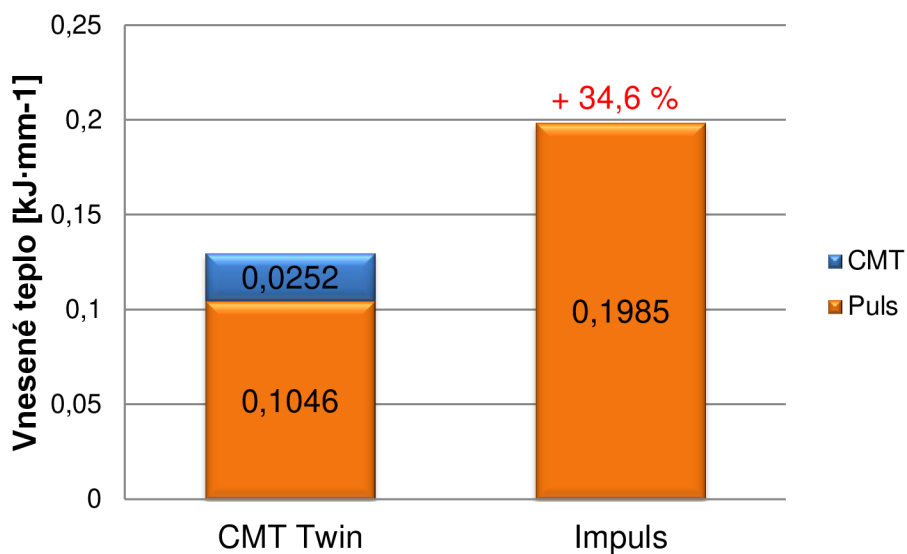
Při svařování plechů z korozivzdorné oceli bylo metodou CMT Twin vneseno o 34,6 % méně tepla než při klasickém impulsním svařování (obr. 38).



Obr. 36 Vnesené teplo při svařování hliníkové slitiny.



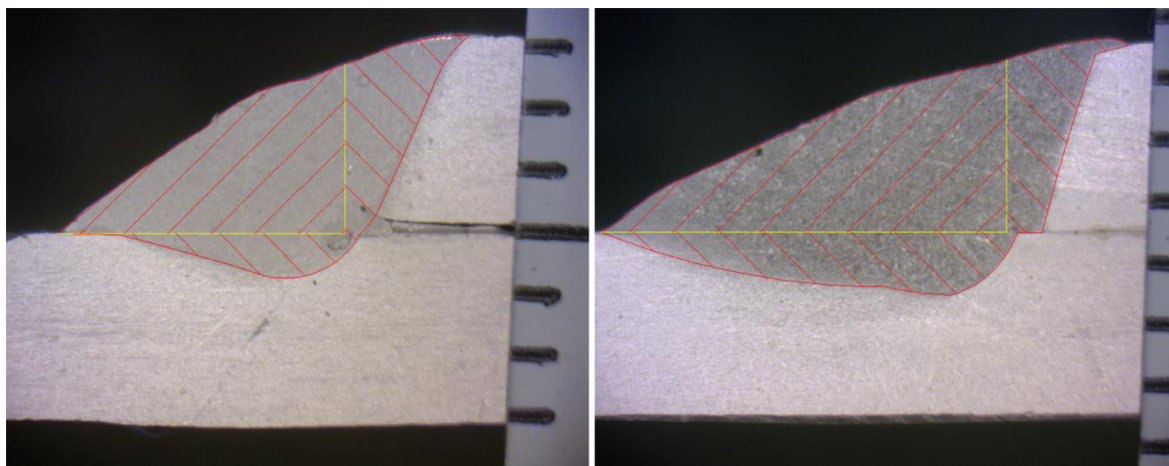
Obr. 37 Vnesené teplo při svařování nelegované oceli.



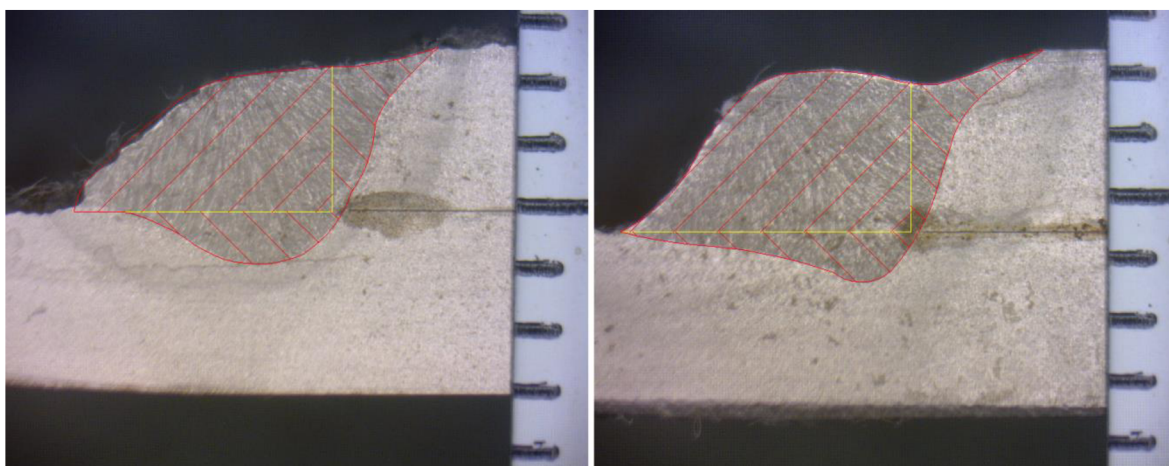
Obr. 38 Vnesené teplo při svařování korozivzdorné oceli.

2.4 Průřezy svarových housenek

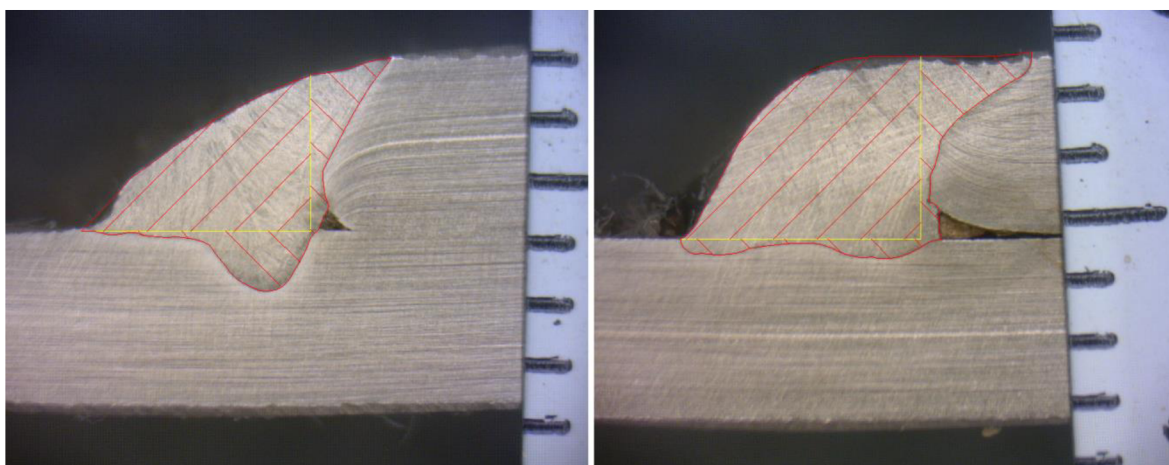
Ze svařenců byly odebrány vzorky pro další metalografická pozorování. Pomocí programu AutoCAD byly z nafocených makrostruktur (obr. 39 – obr. 41) získány plochy návaru a závaru jednotlivých svařů (tab. 2.25).



Obr. 39 Průřez hliníkové slitiny (vlevo – CMT Twin, vpravo – impuls).



Obr. 40 Průřez nelegované oceli (vlevo – CMT Twin, vpravo – impuls).



Obr. 41 Průřez korozivzdorné oceli (vlevo – CMT Twin, vpravo – impuls).

Tab. 2.25 Průřezy svarových housenek

Svar	Plocha návaru S_n [mm ²]	Plocha závaru S_z [mm ²]	Celková plocha S_c [mm ²]
AlMg CMT Twin	7,47	4,88	12,35
AlMg Imp.	10,9	7,64	18,54
C-ocel CMT Twin	7,31	3,62	10,93
C-ocel Imp.	8,83	3,61	12,44
CrNi CMT Twin	5,6	2,65	8,25
CrNi Imp.	8,5	2,63	11,13

2.5 Struktury svarových vzorků

U odebraných vzorků byla následně provedena jejich preparace, zahrnující následující sled činností:

- zalévání vzorků za studena do samotvrdnoucích pryskyřic,
- broušení brusnými papíry různé hrubosti od zrnitosti 120 po 600,
- leštění diamantovou pastou 3 až 1 μm ,
- chemické leptání Nital, Marble a hydroxid sodný.

