

---

**ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE**

**Vliv geometrie elektrody u TIG svařování**

**Influence of electrode tip shape for TIG welding**

Bakalářská práce

Studijní program: Výroba a ekonomika ve strojírenství  
Studijní obor: Technologie, materiály a ekonomika strojírenství  
Vedoucí práce: Ing. Karel Kovanda, Ph.D., IWE

**Jiří Švorc**

---

**Praha 2017**

## I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Švorc** Jméno: **Jiří** Osobní číslo: **438624**  
Fakulta/ústav: **Fakulta strojní**  
Zadávající katedra/ústav: **Ústav strojírenské technologie**  
Studijní program: **Výroba a ekonomika ve strojírenství**  
Studijní obor: **Technologie, materiály a ekonomika strojírenství**

## II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce:

**Vliv geometrie elektrody u TIG svařování**

Název bakalářské práce anglicky:

**Influence of electrode tip shape for TIG welding**

Pokyny pro vypracování:

Technologie svařování metodou TIG.  
Druhy používaných wolframových elektrod.  
Způsoby úpravy konců elektrod pro TIG svařování.  
Vliv tvaru nabroušení elektrody na průvar svaru.

Seznam doporučené literatury:

Normy, skripta, odborná literatura.

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) bakalářské práce:

**Ing. Karel Kovanda Ph.D., ústav strojírenské technologie FS**

Jméno a pracoviště druhé(ho) vedoucí(ho) nebo konzultanta(ky) bakalářské práce:

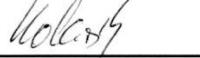
Datum zadání bakalářské práce: **26.04.2017**

Termín odevzdání bakalářské práce: **10.08.2017**

Platnost zadání bakalářské práce: **10.08.2017**



Podpis vedoucí(ho) práce



Podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry




Podpis děkana(ky)

## III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Student bere na vědomí, že je povinen vypracovat bakalářskou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je třeba uvést v bakalářské práci.

10.5.2017  
Datum převzetí zadání

  
Podpis studenta

## Prohlášení

Prohlašuji, že jsem svou bakalářskou práci na téma „*Vliv geometrie elektrody u TIG svařování*“ vypracoval samostatně a veškeré zdroje, ze kterých jsem čerpal, jsou uvedeny v seznamu použitých zdrojů na konci této práce.

Nemám závažný důvod proti užívání tohoto školního díla ve smyslu §60 Zákona č.121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon).

V Praze dne .....

.....

Podpis

## Anotace

Bakalářská práce se zabývá způsoby broušení wolframových elektrod, běžnými i speciálními typy geometrií špiček wolframových elektrod, navazuje na diplomovou práci Ing. Ondřeje Slabého „*Automatické svařování ocelových plechů metodou TIG*“ s cílem celkové optimalizace svařovacího procesu.

Hlavním záměrem bakalářské práce je zjištění vlivu geometrie elektrody na vznik vrubů při svařování vyšší rychlostí. Největší vliv má geometrie typu dvojité kužel.

Vysoká škola:	ČVUT v Praze
Ústav:	Ústav strojírenské technologie
Vedoucí ústavu:	Doc. Ladislav Kolařík, Ph.D., IWE
Název bakalářské práce:	Vliv geometrie elektrody u TIG svařování
Školní rok vyhotovení:	2016/2017
Jméno autora:	Jiří Švorc
Vedoucí bakalářské práce:	Ing. Karel Kovanda, Ph.D., IWE
Rozsah:	50 stran, 51 obrázků
Klíčová slova:	TIG svařování, geometrie wolframové elektrody, broušení

## Annotation

Bachelor thesis is concerned on conventional and unconventional methods of grinding tungsten electrodes, common and special types of tungsten electrode tip shape.

It relates to diploma thesis of Ing. Ondřej Slabý "Robotic GTAW Welding of stainless steel", to improve the welding process.

The main aiming of the bachelor thesis is to find out the influence of electrode tip shape on occurrence of undercuts at high speed welding process. Geometry of the double cone type has the biggest influence.

University:	CTU in Prague
Institute:	Institute of manufacturing technologies
Head of institute:	Doc. Ladislav Kolařík, Ph.D., IWE
Title of the bachelor thesis:	Influence of electrode tip shape for TIG welding
Academic year:	2016/2017
Author:	Jiří Švorc
Supervisor:	Ing. Karel Kovanda, Ph.D., IWE
Size:	50 pages, 51 pictures
Keywords:	TIG welding, tungsten electrode tip shape, grinding

## Poděkování

Rád bych touto cestou poděkoval vedoucímu své bakalářské práce, Ing. Karlu Kovandovi, Ph.D., IWE za jeho profesionální přístup, odbornou a ochotnou pomoc při tvorbě bakalářské práce.

