



ČESKÉ
VYSOKÉ
UČENÍ
TECHNICKÉ
V PRAZE

FAKULTA
STROJNÍ



Vysokorychlostní TIG Svařování austenitické oceli metodou TIG

Vypracoval: Bc. Ondřej Slabý

Vedoucí práce: Ing. Karel Kovanda, Ph.D

Dne: 10.4.2016

1. Úvod

Cílem této experimentální práce je vyzkoušet svařování tenkých polotovarů vysokou rychlostí automatizovanou TIG technologií. Pořizovací náklady plazmových svařovacích zdrojů jsou v porovnání s technologií TIG několika násobně vyšší, proto je zde zkoumána možnost snížení nákladů a zvýšení produktivity běžně dostupnou metodou TIG. Dílčími cíli bylo navržení přípravku pro svařování, sekundární ochranu kořene a líce svaru (tzv. vlečná ochrana), zvýšení rychlosti svařování vycházející ze stávajících postupů s využitím směsných plynů.

2. Teoretický rozbor

2.1. Austenitické oceli

Tento druh ocelí je specifický tím, že jeho struktura je tvořena z převážné části austenitem (fáze γ), doplněným z části také δ feritem. Aby bylo dosaženo austenitické struktury oceli, musí ocel obsahovat správný poměr austenitotvorných a feritotvorných prvků, to umožňuje oceli udržet si austenitickou strukturu při normálních, zvýšených i záporných teplotách.

Austenitické oceli mají dobrou tažnost, houževnatost a jsou dobře svařitelné, což zajišťuje dobrou tvařitelnost a široké využití ve všech průmyslových odvětvích (chemický, potravinářský, farmaceutický a energetický průmysl).

Přidáním různých prvků lze dosáhnout zlepšení, nebo upravení mechanických vlastností. Přidáním chromu, molybdenu, křemíku, nebo niklu dosahujeme zlepšení korozivzdornosti, přidávkem titanu a niobu zlepšujeme odolnost proti mezikrystalické korozi, zvýšením obsahu dusíku zlepšíme mechanické vlastnosti, případně přidáním síry zlepšíme obrobiteľnost.

2.2. Ocel 1.4301

Jedná se o základní druh austenitické korozivzdorné oceli s obsahem chromu mezi 17 a 19,5 hm. % a obsahem niklu mezi 8 a 10,5 hm. %. Obvyklá hodnota Cr/Ni je 18/10. Vzhledem k paramagnetickým vlastnostem fáze γ je tato ocel nemagnetická. Její nejdůležitější vlastností je odolnost proti atmosférické korozi bez přítomnosti chloridů a, anorganických kyselin, nebo solí. Z hlediska teploty ji lze využít do provozní teploty 350°C a při velmi nízkých teplotách, kdy si zachovává dobrou houževnatost.

Pro obrábění je nutné z důvodu ztížené obrobiteľnosti používat nástroje z vysokolegovaných rychlořezných ocelí a slinutých karbidů. Na rozdíl od obrobiteľnosti má výbornou tvařitelnost tažením, nebo ohýbáním a je zaručeně svařitelná, ale zároveň náchylná k mezikrystalové korozi.

Nejvíce využívaná je v gastronomii, potravinovém průmyslu, zdravotnictví, stavebnictví, architektuře atd.

2.3. Metoda TIG

Svařování TIG (Tungsten Inert Gas) je někdy označované jako WIG (Wolfram Inert Gas), nebo jako metoda 141. Jedná se o metodu tavného obloukového svařování, kde oblouk hoří mezi netavicí se elektrodou a základním materiálem a svarová lázeň i elektroda jsou obklopeny inertním ochranným plynem (Argon, Helium, nebo jejich směs) o minimální čistotě 4.5 (99,995%).

2.3.1. Princip

Princip metody spočívá ve vytvoření metalurgického spojení částí základního materiálu buď natavením svarových ploch pomocí oblouku a následné spojení součástí (bez přídavného materiálu), nebo natavení svarových ploch základního materiálu a následné spojení těchto ploch pomocí nataveného přídavného materiálu, který se taví teplem elektrického oblouku. Přídavný materiál do svarové lázně přidává buď svářeč ručně, nebo může být celý proces mechanizován (svářeč udržuje oblouk a přídavný materiál je podáván do místa svařování podavačem), anebo může být plně automatizován, to umožňuje využití velmi stabilního oblouku a kontroly nad výsledkem svařování, potom člověk plní v procesu pouze kontrolní funkci.

Tuto metodu svařování můžeme rozdělit podle druhu proudu, který ke svařování využíváme. Stejnoseměrný proud se využívá při svařování ocelí, mědi, titanu a jejich slitin zatímco střídavý proud se využívá pro svařování hliníku, hořčíku a jejich slitin.

2.3.2. Základní parametry

Rozsah svařovacího proudu:	10 až 500 A
Průtok plynu:	od 3 do 15 l.min ⁻¹
Tloušťka základního materiálu:	0,5 až 10 mm
Rychlost svařování:	do 400 mm.min ⁻¹ (ruční)
Charakteristika zdroje:	statická, strmá

2.3.3. Plyny využívané pro svařování metodou TIG (WIG)

Při TIG svařování se využívají inertní ochranné plyny (argon, vodík a hélium) a jejich směsi pro ochranu svarové lázně a kořene před nežádoucími vlivy okolní atmosféry. Tyto plyny mají velmi odlišné vlastnosti, jako je hustota, tepelná vodivost ionizační potenciál a v neposlední řadě také cena a proto je potřeba pro svařování vždy zvolit plyn, který má vyvážený poměr užitných vlastností k pořizovací ceně.

V následující tabulce jsou uvedeny konkrétní druhy plynů a jejich směsí použitých při experimentu.