Z takto připravených vzorků byly mikroskopickým pozorováním vytvořeny snímky struktur pro jednotlivé materiály.

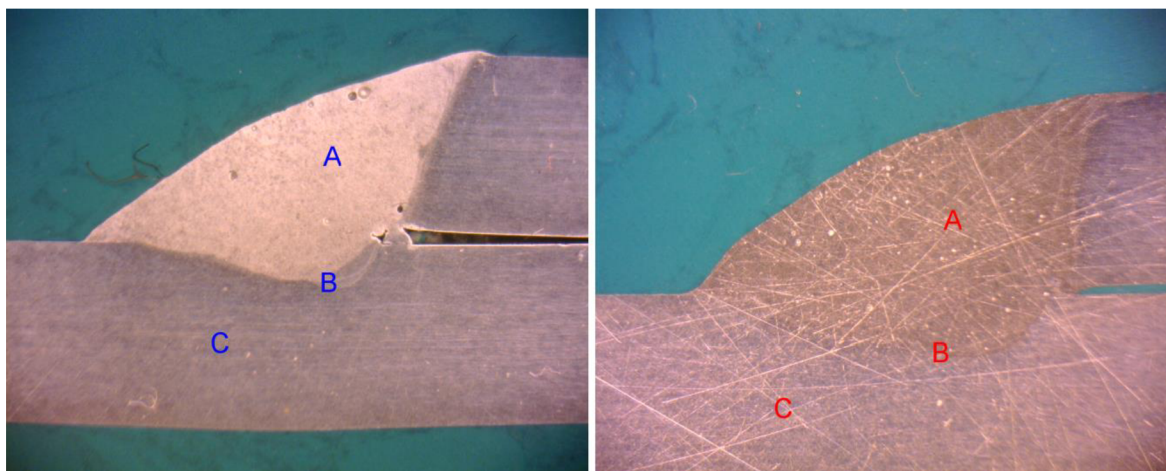
2.5.1 Hliníkové slitiny

Na obr. 42 jsou znázorněny oblasti pozorovaných struktur hliníkové slitiny, modrými písmeny vzorky svařované CMT Twin metodou a červenými písmeny vzorky svařované metodou v pulsním režimu jedním drátem. U hliníkové slitiny byly pozorovány následující oblasti:

A – oblast svarového kovu,

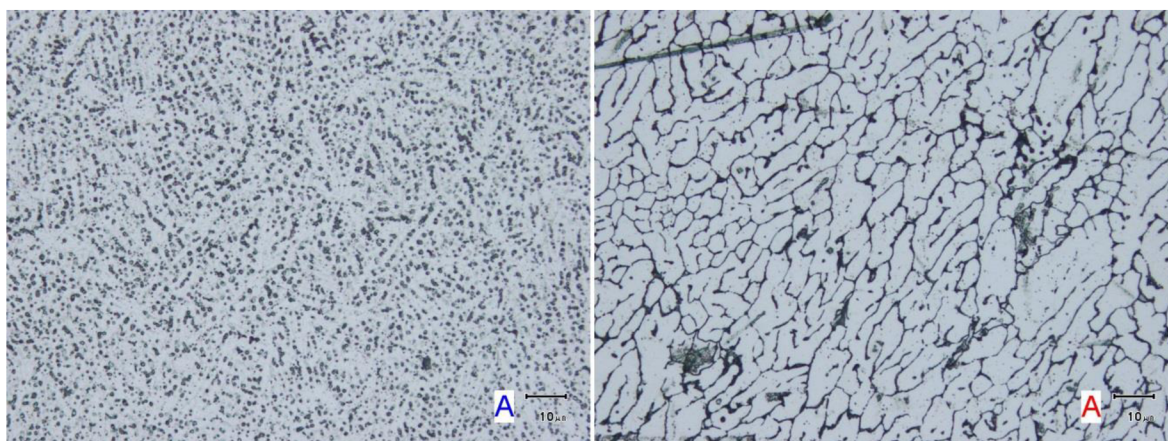
B – oblast přechodu ze svarového kovu do základního materiálu,

C – oblast základního materiálu.



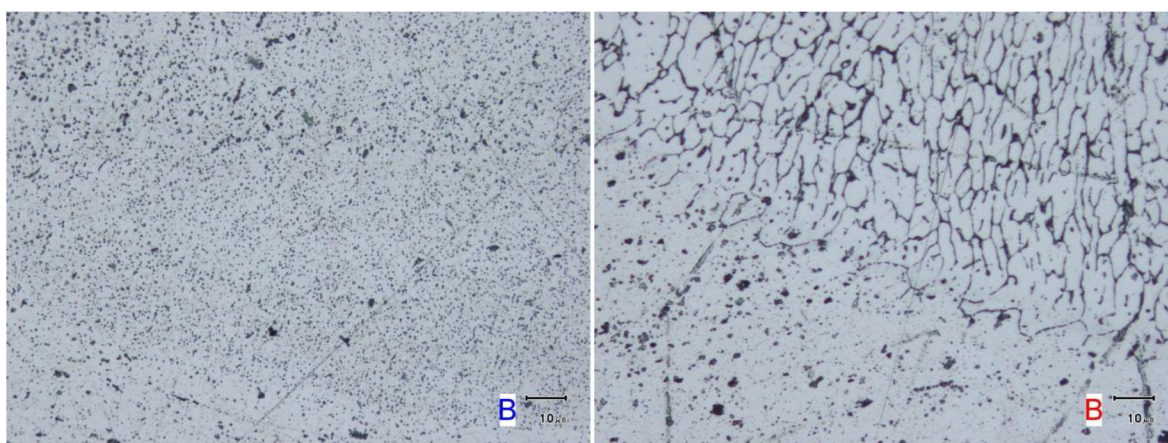
Obr. 42 Přehled oblastí struktur u slitiny AlMg (vlevo – CMT Twin, vpravo – impuls).

V oblasti svarového kovu u hliníkové slitiny (obr. 43) jsou patrné největší rozdíly mezi svařovacími metodami. U pulsního svařování je standardní charakter zrn, hranice zrn jsou ostré. Kdežto u CMT Twin jsou v objemu zrna precipitující částice vlivem rychlejšího chladnutí.

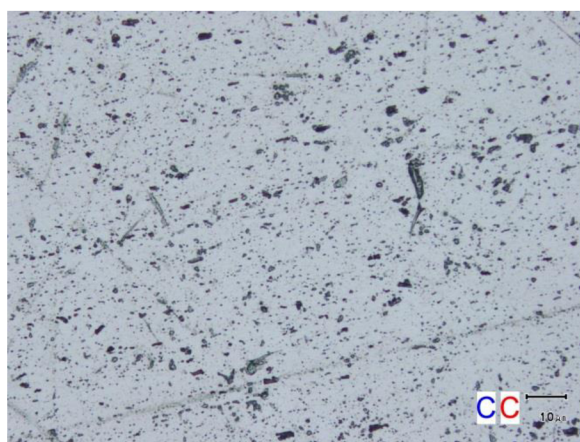


Obr. 43 Struktura svaru u slitiny AlMg.

U přechodu ze svaru do základního materiálu (obr. 44) u CMT Twin dochází k postupnému zjemnění precipitujících částic, u pulsu k úbytku ostrých hranic zrn.



Obr. 44 Struktura přechodu ze svaru do základního materiálu u slitiny AlMg.

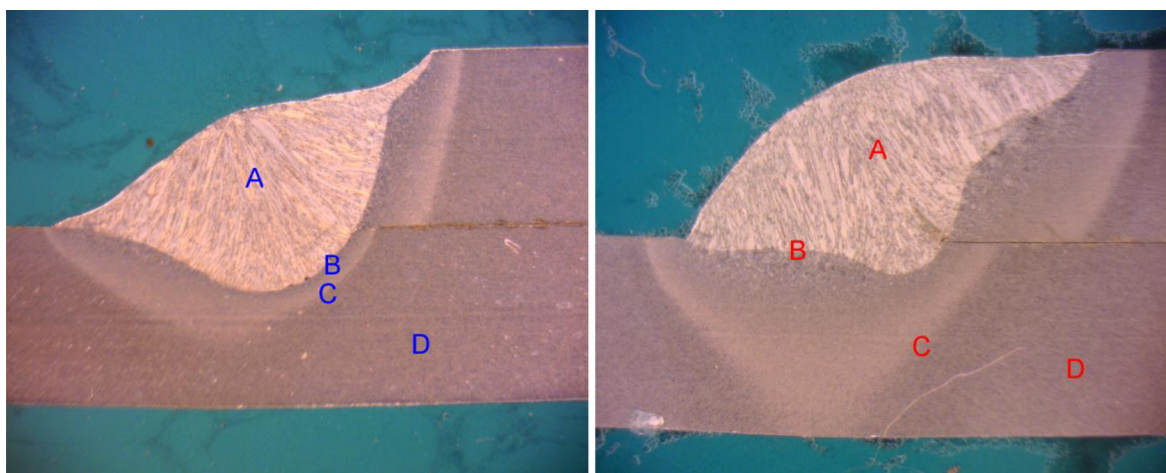


Obr. 45 Struktura základního materiálu u slitiny AlMg.