# Obsah

1. Úvod.....	9
2. Svařování metodou TIG (GTAW).....	10
2.1 Základní principy, podstata TIG svařování.....	10
2.2 Výhody a nevýhody TIG svařování.....	11
2.3 TIG svařovací režimy.....	12
2.3.1 TIG svařování stejnosměrným proudem (DC).....	12
2.3.2 TIG svařování střídavým proudem (AC).....	13
2.3.3 TIG pulsní režim.....	14
3. Robotické svařování metodou TIG.....	15
3.1 Upínací přípravky.....	16
3.2 Strojní svařovací TIG hořák.....	17
3.3 Svařovací zdroje.....	18
3.4 HF zapalování elektrického oblouku.....	19
4. Ochranné plyny pro TIG svařování.....	20
4.1 Argon.....	20
4.2 Helium.....	20
4.3 Směs argonu a helia.....	21
4.4 Příměsi vodíku a dusíku.....	21
4.5 Sekundární plynová ochrana.....	21
5. Wolframové elektrody.....	22
5.1 Druhy wolframových elektrod.....	22
5.2 Normalizované rozměry netavicích se wolframových elektrod dle ČSN EN ISO 6848 23	
5.3 Broušení wolframových elektrod.....	24
6. Materiálová charakteristika.....	26
6.1 Korozivzdorné oceli.....	26
6.1.1 Feritické korozivzdorné oceli.....	26
6.1.2 Martenzitické korozivzdorné oceli.....	27
6.1.3 Austenitické korozivzdorné oceli.....	27
6.1.4 Duplexní korozivzdorné oceli.....	28
6.2 Austenitická korozivzdorná ocel 1.4301 (X5CrNi18-10).....	29
7. Teorie svařování tenkých plechů.....	30

8.	Experimentální část .....	33
8.1	Wolframové elektrody .....	33
8.2	Broušení wolframových elektrod .....	34
8.3	Fotodokumentace elektrického oblouku při různých typech geometrií a konstantních parametrech svařování .....	37
8.4	Vliv tvaru elektrody na geometrii svaru .....	40
9.	Závěr .....	46
10.	Použitá literatura .....	47



# 1. Úvod

Svařovací metoda TIG (GTAW) je velice komplexní metoda tavného svařování elektrickým obloukem v ochranné atmosféře inertního plynu, který hoří mezi wolframovou elektrodou a základním materiálem. Komplexnost této metody spočívá především v široké škále možných svařovaných materiálů, zahrnující mimo jiné běžné konstrukční oceli, ale zejména legované oceli, hliník, nikl, titan, hořčík a jejich slitiny.

Otázka geometrie a způsobu broušení wolframových elektrod je při svařování metodou TIG, zejména během svařování stejnosměrným proudem velice důležitá. Tvar, způsob a kvalita nabroušení špičky wolframové elektrody má velký vliv na parametry elektrického oblouku (tvar, na něm závislá šířka tepelně ovlivněné oblasti, velikost průvaru), životnost elektrody, a s tím související výsledné parametry provedeného svarového spoje. Právě na způsob broušení wolframových elektrod je bakalářská práce, zejména pak její praktická část zaměřena.

Bakalářská práce navazuje na diplomovou práci Ing. Ondřeje Slabého, kde bylo řešeno svařování korozivzdorných ocelí. Jedním z problémů zde byla přítomnost vrubu podél svarové housenky při vyšších svařovacích rychlostech. Cílem bakalářské práce bylo najít ideální kombinaci geometrie nabroušení špičky wolframové elektrody a parametrů svařování tak, aby se předešlo vzniku vrubů podél svarové housenky a zjistit vliv geometrie elektrody na hloubku průvaru a šířku svaru.