Tabulka 1.: Použité ochranné plyny

Ochranný plyn	Použití
Argon 4.6 a Argon 4.8	Všechny materiály
Dusík 4.6	Austenitické, duplexní a superduplexní oceli
Dusík/vodík – 95/5, 90/10, 80/20	Ocel s výjimkou vysoce pevných a jemnozrnných ocelí, austenitické oceli nestabilizované titanem
Argon/vodík – 98/2, 95/5	Austenitické oceli, nikl a slitiny niklu

3. Experimentální část

Experiment byl navržen za účelem zvýšení produktivity ve svařování metodou TIG. Zvyšování produktivity vyžaduje dokonalé nastavení automatizovaných procesů, dokonalý sled pracovních postupů s využitím co nejlepší přípravy před samotným svařováním. Základním kamenem úspěchu při automatizovaném svařování je vynaložení 80 % času z celkového objemu do přípravy svarových ploch a téměř dokonalého upnutí svařovaných dílců. Po zabezpečení těchto kroků lze využívat různé ochranné atmosféry, moderních funkcí svařovacích zdrojů nebo modifikace dané metody svařování.

V tomto experimentu byly použity vzorky oceli 1.4301 o tloušťkách 1,2 a 3 mm, jedná se tedy o svařování tenkých plechů. Cílem bylo vzhledem k budoucí aplikaci těchto svarových spojů dosáhnout nejvyšší kvality při co nejvyšší svařovací rychlosti. Svarový spoj byl vyhodnocen jako nejnáchylnější na vady označené podle normy ČSN EN ISO 6520-1 a případné vady byly posouzeny podle normy ČSN EN ISO 5718 v jakosti stupně B.

3.1. Základní materiál

Jako základní materiál pro experiment byla použita ocel 1.4301 (podle ČSN EN 10 088-1) popsána výše. Pro daný experiment však bylo ověřeno požadované chemické složení pomocí rentgenového spektrometru BAS Delta u vzorků z jednotlivých přístřihů plechu o tloušťce 1, 2 a 3 mm.

Tabulka 2.: Obsah jednotlivých prvků v ZM

Obsah jednotlivých prvků v ZM[%]								
Měření	Cr	Ni	Si	Mn	V	Cu	Mo	Fe
1	18,01	8,06	0,36	1,38	0,11	0,31	0,29	Zbytek
2	17,85	8,30	0,38	1,34	0,12	0,18	0,13	Zbytek
3	17,90	8,13	0,50	1,36	0,13	0,21	0,13	Zbytek
Průměr	17,92	8,16	0,4	1,36	0,12	0,23	0,19	Zbytek

3.2. Přídavný materiál

Pro svařování vzorků z výše zmíněné austenitické oceli byl použit přídavný materiál od firmy ESAB s označením OK Autrod 347Si (EN ISO 14 343-A:G 19 9 NbSi) o průměru \varnothing , jedná se tedy o drát stabilizovaný pomocí niobu, vhodný ke svařování korozivzdorných ocelí řady AISI 300. Tento přídavný materiál zajišťuje odolnost svarového kovu proti mezikrystalové korozi.

U přídavného materiálu bylo stejně jako u materiálu základního zkontrolováno chemické složení pomocí rentgenového spektrometru BAS Delta s následujícím výsledkem:

Tabulka 3.: Obsah jednotlivých prvků v PM[%]

Obsah jednotlivých prvků v PM[%]						
Měření	Cr	Ni	Si	Mn	Nb	Fe
1	19,7	10,4	0,8	1,8	0,71	Zbytek
2	20,2	9,9	0,76	1,76	0,76	Zbytek
3	20,0	10,2	0,8	1,84	0,7	Zbytek
Průmě	20,0	10,2	0,4	1,8	0,73	Zbytek

3.3. Příprava vzorků

Příprava vzorků pro provedení experimentu probíhala v dílnách Ústavu strojírenské technologie na FS ČVUT v Praze. Z jednotlivých tabulí plechu byly pomocí padacích nůžek NTE 2000 nastříhány vzorky o rozměrech 150x70 mm. Nastříhaný materiál byl odmaštěn pomocí rozpouštědla.

Dělení materiálu pomocí padacích nůžek přináší nevýhodu v podobě nutnosti odstranění vzniklých otřepů, které by mohly mít vliv na svařovací proces a na upínání materiálu do laboratorního přípravku, proto byly vzniklé otřepy odstraněny pomocí pilníku určeného výhradně pro úpravu korozivzdorných ocelí, aby nedošlo ke kontaminaci svarových ploch částicemi jiného (méně ušlechtilého materiálu) při použití standardního pilníku.

3.4. Použité vybavení a podmínky experimentu

Experimentální svařování bylo provedeno v laboratoři svařování fakulty strojní ČVUT v Praze. Svařování bylo provedeno pomocí robotu FANUC ArcMate 100iC, svařovacího zdroje Migatron PI 320 metodou TIG (WIG). Pro upínání základního materiálu byl použit speciální přípravek se dvěma upínkami připojenými na chladicí čelisti a podložkou pro přívod formovacího plynu.

Všechny svary byly provedeny při okolní teplotě 21°C na materiálu 1.4301 o tloušťce 1, 2 a 3 mm. Jako elektroda pro svařování byla použita elektroda WL20 o průměru 2,4 a 3,2 mm

s vrcholovým úhlem 45 až 60° a ubroušenou špičkou. Elektrody byly broušeny brouskou ESAB G-Tech s filtrací jemných částic.

3.5. Postup a parametry svařování

Svary byly vytvořeny nejprve na plechu tloušťky 1 mm, dále 2 mm a nakonec 3mm. Pro primární ochranu svarové lázně byly použity plyny Argon o čistotě 4.8 a Argon s příměsí 5% Vodíku, pro sekundární (vlečnou) ochranu svarové lázně byl ve všech případech použit Argon o čistotě 4.8 a pro ochranu kořene byl použit směsný formovací plyn dusíku s příměsí 5% vodíku. Všechny nastavené hodnoty pro proces svařování jsou uvedeny v tabulce (Tabulka 4) a následné metalografické vyhodnocení je uvedeno v kapitole 4.