2.5.2 Nelegované oceli

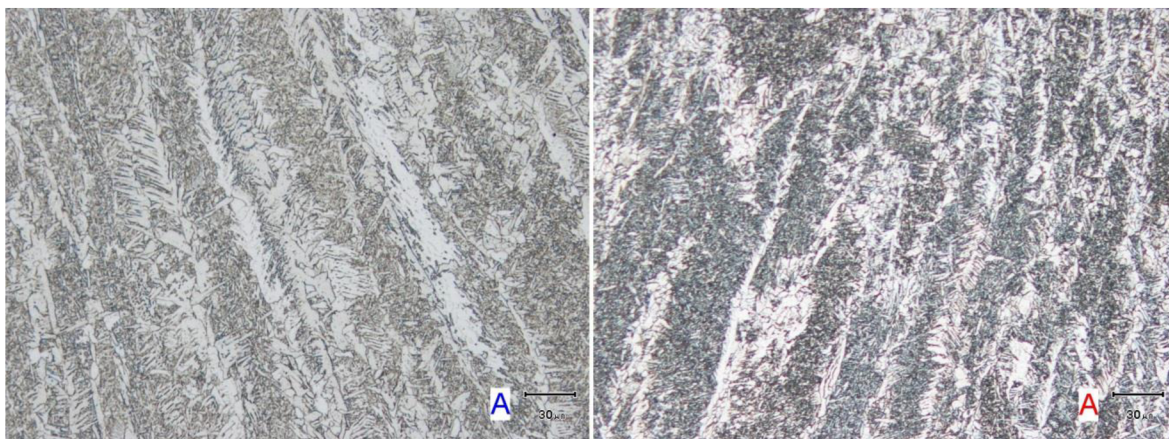
Na obr. 46 jsou znázorněny oblasti sledovaných struktur nelegované oceli, modrými písmeny vzorky svařované metodou CMT Twin, červenými písmeny vzorky svařované pulsní metodou. U nelegované oceli byla pozorována následující oblasti:

- A – oblast svarového kovu,
- B – oblast přechodu ze svarového kovu do TOO,
- C – oblast přechodu z TOO do základního materiálu,
- D – oblast základního materiálu.



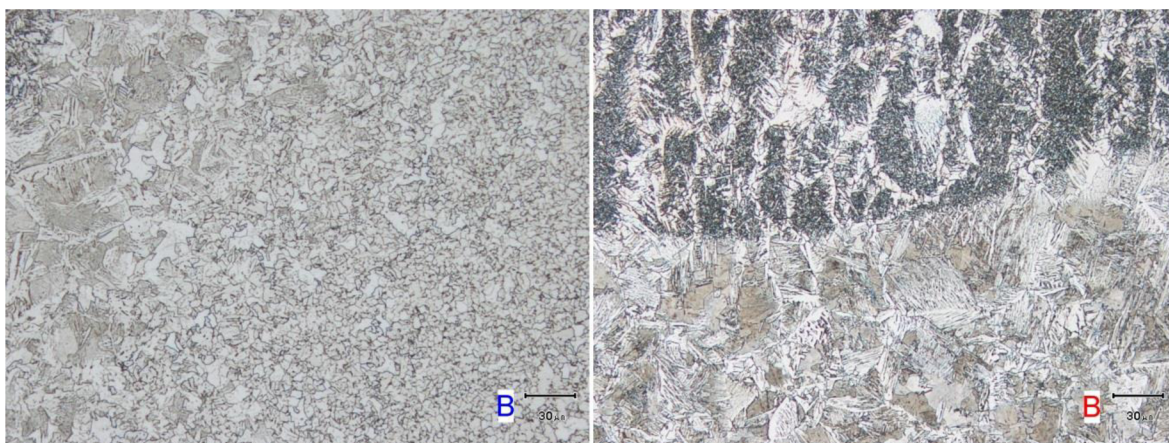
Obr. 46 Přehled oblastí struktur u nelegované oceli (vlevo – CMT Twin, vpravo – impuls).

Již z makrostruktury na obr. 46 je dobře vidět, že u vzorku svařovaného CMT Twin metodou je menší tepelně ovlivněná oblast než při klasickém svařování v pulsu. Dále je patrné že velikost TOO je u obou metod nestejněměrná. Velikost TOO na vrchním plechu je větší než na spodním plechu, kde je výrazný skok. Tato diference je způsobena tím, že teplo skrz vrchní plech je odváděno pouze v jednom směru, kdežto u spodního plechu ve třech směrech. Na spodním plechu v oblasti styku s horním plechem je výrazně menší TOO, protože horní plech klade, po určitou dobu než se nataví část materiálu, odpor proti šíření tepla od elektrody.

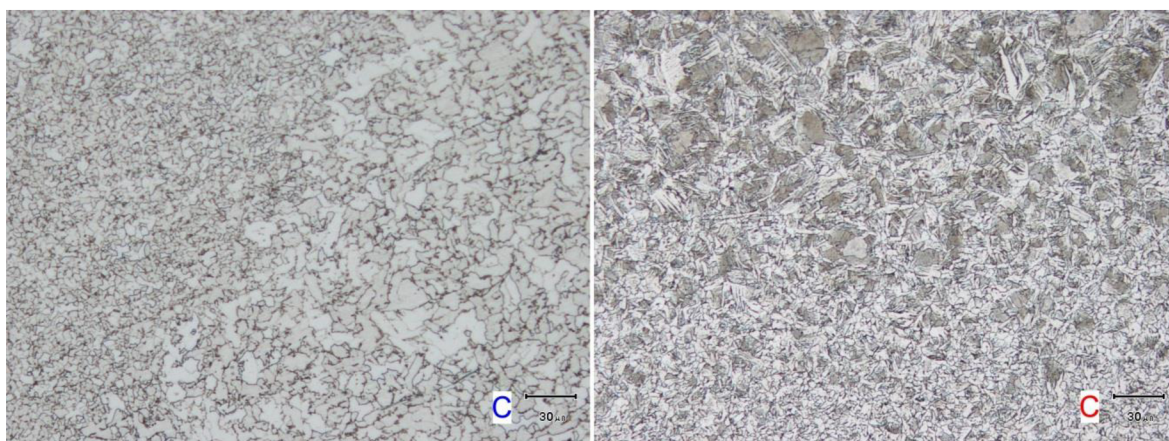


Obr. 47 Struktura svaru u nelegované oceli.

Z obr. 47 respektive obr. 48 je patrné, že u metody CMT Twin je velikost zrn ve SK respektive TOO menší než u pulsního svařování. Menší velikosti zrn jsou způsobené menším vneseným teplem do svarového kovu.

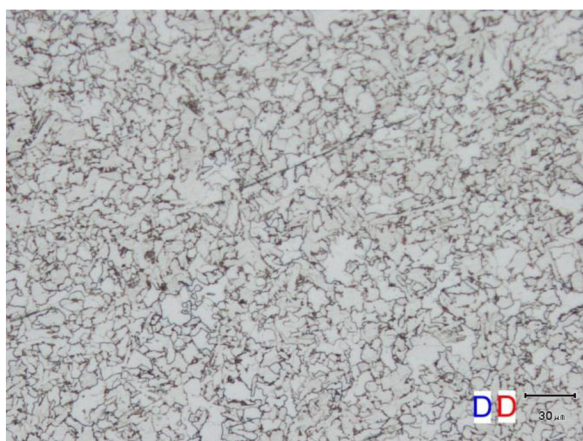


Obr. 48 Struktura přechodu ze svaru do TOO u nelegované oceli.



Obr. 49 Struktura přechodu z TOO do základního materiálu u nelegované oceli.

U CMT Twin na obr. 49 je patrné omezení hrubozrnné struktury.