## 2. Svařování metodou TIG (GTAW)

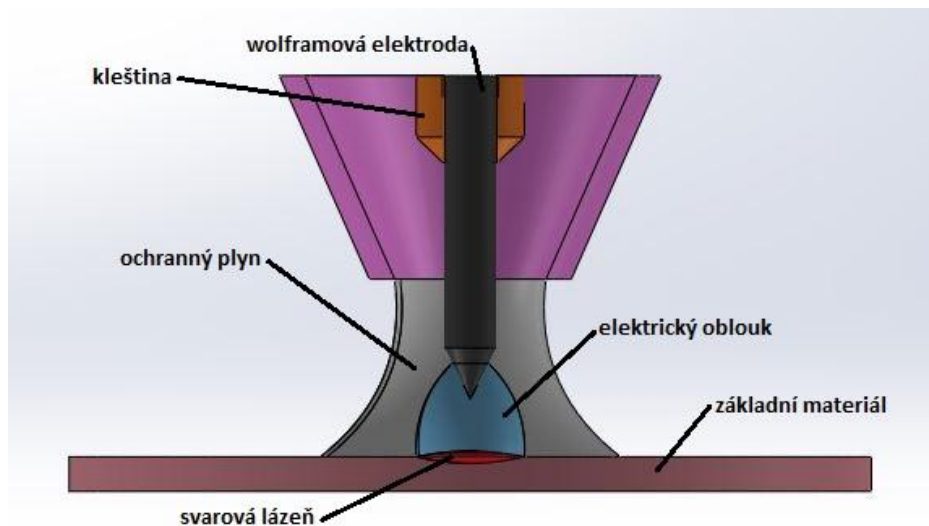
### 2.1 Základní principy, podstata TIG svařování

Svařování TIG se svojí podstatou řadí mezi metody tavného svařování, jedná se o obloukové svařování netavící se elektrodou v atmosféře ochranného inertního plynu. Zkratka TIG je odvozena od anglického názvu T – Tungsten (wolfram), I – Inert (inertní, netečný), G - Gas (plyn), můžeme se také setkat se zkratkou WIG (W - wolfram) z němčiny. V americké literatuře se setkáme převážně s označením GTAW (Gas Tungsten Arc Welding).[1]

Elektrický oblouk vzniká mezi netavící se wolframovou elektrodou a základním materiálem, jeho teplota se pohybuje v závislosti na parametrech svařování v rozmezí 4500 - 6500 °C. Za vysokých teplot dojde k natavení základního materiálu a vzniku svarové lázně. Samotný svarový spoj může být realizován bez použití přídavného materiálu, tím nedochází ke změně chemického složení základního materiálu, což má pozitivní dopad na výsledné vlastnosti svarového spoje. V případě použití přídavného materiálu je důležité co nejvíce se jeho složením přiblížit složení základního materiálu.[1,2]

Jako ochranný inertní plyn se při TIG svařování nejčastěji používá argon, helium, směs argonu a helia, v některých případech se do těchto směsí přidává také nepatrné množství vodíku, obvykle mezi 1-5 procenty.[2]

Wolframová elektroda se do hořáku upíná pomocí kleštiny, přes kterou je do ní přiváděn svařovací proud. Obklopena je plynovou hubicí, neboli dýzou, kterou proudí plyn následně chrání svarovou lázeň a její okolí před okolní atmosférou. Dále ochranný plyn stabilizuje elektrický oblouk a usnadňuje jeho zapalování.[2]



Obr. 1 Princip svařování TIG

## 2.2 Výhody a nevýhody TIG svařování

Jako vynálezce svařování TIG (1941) se uvádí Američan Russell Meredith, od ní bylo odvozeno už jen svařování plazmou (1953). Zprvu se jako ochranná atmosféra používalo helium, postupem času se začal upřednostňovat argon. [2]

Mezi hlavní výhody svařování metodou TIG patří účinná ochrana svarové lázně a její výborná kontrolovatelnost během svařování, možnost svařování bez přídavného materiálu, možnost svařování tenkých materiálů. Metoda TIG poskytuje koncentrovaný elektrický oblouk o vysoké teplotě, a proto nedochází k širokému tepelnému ovlivnění základního materiálu. Tato okolnost má pozitivní vliv zejména na tepelné deformace svařence. Mezi další výhody se řadí skvělá operativnost, to znamená možnost svařování v polohách a na místech s nižší dostupností. [2]

## 2.3 TIG svařovací režimy

Obecně můžeme svařování metodou TIG rozdělit dle druhu proudu na svařování stejnosměrným proudem (DC) a na svařování střídavým proudem (AC). Svařování střídavým proudem používáme pro svařování hliníku, hořčíku a jejich slitin, stejnosměrný proud volíme v případě svařování ocelí legovaných i uhlíkových, ale i například při svařování mědi nebo titanu.