První vzorky byly svařeny z plechu o tloušťce 1 mm bez použití přídavného materiálu a bez použití vlečné ochrany svarové lázně. Jako ochranný plyn byl použit čistý argon v kombinaci s formovacím plynem N5. U těchto vzorků bylo dosaženo svařovacích rychlostí od 90 do 120 cm.min⁻¹. Od rychlosti 150 cm.min⁻¹ je ovšem nutné použít přídavný materiál, jinak po okrajích svarové housenky vzniknou nepřijatelné vruby.

Pro rychlosti nad 150 cm.min⁻¹ byl svařovací proces nestabilní, došlo k neprůvaru kořene, nebo naopak k propadnutí svarové lázně. Vysoká svařovací rychlost také komplikuje ochranu svarové lázně pomocí plynu ze svařovacího hořáku, proto bylo nakonec nutné použít sekundární vlečnou ochranu. Bez použití vlečné ochrany se na povrchu svaru tvořily oxidické vrstvy. Před zvolením vlečné ochrany byly provedeny pokusy se zvětšeným průřezem hubice hořáku i různými průtoky plynu, ale nejlepší výsledky byly dosaženy s vlečnou ochranou, kdy byl povrch svaru kovově čistý a bez známek oxidace. Při použití tohoto druhu ochrany bylo nutné upravit parametry a nastavit předfuk ochranného plynu 6s, až poté došlo k zapálení oblouku. Maximální dosažená rychlost pro svařování plechu o síle 1mm byla 200 cm.min⁻¹.

U vzorků o tloušťce 2 mm bylo zjištěno, že bude nutné u všech vzorků použít přídavný materiál z důvodu tvorby vrubů po obou stranách svaru. Kromě přídavného materiálu byla již od začátku použita vlečná ochrana svarové lázně. Při prvních testovacích vzorcích bylo zjištěno, že při využití maximálního proudu zdroje Sigma PI 320 je možné dosáhnout maximální svařovací rychlosti 180 cm.min⁻¹, proto bylo nutné změnit ochranný plyn na směs Argonu a Vodíku s 5% vodíku, čímž se zvýšil tepelný příkon o 20 až 25% a bylo umožněno svařovat až do rychlostí.

Problém nastal u vzorků tloušťky 3 mm, u kterých se při rychlostech nad 60 cm.min⁻¹ základní materiál nedostatečně natavoval a nebylo možné je za stávajících podmínek dostatečně kvalitně svařit. Důvodem byl nedostatečný tepelný příkon, jehož potřeba se zvýšila kvůli nutnosti natavit větší množství základního materiálu i přídavného materiálu. Pro zlepšení výsledků by bylo nutné použít

zdroj s vyšším výkonem, jiný druh ochranného plynu (např. s příměsí Helia), nebo jinou metodu svařování.

3.6. Naměřené hodnoty

Tabulka 4.: Tabulka naměřených hodnot, pro které bylo provedeno metalografické vyhodnocení

v.č.	I [A]	U [V]	Q [J.cm ⁻¹]	v _{sv} [cm.min ⁻¹]	Q _{vo} [l.min ⁻¹]	L _h [m m]	OP	POP	t [mm]	v _d [m.s ⁻¹]
1	111	14,44	641,14	90	10	3	I1	-	1	-
2	151	16,04	726,61	120	10	3	I1	-	1	-
3	160	16,4	629,76	150	11	2,5	I1	-	1	-
4	175	17	595,00	180	11	2,5	I1	-	1	-
5	183	17,32	570,52	200	11	2,5	I1	-	1	-
6	250	20	1500,00	120	13,5	2,5	I1	-	2	-
7	250	20	1200,00	150	13,5	2,5	I1	-	2	-
8	320	22,8	1459,20	180	13,5	2,5	I1	-	2	-
9	190	17,6	1337,60	90	10	2,5	H5	I1	2	0,8
10	240	19,6	1411,20	120	10	2,5	H5	I1	2	1,6
11	230	19,2	1324,80	120	10	2,5	H5	I1	2	1,4
12	260	20,4	1272,96	150	10	2,5	H5	I1	2	1,8
13	145	15,8	1374,60	60	10	2,5	H5	I1	2	0,8
14	195	17,8	2082,60	60	10	2,5	I1	I1	2	0,6
15	255	20,2	2060,40	90	10	2,5	I1	I1	2	0,9

3.7. Vlečná ochrana

Vlečná ochrana byla připevněna přímo na hořák a měla za úkol zajistit ochranu svarové lázně před působením okolní atmosféry. Tato „vlečka“ byla postupně vylepšována, aby byla ochrana svaru co nejlepší. Do vlečky je plyn přiváděn přímo svařovacím hořákem, nebo samostatnou hadicí dovnitř, kde je umístěna kovová síťka z korozivzdorné oceli, která má za úkol zmírnit turbulence plynu při vstupu do ochranné vlečky.