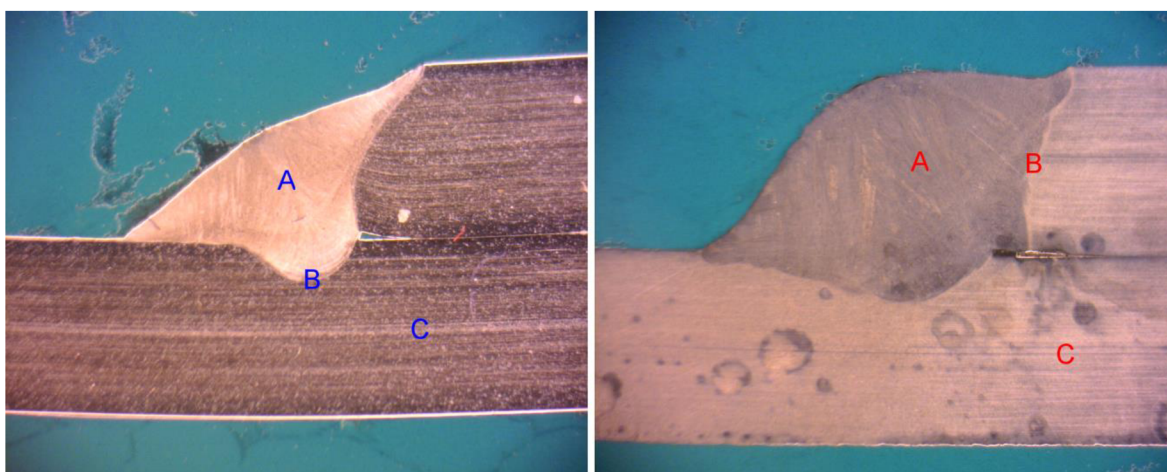


Obr. 50 Struktura základního materiálu u nelegované oceli.

2.5.3 Korozivzdorné oceli

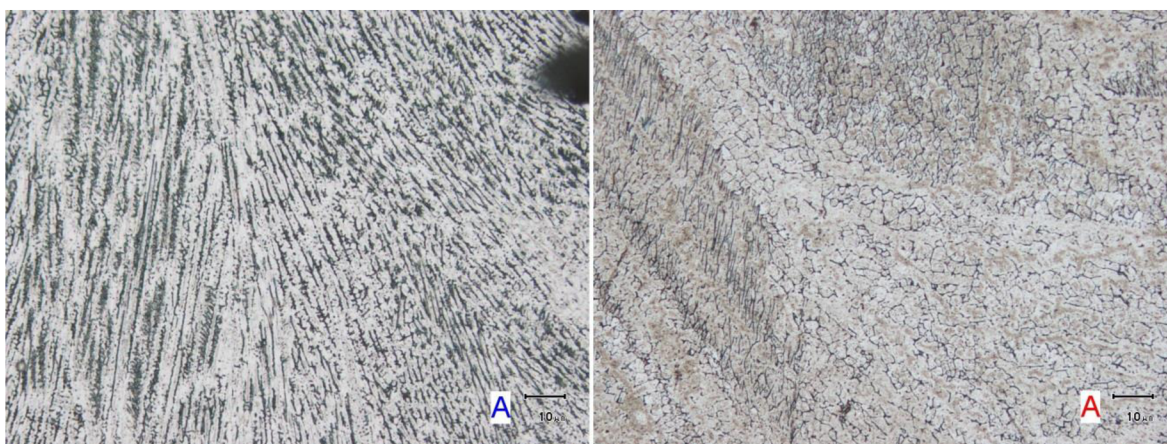
Na obr. 51 jsou znázorněny oblasti sledovaných struktur u korozivzdorné oceli, modrými písmeny vzorky svařované metodou CMT Twin, červenými písmeny vzorky svařované pulsní metodou. U korozivzdorné oceli byly sledovány následující oblasti:

- A – oblast svarového kovu,
- B – oblast přechodu ze svarového kovu do základního materiálu,
- C – oblast základního materiálu.

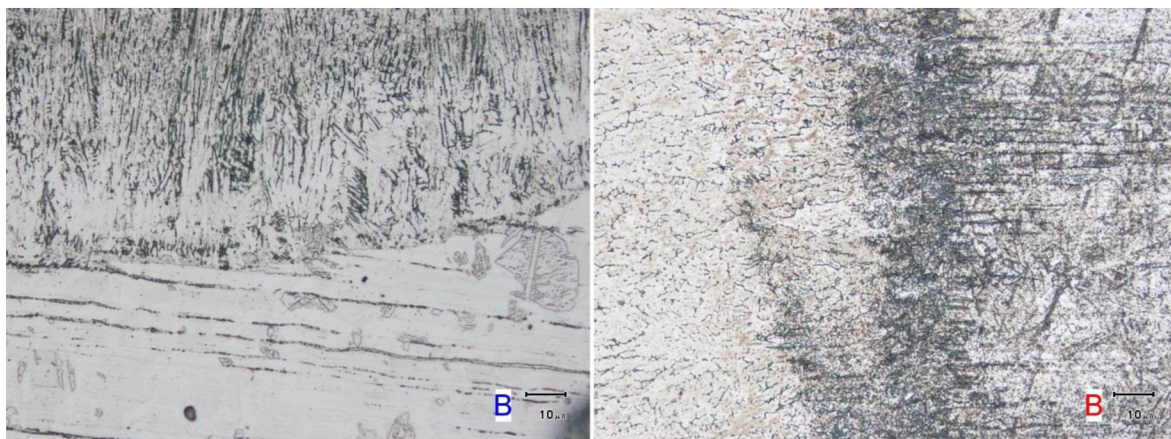


Obr. 51 Přehled oblastí struktur u slitiny CrNi (vlevo – CMT Twin, vpravo – impuls).

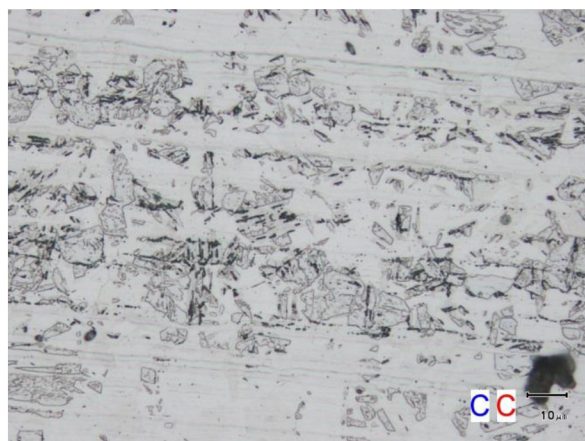
V oblasti svarového kovu u korozivzdorné oceli (obr. 52) jsou u CMT Twin metody jemnější dendrity než u klasického pulsního svařování.



Obr. 52 Struktura svaru u slitiny CrNi.



Obr. 53 Struktura přechodu ze svaru do základního materiálu u slitiny CrNi.



Obr. 54 Struktura základního materiálu u slitiny CrNi.

3 TECHNICKO – EKONOMICKÉ SROVNÁNÍ

Následné technicko – ekonomické srovnání nové metody svařování CMT Twin s klasickým pulsním svařováním bylo stanoveno pomocí nákladů potřebných na vytvoření 1 m svaru pro daný materiál. Uvedené ceny za přídatné materiály a svařovací plyny jsme brali pouze maloobchodní, velkoodběratelé jistě mohou mít nasmlouvané mnohem nižší ceny. Proto je potřeba brát výslednou cenu na metr svaru s tímto ohledem. Na výsledné srovnání výše ceny nemá vliv.

Výpočet nákladů na jeden metr svaru byl stanoven pomocí následujících rovnic pro všechny tři svařované materiály:

Objem návaru na 1 metru svaru byl spočten podle vztahu (4).

$$V_n = \frac{S_n}{1 \cdot 10^6} \quad (4)$$

kde: V_n [m³] - objem návaru,
 S_n [mm²] - plocha návaru (tab. 2.25).

Spotřeba přídatného materiálu na 1 metr svaru byla spočtena podle vztahu (5).

$$Sp_d = V_n \cdot \rho \quad (5)$$

kde: Sp_d [kg.m⁻¹] - spotřeba přídatného materiálu (drátu),
 ρ [kg.m⁻³] - hustota přídatného materiálu (drátu).

Náklady na přídatný materiál na 1 metr svaru byly spočteny podle vztahu (6).

$$N_m = Sp_d \cdot C_d \quad (6)$$

kde: N_m [Kč.m⁻¹] - náklady na přídatný materiál (drát),
 C_d [Kč.kg⁻¹] - cena přídatného materiálu (drátu).