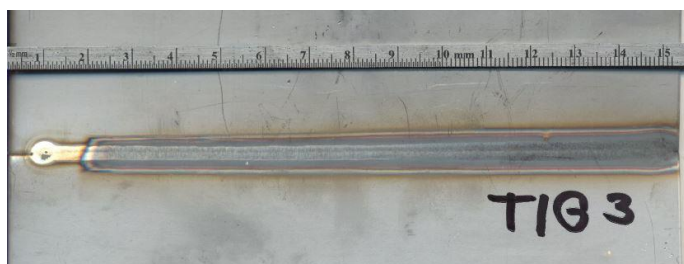


Obrázek 1.: Vlečná ochrana

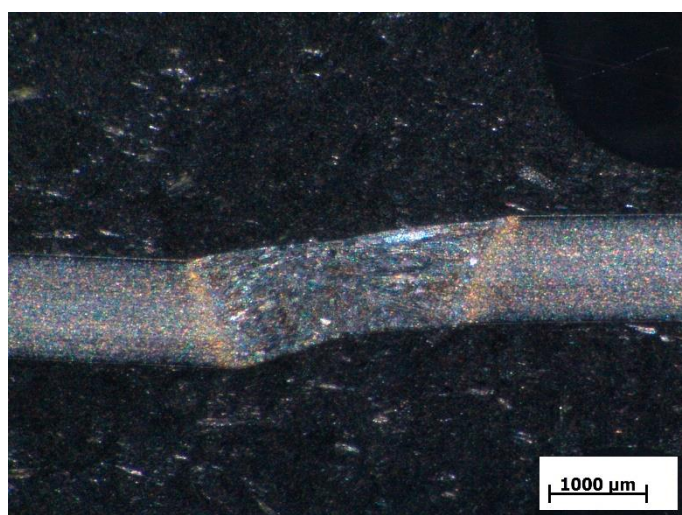
4. Metalografické vyhodnocení

U vzorků pro vybrané parametry byly provedeny metalografické výbrusy a byla posouzena jejich makro struktura. U některých parametrů byl zaznamenán vrub, který byl následně odstraněn.

Vzorek 1

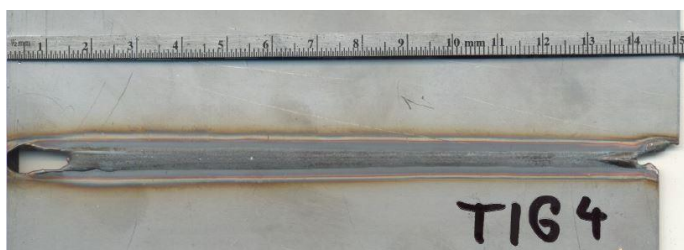


Obrázek 2.: II Svar a kořen svaru pro parametry $I = 111 \text{ A}$; $U = 14,4 \text{ V}$; $v_s = 90 \text{ cm} \cdot \text{min}^{-1}$; II

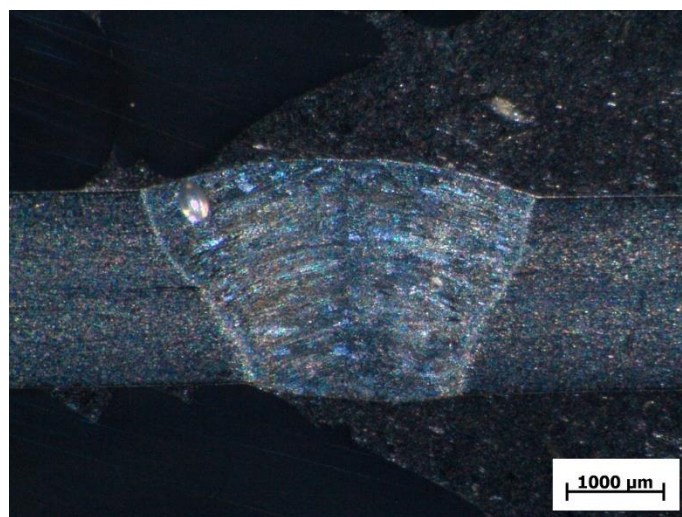


Obrázek 3.: Výbrus pro parametry $I = 111 \text{ A}$; $U = 14,4 \text{ V}$; $v_s = 90 \text{ cm} \cdot \text{min}^{-1}$

Vzorek 2

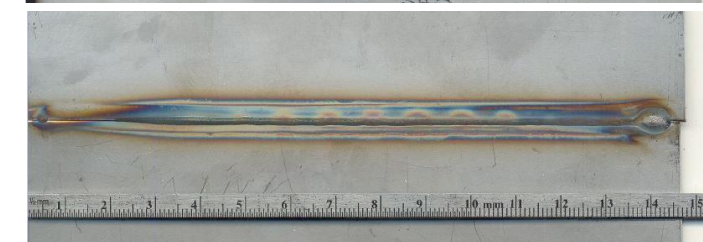
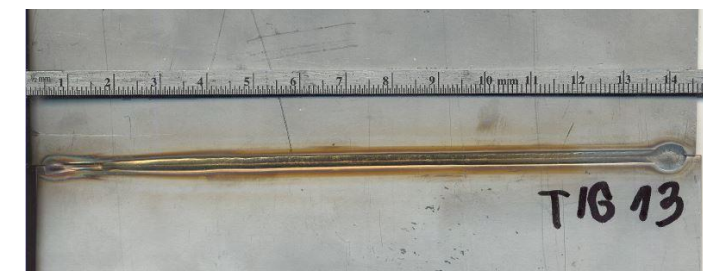


Obrázek 4.: Svar a kořen svaru pro parametry $I = 151 \text{ A}$; $U = 16,04 \text{ V}$; $v_s = 120 \text{ cm} \cdot \text{min}^{-1}$; II

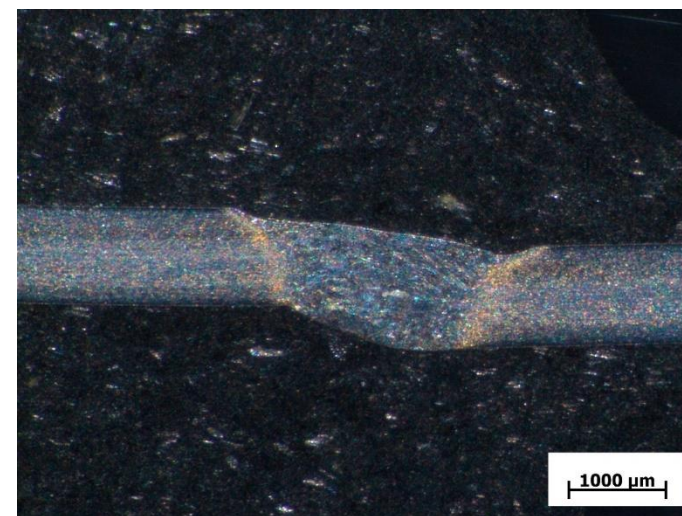


Obrázek 5.: Výbrus pro parametry $I = 151 \text{ A}$; $U = 16,04 \text{ V}$; $v_s = 120 \text{ cm} \cdot \text{min}^{-1}$; II

Vzorek 3

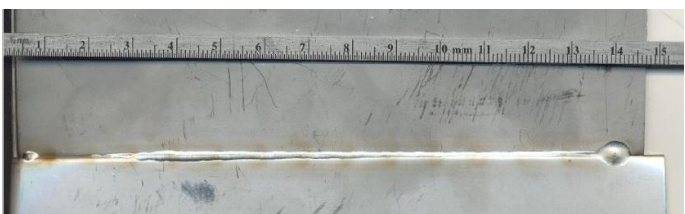


Obrázek 6.: Svar a kořen svaru pro parametry $I = 150 \text{ A}$; $U = 16,4 \text{ V}$; $v_s = 150 \text{ cm} \cdot \text{min}^{-1}$; II

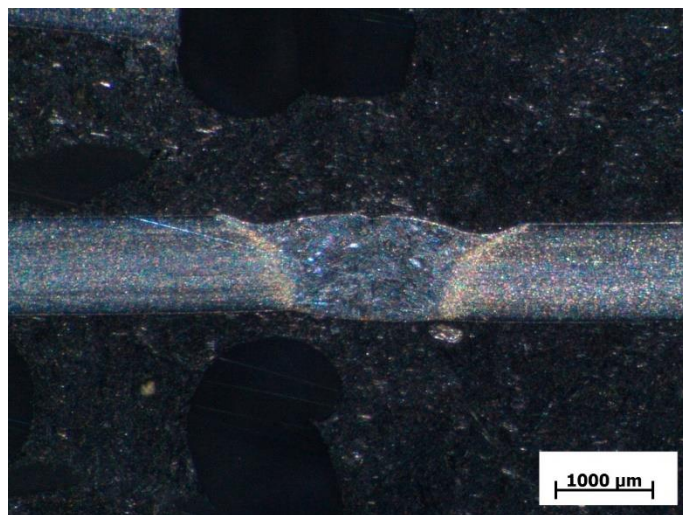


Obrázek 7.: Výbrus pro parametry $I = 150 \text{ A}$; $U = 16,4 \text{ V}$; $v_s = 150 \text{ cm} \cdot \text{min}^{-1}$; II

Vzorek 4

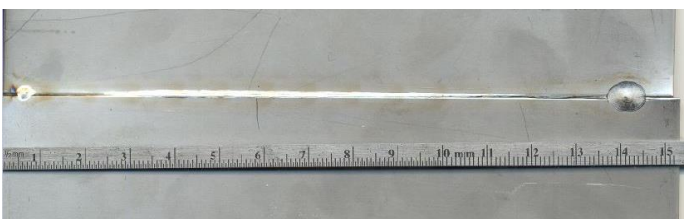


Obrázek 8.: Svar a kořen svaru pro parametry $I = 175 \text{ A}$; $U = 17 \text{ V}$; $vs = 180 \text{ cm} \cdot \text{min}^{-1}$; II

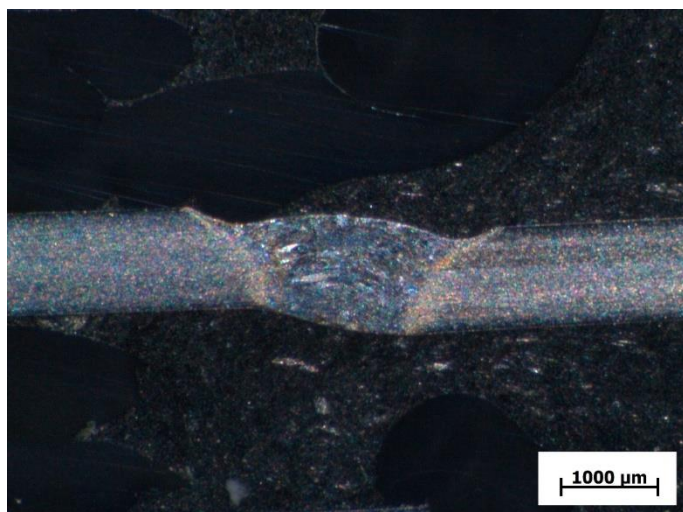


Obrázek 9.: Výbrus pro parametry $I = 175 \text{ A}$; $U = 17 \text{ V}$; $vs = 180 \text{ cm} \cdot \text{min}^{-1}$; II

Vzorek 5

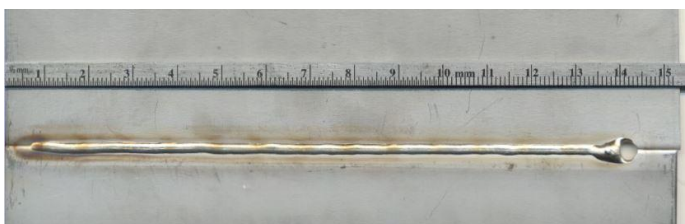
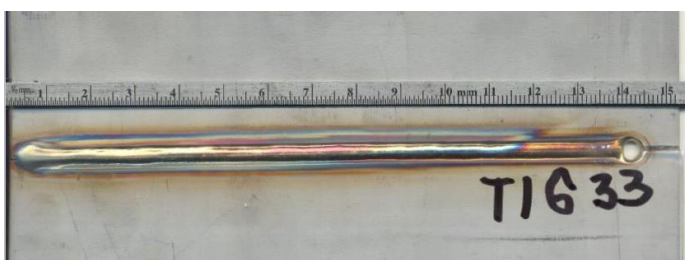


Obrázek 10.: Svar a kořen svaru pro par. $I = 183 \text{ A}$; $U = 17,32 \text{ V}$; $vs = 200 \text{ cm} \cdot \text{min}^{-1}$; II