Spotřeba plynu na 1 metr svaru byla spočtena podle vztahu (7).

$$Sp_{pl} = \frac{q_{pl}}{v_s} \quad (7)$$

kde: Sp_{pl} [l.m⁻¹] - spotřeba ochranného plynu,
 q_{pl} [l.min⁻¹] - průtok ochranného plynu,
 v_s [m.min⁻¹] - rychlost svařování.

Náklady na ochranný plyn na 1 metr svaru byly spočteny podle vztahu (8).

$$N_{pl} = \frac{Sp_{pl} \cdot C_{pl}}{1 \cdot 10^3} \quad (8)$$

kde: N_{pl} [Kč.m⁻¹] - náklady na ochranný plyn,
 C_{pl} [Kč.m⁻³] - cena ochranného plynu.

Čas svařování potřebný na 1 m svaru byl spočten podle vztahu (9).

$$t_s = \frac{1}{v_s} \quad (9)$$

kde: t_s [min.m⁻¹] - čas svařování na 1 metr svaru.

Pracovní náklady na 1 metr svaru byly spočteny podle vztahu (10).

$$N_{pr} = \frac{t_s \cdot N_h}{60} \quad (10)$$

kde: N_{pr} [Kč.m⁻¹] - pracovní náklady,
 N_h [Kč.hod⁻¹] - hodinové pracovní náklady.

Celkové výrobní náklady na 1 metr svaru byly spočteny podle vztahu (11).

$$N = N_m + N_{pl} + N_{pr} \quad (11)$$

kde: N [Kč.m⁻¹] - výrobní náklady.

3.1 Hliníková slitina

Při výpočtu vycházíme z následujících údajů:

hustota drátu AlMg5 $\rho = 2\,650 \text{ kg/m}^3$,

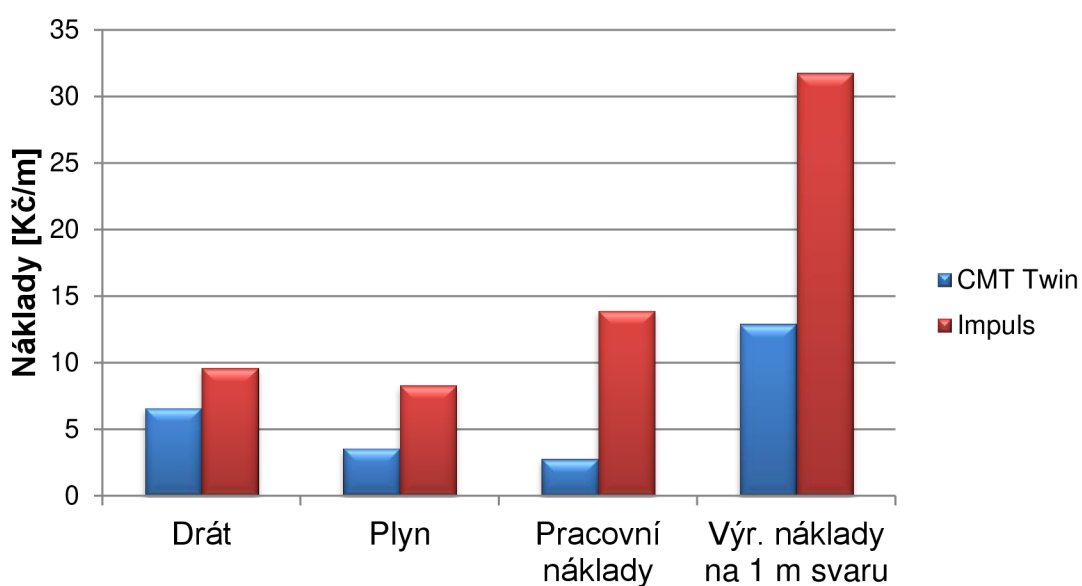
cena drátu AlMg5 $C_d = 2\,328 \text{ Kč} / 7 \text{ kg} = 332,57 \text{ Kč/kg}$,

cena plynu 100 % Ar $C_{pl} = 3\,800 \text{ Kč} / 10,7 \text{ m}^3 = 355,14 \text{ Kč/m}^3$,

pracovní náklady na hodinu práce $N_h = 500 \text{ Kč/hod}$.

Tab. 3.1 Náklady na 1 m svaru pro svařování hliníkové slitiny.

Položka	CMT Twin	Impuls	Symbol / jednotka
Objem návaru	0,00000747	0,0000109	$V_n \text{ [m}^3\text{]}$
Spotřeba drátu	0,0197955	0,028885	$Sp_d \text{ [kg/m]}$
Náklady na drát	6,5834	9,6063	$N_m \text{ [Kč/m]}$
Průtok plynu	30	14	$q_{pl} \text{ [l/min]}$
Rychlost svařování	3	0,6	$v_s \text{ [m/min]}$
Spotřeba plynu	10	23,3333	$Sp_{pl} \text{ [l/m]}$
Náklady na plyn	3,5514	8,2866	$N_{pl} \text{ [Kč/m]}$
Čas svařování	0,3333	1,6667	$t_s \text{ [min/m]}$
Pracovní náklady	2,7778	13,8889	$N_{pr} \text{ [Kč/m]}$
Výr. náklady na 1 m svaru	12,9126	31,7818	$N \text{ [Kč/m]}$



Obr. 55 Grafické porovnání nákladů pro svařování hliníkové slitiny.

3.2 Nelegovaná ocel

Při výpočtu vycházíme z následujících údajů:

hustota drátu G3Si1 $\rho = 7\,850 \text{ kg/m}^3$,

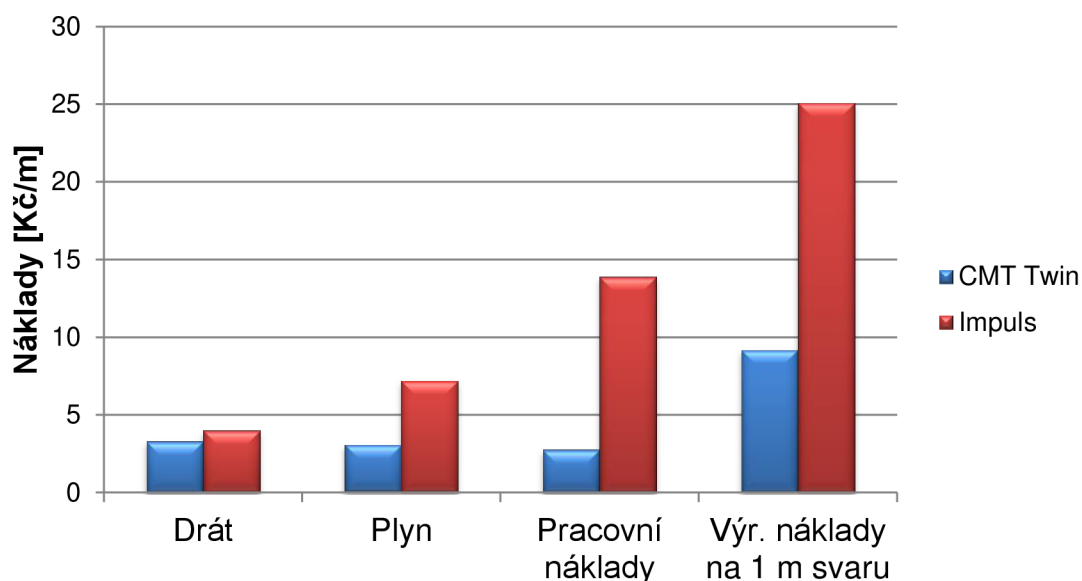
cena drátu G3Si1 $C_d = 1\,038 \text{ Kč} / 18 \text{ kg} = 57,67 \text{ Kč/kg}$,

cena plynu Ar + 18 % CO₂ $C_{pl} = 3\,800 \text{ Kč} / 12,3 \text{ m}^3 = 308,94 \text{ Kč/m}^3$,

pracovní náklady na hodinu práce $N_h = 500 \text{ Kč/hod}$.

Tab. 3.2 Náklady na 1 m svaru pro svařování nelegované oceli.

Položka	CMT Twin	Impuls	Symbol / jednotka
Objem návaru	0,00000731	0,00000883	$V_n \text{ [m}^3\text{]}$
Spotřeba drátu	0,0573835	0,0693155	$Sp_d \text{ [kg/m]}$
Náklady na drát	3,3091	3,9972	$N_m \text{ [Kč/m]}$
Průtok plynu	30	14	$q_{pl} \text{ [l/min]}$
Rychlost svařování	3	0,6	$v_s \text{ [m/min]}$
Spotřeba plynu	10	23,3333	$Sp_{pl} \text{ [l/m]}$
Náklady na plyn	3,0894	7,2087	$N_{pl} \text{ [Kč/m]}$
Čas svařování	0,3333	1,6667	$t_s \text{ [min/m]}$
Pracovní náklady	2,7778	13,8889	$N_{pr} \text{ [Kč/m]}$
Výr. náklady na 1 m svaru	9,1763	25,0948	$N \text{ [Kč/m]}$



Obr. 56 Grafické porovnání nákladů pro svařování nelegované oceli.