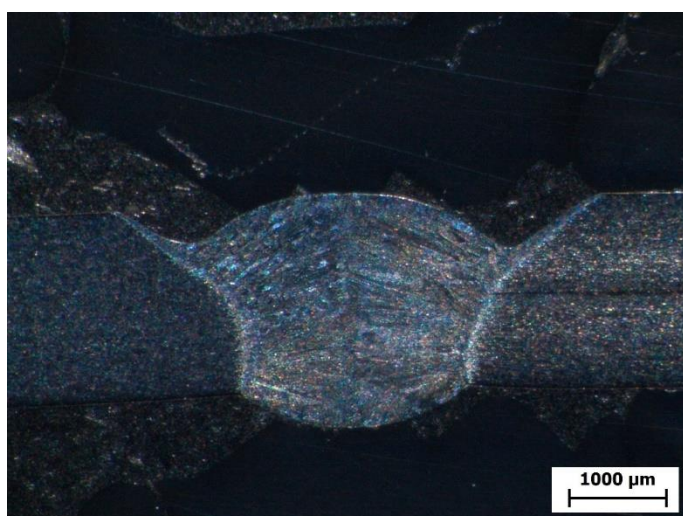


Obrázek 11.: Výbrus pro parametry $I = 183 \text{ A}$; $U = 17,32 \text{ V}$; $vs = 200 \text{ cm} \cdot \text{min}^{-1}$; II

Vzorek 6



Obrázek 12.: Svar a kořen svaru pro param. $I = 250 \text{ A}$; $U = 20 \text{ V}$; $vs = 120 \text{ cm} \cdot \text{min}^{-1}$; II

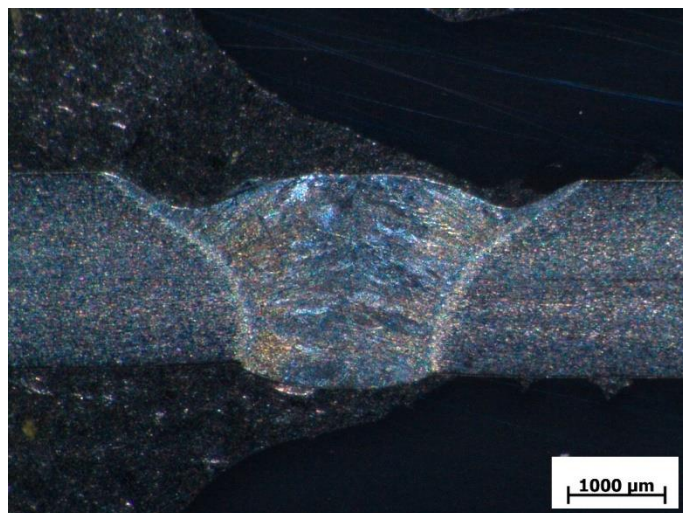


Obrázek 13.: Výbrus pro param. $I = 250 \text{ A}$; $U = 20 \text{ V}$; $vs = 120 \text{ cm} \cdot \text{min}^{-1}$; II

Vzorek 7

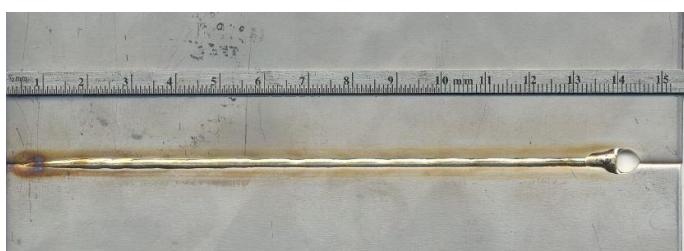


Obrázek 14.: Svar a kořen svaru pro param. $I = 250 \text{ A}$; $U = 20 \text{ V}$;
 $vs = 150 \text{ cm} \cdot \text{min}^{-1}$; II

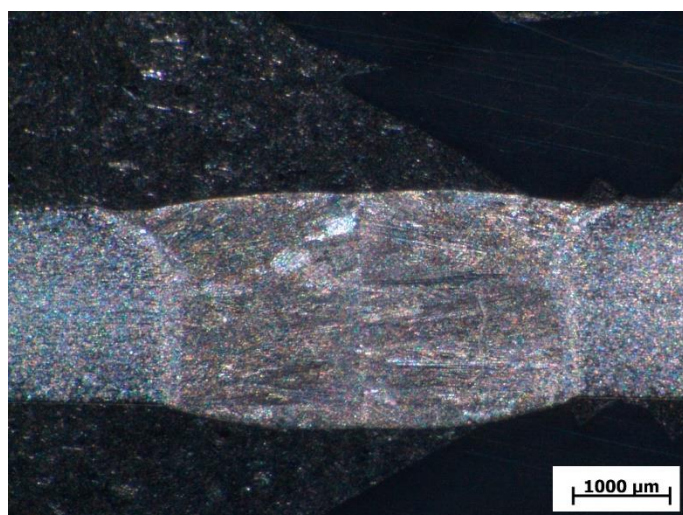


Obrázek 15.: Výbrus pro param. $I = 250 \text{ A}$; $U = 20 \text{ V}$;
 $vs = 150 \text{ cm} \cdot \text{min}^{-1}$; II

Vzorek 8

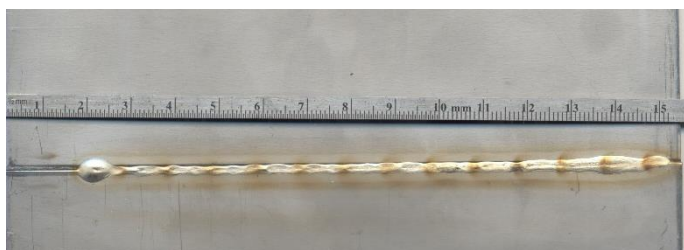


Obrázek 16.: Svar a kořen svaru pro param. $I = 320 \text{ A}$; $U = 22,8 \text{ V}$;
 $vs = 180 \text{ cm} \cdot \text{min}^{-1}$; II