3.3 Korozivzdorná ocel

Při výpočtu vycházíme z následujících údajů:

hustota drátu G 18 8 Mn $\rho = 7\,900 \text{ kg/m}^3$,

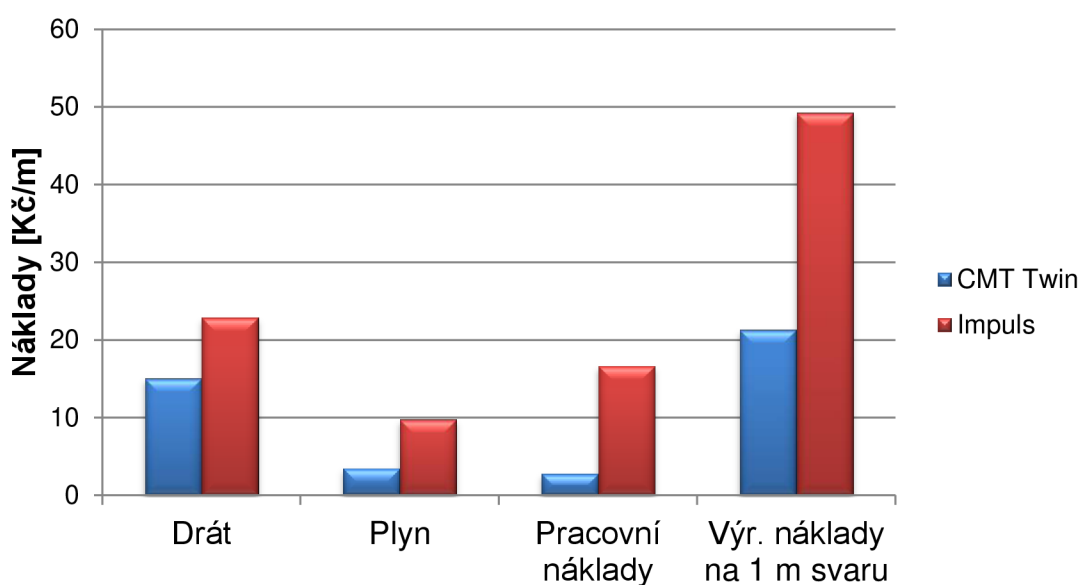
cena drátu G 18 8 Mn $C_d = 5\,110 \text{ Kč} / 15 \text{ kg} = 340,67 \text{ Kč/kg}$,

cena plynu Ar + 2,5 % CO₂ $C_{pl} = 3\,800 \text{ Kč} / 10,9 \text{ m}^3 = 348,62 \text{ Kč/m}^3$,

pracovní náklady na hodinu práce $N_h = 500 \text{ Kč/hod}$.

Tab. 3.3 Náklady na 1 m svaru pro svařování korozivzdorné oceli.

Položka	CMT Twin	Impuls	Symbol / jednotka
Objem návaru	0,0000056	0,0000085	$V_n \text{ [m}^3\text{]}$
Spotřeba drátu	0,04424	0,06715	$Sp_d \text{ [kg/m]}$
Náklady na drát	15,0711	22,8758	$N_m \text{ [Kč/m]}$
Průtok plynu	30	14	$q_{pl} \text{ [l/min]}$
Rychlost svařování	3	0,5	$v_s \text{ [m/min]}$
Spotřeba plynu	10	28	$Sp_{pl} \text{ [l/m]}$
Náklady na plyn	3,4862	9,7615	$N_{pl} \text{ [Kč/m]}$
Čas svařování	0,3333	2	$t_s \text{ [min/m]}$
Pracovní náklady	2,7778	16,6667	$N_{pr} \text{ [Kč/m]}$
Výr. náklady na 1 m svaru	21,3351	49,3039	$N \text{ [Kč/m]}$



Obr. 57 Grafické porovnání nákladů pro svařování korozivzdorné oceli.

4 DISKUZE VÝSLEDKŮ

Při porovnání vneseného tepla jsme dokázali, že u CMT Twin při svařování hliníkové slitiny bylo vneseno o 41,5 %, u nelegované oceli o 21,8 % a u korozivzdorné oceli o 34,6 % méně vneseného tepla oproti konvenčnímu svařování jednou elektrodou. Jak je vidět největší úbytek vneseného tepla byl u hliníkové slitiny následované korozivzdornou ocelí. Takto výrazné poklesy vneseného tepla jsou především dány naprosto rozdílnými svařovacími parametry. Především výrazně vyšším odtavovacím výkonem při vysoké svařovací rychlosti, kterého bylo dosaženo použitím vysoce výkonného zařízení CMT Twin. U CMT Twin jsme svařovali rychlostí 50 mm/s, což je více než pětinasobná rychlost oproti svařování „jednodrátem“. Takto vysoká rychlost při konvenčním způsobu je takřka nemyslitelná.

Dále jsme provedli porovnání struktur pro jednotlivé materiály. U hliníkové slitiny po svařování v pulzním režimu nám ve svaru vznikla hrubozrnná struktura s ostrými hranicemi zrn. Hrubozrnná struktura snižuje pevnost a plasticitu materiálu. Po svařování CMT Twin nám ve svaru vznikla struktura s precipitujícími částicemi bez ostrých hranic, jež mají lepší mechanické vlastnosti. U nelegované oceli jsme užitím CMT Twin získali výrazně menší tepelně ovlivněnou oblast. Dále jsme zde pozorovali strukturu s menšími velikosti zrn v důsledku menšího vneseného tepla, která bude mít lepší mechanické vlastnosti. U korozivzdorné oceli po svaření metodou CMT Twin se vytvořila struktura s jemnějšími dendrity oproti konvenčnímu svařování. Výskyt hrubých dendritů ve struktuře je nebezpečný. Nutno však poznamenat, že u obou metod jsme svařovali přidavným materiálem s rozdílným chemickým složením. U hliníkové slitiny jsme u CMT Twin svařovali drátem AlMg5, kdežto u konvenčního svařování drátem AlSi5. U nelegované oceli jsme u CMT Twin svařovali drátem G3Si1, kdežto u konvenčního svařování drátem G4Si1. U korozivzdorné oceli jsme u CMT Twin měli drát G 18 8 Mn, kdežto u konvenčního svařování jsme měli drát G 19 9 NbSi. Rozdílné chemické složení drátu výrazně ovlivňuje výslednou strukturu svaru. Tudíž výsledné mikrostruktury je třeba brát s tímto ohledem a nelze je detailněji srovnávat.

V 3. kapitole jsme zrealizovali technicko – ekonomické srovnání. Ze získaných dat jsme provedli výpočet nákladů na 1 metr svaru. Výrazná úspora je zřejmá u spotřeby ochranného plynu a také pracovních nákladů. Což je dáno obrovskou úsporou času svařování při více než pětinasobné rychlosti svařování. Průtok plynu u CMT Twin je sice více než dvojnásobný, ovšem při dané svařovací rychlosti je mnohem více zužitkován. To samé platí u pracovních nákladů na provoz svařovacího zařízení. Provoz CMT Twin je hospodárnější zásluhou úspory času.

ZÁVĚR

Diplomová práce v úvodní části pojednává o problematice svařování MIG/MAG ve vztahu k vlivům na proces svařování. Mezi hlavní vlivy, které svařovací proces ovlivňují, patří zejména ochranné plyny, přídatný materiál a svařovací parametry. Podle nastavovaných parametrů svařovacího proudu a napětí rozlišujeme základní přenosy kovu obloukem (zkratový, sprchový, pulzní aj.). V návaznosti na základní přenosy oblouku je v práci proveden výčet několika moderních oblouků, jež výrobci vyvíjejí modifikací základních oblouků užitím moderních invertorových zdrojů. Mezi ně patří i přenos oblouku CMT od firmy Fronius, který vnáší do materiálu méně tepla. CMT byl především vyvíjen pro svařování pozinkovaných plechů s hliníkovými. Tuto CMT technologii firma v poslední době zkombinovala se svou tandemovou technikou Time Twin a pojmenovala ji CMT Twin. Metoda CMT Twin má dvě vzájemně izolované elektrody. Přední vedoucí elektroda pracuje obvykle v pulzním režimu a zajišťuje vysoký závar. Vlečná elektroda vyplňuje svár s minimálním přínosem tepla. Výsledkem tohoto uspořádání CMT Twin je svařování:

- za sníženého vneseného tepla do materiálu,
- bez vzájemného ovlivňování obou oblouků,
- s možností nezávislého nastavení svařovacích parametrů obou elektrod,
- za zvýšené svařovací rychlosti a odtavného výkonu.