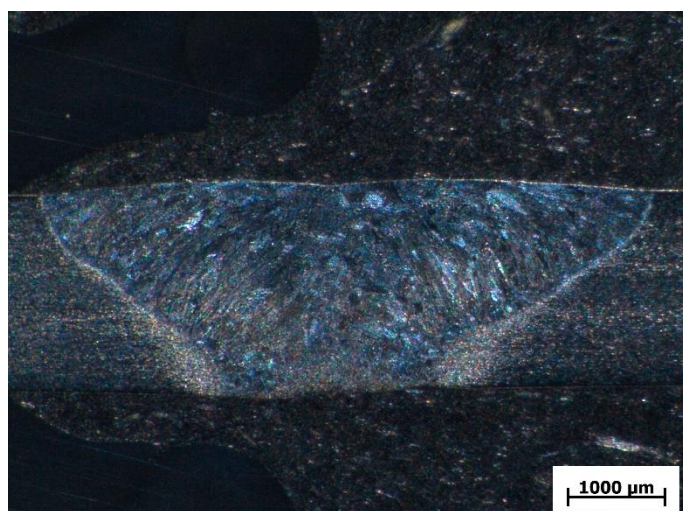


Obrázek 17.: Výbrus pro param. $I = 320 \text{ A}$; $U = 22,8 \text{ V}$;
 $vs = 180 \text{ cm} \cdot \text{min}^{-1}$; II

Vzorek 9



Obrázek 18.: Svar a kořen svaru pro param. $I = 190 \text{ A}$; $U = 17,6 \text{ V}$;
 $vs = 90 \text{ cm} \cdot \text{min}^{-1}$; H5; $vd = 0,8 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$

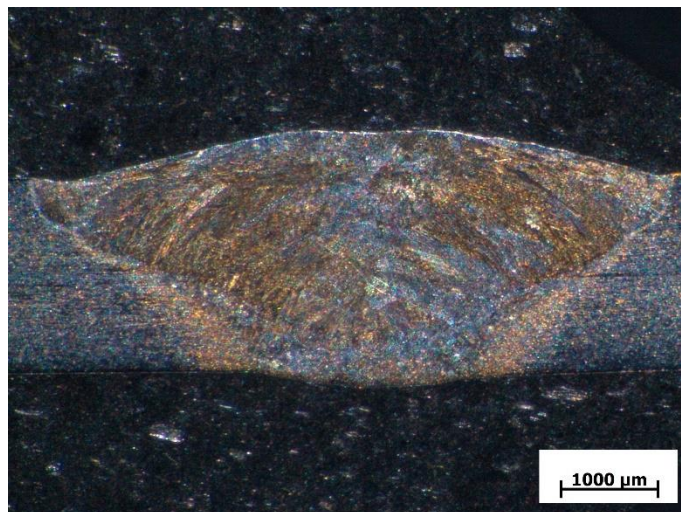


Obrázek 19.: Výbrus pro param. $I = 190 \text{ A}$; $U = 17,6 \text{ V}$;
 $vs = 90 \text{ cm} \cdot \text{min}^{-1}$; H5; $vd = 0,8 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$

Vzorek 10

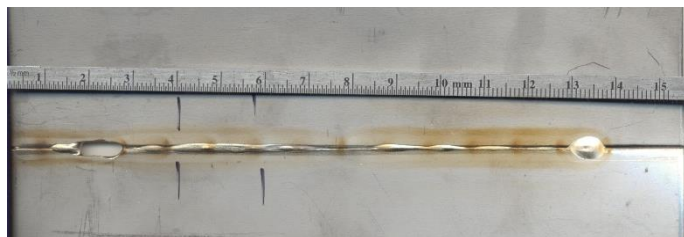
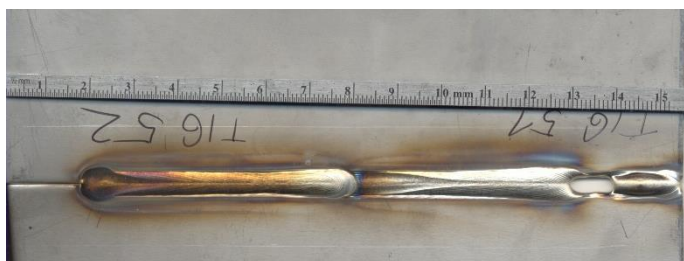


Obrázek 20.: Svar a kořen svaru pro param. $I = 240 \text{ A}$; $U = 19,6 \text{ V}$;
 $vs = 120 \text{ cm} \cdot \text{min}^{-1}$; H5; $vd = 1,6 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$

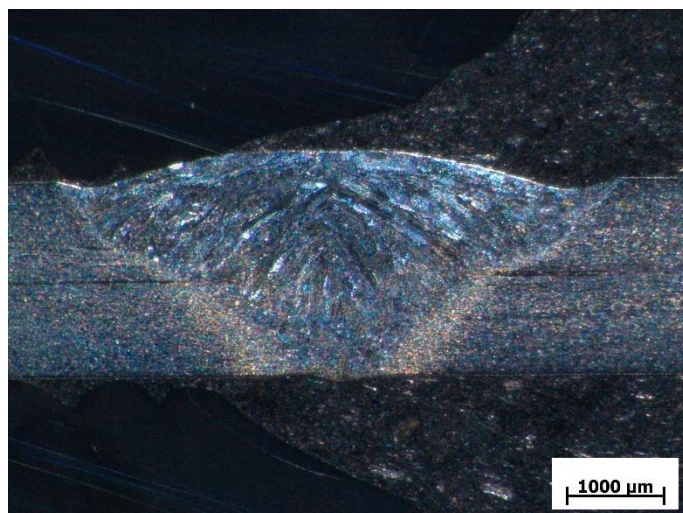


Obrázek 21.: Výbrus pro param. $I = 240 \text{ A}$; $U = 19,6 \text{ V}$;
 $vs = 120 \text{ cm} \cdot \text{min}^{-1}$; H5; $vd = 1,6 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$