V experimentální části byly provedeny svařové vzorky ze tří různých materiálů (hliníkové slitiny, nelegované oceli, korozivzdorné oceli). Vzorky z plechových dílců byly svařeny prostřednictvím metody CMT Twin a klasickým svařováním v pulzním režimu. Z naměřených parametrů jsme provedli výpočet vnesených tepel do materiálu. Potvrdilo se, že metoda CMT Twin vnáší do svařenců výrazně méně tepla, až o více jak 40 %, jak bylo spočteno pro hliníkovou slitinu. Také bylo zjištěno, že ze zdroje Trail CMT je do materiálu vneseno pouze okolo 20 % z celkového tepla. Dále byla provedena analýza svarů metalografickým pozorováním. Z pozorování byla pro nás nejdůležitější zjištění, že u metody CMT Twin jsme získali výrazně menší tepelně ovlivněnou oblast. Na závěr jsme provedli výpočet nákladů na 1 metr svaru. Z výsledků je zřejmé, že úspora nákladů je u CMT Twin více než dvojnásobná. Nejvíce se snížili náklady na ochranný plyn a pracovní náklady. To vše díky vysokému výkonu odtavení a více než pětinasobné svařovací rychlosti oproti klasickému svařování. Úspora taktéž spočívá v nákladech na dokončovací práce, jelikož svařovací proces je velmi čistý s minimálním rozstříkem a následnými usazeninami na povrchu svařence a také s menšími deformacemi po svaření.

Jedná se tudíž o velmi hospodárny proces s minimem vneseného tepla, který najde své uplatnění především v oblastech robotizované výroby, jako např.:

- automobilový průmysl,
- výroba lodí a pracovních strojů,
- stavba elektráren.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

1. KOUKAL, Jaroslav. Historie tavného svařování kovů a předpokládaný vývoj svařování a příbuzných procesů. *Svět svaru*. 2011, roč. 15, č. 2, s. 10-13.
2. FRONIUS Česká republika s.r.o. [online]. © 2006-2013 [cit. 2013-03-21]. Dostupné z: http://www.fronius.com/cps/rde/xchg/fronius_ceska_republika
3. MOHYLA, Petr a Jan ZEMÁNEK. Svařování MIG/MAG ve zkratce. *Svět svaru*. 2006, roč. 5, č. 1, s. 16-17.
4. ONDREJČEK, Peter. *Zváranie ocelí v ochrane plynov taviacou sa elektródou: Fyzika, Metalurgia, Technológia, Automatizácia*. 1. vyd. Bratislava: Eterna press, 2003, 205 s. ISBN 8096835955.
5. JISKRA, Milan. *Životnost nové kontaktní špičky*. Brno, 2011. 47 s. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství. Vedoucí práce Ing. Jaroslav Kubiček.
6. KOLEKTIV AUTORŮ. *Technologie svařování a zařízení*. 1. vyd. Ostrava: Zeross, 2001, 395 s. ISBN 8085771810.
7. ESAB Czech Republic [online]. © 2013 [cit. 2013-03-21]. Dostupné z: <http://www.esab.cz/>
8. Product Catalog - EASYPARTS. *Hong Kong Easyweld Limited* [online]. 2013 [cit. 2013-03-21]. Dostupné z: <http://www.hkweld.com/sdp/170755/4/pl-1009244/0-505925/EASYPARTS.html>
9. BARTÁK, Jiří, Rudolf KOVAŘÍK, Václav PILOUS a KOLEKTIV. *Učební texty pro evropské svářečské specialisty, praktiky a inspektory*. 1. vyd. Ostrava: Zeross, 2002, 418 s. ISBN 8085771977.
10. ABICOR BINZEL [online]. © 2013 [cit. 2013-03-21]. Dostupné z: <http://www.binzel-abicor.com/CZ/cze/>
11. ROHAN, Pavel a Zdeněk HUDEC. Aplikace ochranných atmosfér. *Svět svaru*. 2009, roč. 8, č. 2, s. 26-28.
12. Nové barevné značení tlakových lahví. *Linde Gas* [online]. 2007 [cit. 2013-03-24]. Dostupné z: http://www.linde-gas.cz/internet.lg.lg.cze/cs/images/BarevneZnaceniTlakLahvi200779_16200.pdf
13. *Katalog přídavných materiálů pro svařování*. 2. zcela přeprac. vyd. Vamberk: ESAB Vamberk, 2002, 478 s.

14. Obloukové technologie v ochranných atmosférách. In: *Technologie I.* [online]. Liberec: TU v Liberci, 2010 [cit. 2013-03-21]. Dostupné z: http://www.ksp.tul.cz/cz/ksm/obsah/vyuka/materialy/cvi%C4%8Den%C3%AD11_prez_etace.pdf
15. AKSELSEN, Odd Magne. NTNU. *Joining technology: Compendium Chapters*. Trondheim, [2013].
16. FELIX, Michal. FRONIUS ČESKÁ REPUBLIKA. *Cold Metal Transfer (CMT)*. Jihlava, [2007].
17. CMT překonává zavedené teorie. *Weld+vision*. 2005, č. 2, s. 14-15.
18. Horký a současně studený svařovací proces dělá kariéru. *Weld+vision*. 2008, č. 21, s. 10-11.
19. Úspora v nejvyšší třídě. *Weld+vision*. 2006, č. 1, s. 16-17.
20. MILLINGER, Andreas. FRONIUS INTERNATIONAL. *The CMT process*. Wels, [2009].
21. Více možností s postupem CMT Advanced. *Weld+vision*. 2009, č. 23, s. 10-11.
22. MEDUNA, Martin. FRONIUS ČESKÁ REPUBLIKA. *Nejnovější trendy ve svařovací technice*. Jihlava, [2009].
23. CMT Twin pro rychlé svařování při optimálním přínosu energie. In: *Fronius International GmbH* [online]. 2012 [cit. 2013-03-21]. Dostupné z: http://www.fronius.com/cps/rde/xchg/fronius_international/hs.xml/83_20054_ENG_HTM.L.htm?inc=94176.htm
24. CMT TWIN: NEJRYCHLEJŠÍ ZPŮSOB SVAŘOVÁNÍ. *Weld+vision*. 2012, č. 27, s. 10-11.
25. FRONIUS INTERNATIONAL. *CMT Twin Process description and commissioning*. Wels, 2012.
26. FRONIUS INTERNATIONAL. *THE BEST OF BOTH TECHNOLOGIES: CMT TWIN*. Wels, 2012.
27. FÜRbacher, Ivan, Karel MACEK a Josef STEIDL. *Lexikon technických materiálů se zahraničními ekvivalenty: kovy, plasty, keramika, kompozity*. Praha: Dashöfer, 2001. ISSN 80-86229-02-5. Aktualizováno 4x ročně.

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

Zkratka	Jednotka	Popis
CMT	[-]	Cold Metal Transfer – svařování se sníženým vneseným teplem do materiálu
HD	[-]	Heavy Duty – svařovací režim s vyšším odtavným výkonem
Lead Puls	[-]	vedoucí elektroda s pulzním přenosem
MAG	[-]	Metal Activ Gas – obloukové svařování tavící se kovovou elektrodou v aktivním plynu
MIG	[-]	Metal Inert Gas – obloukové svařování tavící se kovovou elektrodou v inertním plynu
STT	[-]	Surface Tension Transfer – svařování s přenosem kovu řízeným povrchovým napětím
TIG	[-]	Tungsten Inert Gas – obloukové svařování netavící se wolframovou elektrodou v inertním plynu
TOO	[-]	tepelně ovlivněná oblast
Trail CMT	[-]	vlečná elektroda s přenosem CMT
WPS	[-]	Welding Procedure Specification – specifikace postupu svařování

Symbol	Jednotka	Popis
C_d	[Kč.kg ⁻¹]	cena přídavného materiálu
C_{pl}	[Kč.m ⁻³]	cena ochranného plynu
I	[A]	svařovací proud
N	[Kč.m ⁻¹]	výrobní náklady
N_h	[Kč.hod ⁻¹]	hodinové pracovní náklady
N_m	[Kč.m ⁻¹]	náklady na přídavný materiál
N_{pl}	[Kč.m ⁻¹]	náklady na ochranný plyn
N_{pr}	[Kč.m ⁻¹]	pracovní náklady
Q	[kJ.mm ⁻¹]	vnesené teplo
R_m	[MPa]	mez pevnosti
R_{p0,2}	[MPa]	mez kluzu
S_n	[mm ²]	plocha návaru
Sp_d	[kg.m ⁻¹]	spotřeba přídavného materiálu