Vzorek 11



Obrázek 22.: Svar a kořen svaru pro param. $I = 230 \text{ A}$; $U = 19,2 \text{ V}$;
 $vs = 120 \text{ cm} \cdot \text{min}^{-1}$; H5; $vd = 1,4 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$

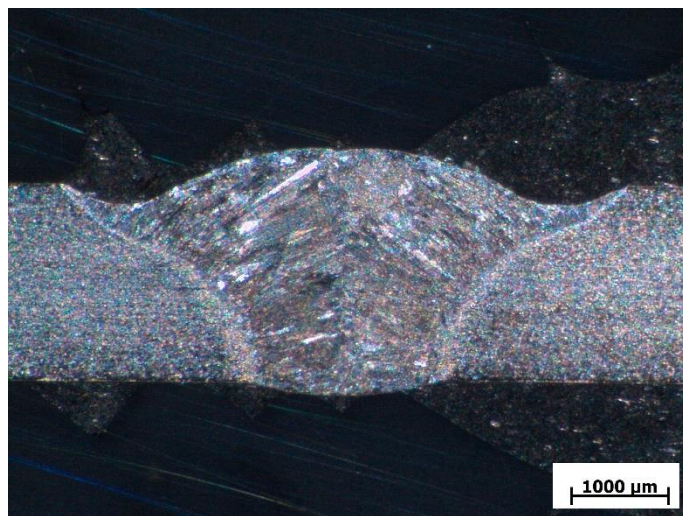


Obrázek 23.: Výbrus pro param. $I = 230 \text{ A}$; $U = 19,2 \text{ V}$;
 $vs = 120 \text{ cm} \cdot \text{min}^{-1}$; H5; $vd = 1,4 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$

Vzorek 12



Obrázek 24.: Svar a kořen svaru pro param. $I = 260 \text{ A}$; $U = 20,4 \text{ V}$;
 $vs = 150 \text{ cm} \cdot \text{min}^{-1}$; H5; $vd = 1,8 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$



Obrázek 25.: Výbrus pro param. $I = 260 \text{ A}$; $U = 20,4 \text{ V}$;
 $vs = 150 \text{ cm} \cdot \text{min}^{-1}$; H5; $vd = 1,8 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$

5. Závěr

Prezentované výsledky jsou vzaty jako reprezentativní, v experimentální části se jednalo o řadu vzorků, na kterých se zkoumají vzájemné závislosti a budou dále vyhodnocovány.

Experimentální činnost poukazuje na možnosti zvýšení produktivity při svařování metodou TIG změnou druhu ochranné atmosféry. Rychlost svařování je možné v praktickém využití zvýšit až o 80 % oproti současnému stavu. Výsledky experimentů lze přenést do výrobních technologií v případě dodržení technologických postupů.

Bez přídavného materiálu je možné svařovat při nižších rychlostech. Změnou ochranného plynu lze zvýšit postupovou rychlost přibližně o 25 %. Struktura v tepelně ovlivněné oblasti i svarovém kovu zůstává zachována. Měření tvrdosti v TOO a SK dokazuje, že nedochází k výraznému narůstání v porovnání se základním materiálem.

Při svařování docházelo ke vzniku vad, přičemž bylo zjištěno, že vznik souvislého zápalu úzce souvisí s vysokou rychlostí svařování. Na základě rešerše byl zjištěn důvod vzniku těchto vad a jejich odstranění, přičemž se tím bude výzkumný tým experimentálně zabývat v navazující práci.

Výzkum a vývoj se dále bude zabírat svařováním tlouštěk materiálu 3 mm, budou zkoumány možnosti svařování horkým drátem ve spojení s metodou TIG a metoda svařování plazmou PAW.

6. Použitá literatura

- [1] LINDE [online].2011 [cit. 2011-07-25]. Industrial Gases. Dostupné z WWW: http://www.linde-gas.cz/cs/industries/Copy_of_metal_fabrication/welding.html.
- [2] FANUC Robotics Czech, s.r.o., V Parku 2294/4, 148 00 Praha 4, Česká republika, *Roboty Arc Mate 100iC* [online]. cit. [2009-03-12] Dostupné z WWW: <http://www.fanurobotics.cz/products/robots/detail.asp?id=357>
- [3] Migatron CZ, a.s., Tolstého 451, Teplice 3, Česká republika, *TIG/WIG svařování* [online]. cit. [2009-9-18] Dostupné z WWW: <http://www.migatron.cz/default.aspx?m=2&i=266>
- [4] KOLAŘÍK, L., KOVANDA, K., VÁLOVÁ, M., DUNOVSKÝ, J.: *Robotické svařování vytvrditelných hliníkových slitin pomocí metody GTAW*, Zborník prednášok - ZVÁRANIE 2010. Bratislava: Slovenská zvaračská spoločnosť, 2010, s. 193-204. ISBN 978-80-89296-13-2.
- [5] KOLAŘÍK, L., KOVANDA, K., VÁLOVÁ, M., DUNOVSKÝ, J.: *Posouzení vlivu přídavného materiálu na pórovitost svarových spojů při MIG svařování vytvrditelných hliníkových slitin typu AlMgSi*, Strojírenská technologie. 2011, roč. XVI, č. 1, s. 54-60. ISSN 1211-4162.

- [6] ORSZAGH, V., ORSZAGH, P: *Zváranie TIG ocelí a neželezných kovov*, Bratislava: Polygrafia SAV, 1998, 300s., ISBN 80-88780-21-7
- [7] Česká svářečská společnost ANB: Welding Information System (WIS). TESIYO. CWS-ANB: *Archiv článků od 22.3.2011 do 4.10.2011* [online]. 5.8.2011, 2013 [cit. 2013-08-20]. Dostupné z: <http://www.cws-anb.cz/t.py?t=2&i=364>