S_{pl}	$[l.m^{-1}]$	spotřeba ochranného plynu
U	$[U]$	svařovací napětí
V_n	$[m^3]$	objem návaru
q_{pl}	$[l.min^{-1}]$	průtok ochranného plynu
t_s	$[min.m^{-1}]$	čas svařování
v_d	$[m.min^{-1}]$	podávací rychlost drátu
v_s	$[m.min^{-1}]$	rychlost svařování
ρ	$[kg.m^{-3}]$	hustota
η	$[-]$	účinnost přenosu tepla obloukem
λ_t	$[W.m^{-1}.K^{-1}]$	tepelná vodivost

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1 Ukázka CMT Twin zařízení.	11
Obr. 2 Základní schéma svařování metodou MIG/MAG.	12
Obr. 3 Svařovací zdroj (vlevo - usměrňovač, vpravo - invertor).	13
Obr. 4 Podavače drátu (vlevo - dvoukladkový, vpravo - čtyřkladkový).	14
Obr. 5 Svařovací hořák s vodním chlazením.	15
Obr. 6 Další druhy svařovacích hořáků.	15
Obr. 7 Barevné značení vybraných průmyslových plynů.	17
Obr. 8 Varianty balení svařovacího drátu.	18
Obr. 9 Oblasti přenosu kovu v oblouku.	19
Obr. 10 Pulsní charakteristika oblouku.	20
Obr. 11 CMT oblouk společně se základními typy oblouků.	21
Obr. 12 Pobočka firmy Fronius v Praze.	22
Obr. 13 Princip procesu CMT – Cold Metal Transfer.	23
Obr. 14 Podavač drátu se servomotorem (vlevo) a pufrovací zásobník drátu (vpravo).	23
Obr. 15 Průběh svařovacích parametrů u zkratového oblouku.	24
Obr. 16 Průběh svařovacích parametrů u CMT oblouku.	25
Obr. 17 Spojení oceli s hliníkem.	26
Obr. 18 Kombinace CMT-procesu s impulzním obloukem.	27
Obr. 19 Vliv polarizace na délku oblouku (vlevo) a odtavný výkon (vpravo).	27
Obr. 20 Principiální postup CMT Pin.	28
Obr. 21 Ukázka použití CMT Pin.	28
Obr. 22 CMT Twin - tavná lázeň.	29
Obr. 23 Synchronizovaný start CMT Twin.	31
Obr. 24 Hořák Twin Compact Pro.	32
Obr. 25 Konfigurace zařízení CMT Twin.	33
Obr. 26 Svařovací robot vybavený CMT Twin zařízením v Praze.	34
Obr. 27 Plechy upnuté v přípravku.	35
Obr. 28 Grafický výstup parametrů zdroje Lead Puls u svaru: 4.AIMg.	37
Obr. 29 Grafický výstup parametrů zdroje Trail CMT u svaru: 4.AIMg.	38
Obr. 30 Grafický výstup parametrů zdroje Lead Puls u svaru: 4.ocel.	39
Obr. 31 Grafický výstup parametrů zdroje Trail CMT u svaru: 4.ocel.	40
Obr. 32 Grafický výstup parametrů zdroje Lead Puls u svaru: 4.CrNi.	41
Obr. 33 Grafický výstup parametrů zdroje Trail CMT u svaru: 4.CrNi.	42
Obr. 34 Svařovací poloautomat MIG/MAG s přímočarým pojezdem.	45
Obr. 35 Plechy upnuté v přípravku.	45
Obr. 36 Vnesené teplo při svařování hliníkové slitiny.	49
Obr. 37 Vnesené teplo při svařování nelegované oceli.	49
Obr. 38 Vnesené teplo při svařování korozivzdorné oceli.	50
Obr. 39 Průřez hliníkové slitiny (vlevo – CMT Twin, vpravo – impuls).	50
Obr. 40 Průřez nelegované oceli (vlevo – CMT Twin, vpravo – impuls).	51
Obr. 41 Průřez korozivzdorné oceli (vlevo – CMT Twin, vpravo – impuls).	51
Obr. 42 Přehled oblastí struktur u slitiny AIMg (vlevo – CMT Twin, vpravo – impuls).	52
Obr. 43 Struktura svaru u slitiny AIMg.	53
Obr. 44 Struktura přechodu ze svaru do základního materiálu u slitiny AIMg.	53
Obr. 45 Struktura základního materiálu u slitiny AIMg.	53

Obr. 46 Přehled oblastí struktur u nelegované oceli (vlevo – CMT Twin, vpravo – impuls).	54
Obr. 47 Struktura svaru u nelegované oceli.	55
Obr. 48 Struktura přechodu ze svaru do TOO u nelegované oceli.	55
Obr. 49 Struktura přechodu z TOO do základního materiálu u nelegované oceli.	56
Obr. 50 Struktura základního materiálu u nelegované oceli.	56
Obr. 51 Přehled oblastí struktur u slitiny CrNi (vlevo – CMT Twin, vpravo – impuls).	57
Obr. 52 Struktura svaru u slitiny CrNi.	57
Obr. 53 Struktura přechodu ze svaru do základního materiálu u slitiny CrNi.	58
Obr. 54 Struktura základního materiálu u slitiny CrNi.	58
Obr. 55 Grafické porovnání nákladů pro svařování hliníkové slitiny.	61
Obr. 56 Grafické porovnání nákladů pro svařování nelegované oceli.	62
Obr. 57 Grafické porovnání nákladů pro svařování korozivzdorné oceli.	63

SEZNAM TABULEK

Tab. 1.1 Příklady některých modifikovaných procesů.	20
Tab. 1.2 Popis a vlastnosti procesů při jejich kombinaci.....	30
Tab. 1.3 Varianty režimů CMT Twin.	31
Tab. 1.4 Prvky CMT Twin zařízení.....	33
Tab. 2.1 Základní údaje slitiny hliníku AlMg3 (42 4413 dle ČSN).	35
Tab. 2.2 Základní údaje nelegované oceli S235JRG1 (11 373 dle ČSN).	36
Tab. 2.3 Základní údaje korozivzdorné oceli X5CrNi18-10 (17 240 dle ČSN).	36
Tab. 2.4 Svařovací podmínky při svařování hliníkové slitiny.....	37
Tab. 2.5 Skutečné parametry zdroje Lead Puls při svařování hliníkové slitiny.....	37
Tab. 2.6 Skutečné parametry zdroje Trail CMT při svařování hliníkové slitiny.	38
Tab. 2.7 Svařovací podmínky při svařování nelegované oceli.....	39
Tab. 2.8 Skutečné parametry zdroje Lead Puls při svařování nelegované oceli. ..	39
Tab. 2.9 Skutečné parametry zdroje Trail CMT při svařování nelegované oceli. ..	40
Tab. 2.10 Svařovací podmínky při svařování korozivzdorné oceli	41
Tab. 2.11 Skutečné parametry zdroje Lead Puls při svařování korozivzdorné oceli.	41
Tab. 2.12 Skutečné parametry zdroje Trail CMT při svařování korozivzdorné oceli.	42
Tab. 2.13 Hodnoty vneseného tepla při svařování hliníkové slitiny.	43
Tab. 2.14 Hodnoty vneseného tepla při svařování nelegované oceli.	43
Tab. 2.15 Hodnoty vneseného tepla při svařování korozivzdorné oceli.	43
Tab. 2.16 Svařovací podmínky při svařování hliníkové slitiny.....	46
Tab. 2.17 Skutečné parametry při svařování hliníkové slitiny.	46
Tab. 2.18 Svařovací podmínky při svařování nelegované oceli	46
Tab. 2.19 Skutečné parametry při svařování nelegované oceli.	46
Tab. 2.20 Svařovací podmínky při svařování korozivzdorné oceli	47
Tab. 2.21 Skutečné parametry při svařování korozivzdorné oceli.....	47
Tab. 2.22 Hodnoty vneseného tepla při svařování hliníkové slitiny.....	47
Tab. 2.23 Hodnoty vneseného tepla při svařování nelegované oceli.	48
Tab. 2.24 Hodnoty vneseného tepla při svařování korozivzdorné oceli.	48
Tab. 2.25 Průřezy svarových housenek.....	51
Tab. 3.1 Náklady na 1 m svaru pro svařování hliníkové slitiny.	61
Tab. 3.2 Náklady na 1 m svaru pro svařování nelegované oceli.....	62
Tab. 3.3 Náklady na 1 m svaru pro svařování korozivzdorné oceli.	63