### 2.3.1 TIG svařování stejnosměrným proudem (DC)

Při svařování metodou TIG stejnosměrným proudem užíváme výhradně přímé polarity, elektroda je připojena na mínus pól zdroje a základní materiál na plus pól zdroje. Svár je charakterizovaný malou šířkou a velkou hloubkou průvaru, zároveň nedochází k tak velkému tepelnému zatížení wolframové elektrody, na záporné elektrodě se vyvíjí cca třetina tepla, naproti tomu na kladné elektrodě (základní materiál) se vyvíjí zbytek tj. cca 2/3 zbylého tepla. Z toho plyne, že při svařování přímou polaritou v režimu DC je tepelné zatížení wolframové elektrody nejmenší. [1,5]

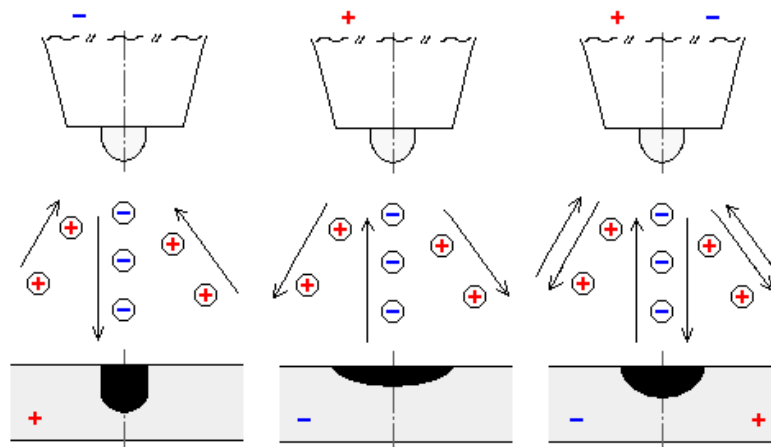
Při opačném zapojení za užití nepřímé polarity dochází k velkému tepelnému zatížení wolframové elektrody, která se velmi snadno začne odtavovat. Výhodou TIG svařování za užití nepřímé polarity je takzvaný čistící efekt oblouku, který odbourává oxidickou vrstvu vznikající na povrchu některých materiálů. Oxidická vrstva má mnohonásobně vyšší teplotu tavení, než čistý kov a proto je nutné ji odstranit. Čistícího efektu využíváme při svařování hliníku, hořčíku a jejich slitin. Příčinou čistícího efektu je takzvaná katodová skvrna. Hypotéza, která tento proces vysvětluje, vychází z předpokladu, že povrchové vrstvy oxidů kovu mají nižší ionizační napětí než čistý kov a proto dochází v oblasti oxidické vrstvy přednostně k emisi elektronů na katodě (-), způsobující přehřátí až odpaření oxidické vrstvy. [1,5]

Obecně je teplo, uvolněné na wolframové elektrodě nežádoucí, protože způsobuje snížení efektivnosti využití tepla a v neposlední řadě také technické problémy, například přehřívání hořáku. [1]

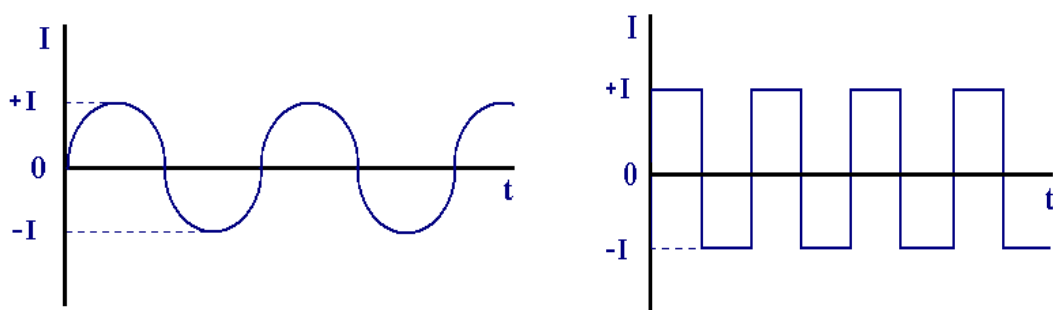
### 2.3.2 TIG svařování střídavým proudem (AC)

Svařování TIG střídavým proudem kombinuje výhody přímé a nepřímé polarity. Střídavý proud se skládá z kladné a záporné půlvlny, které se rychle střídají. Jak rychle se proud střídá, určuje jeho frekvence. Při připojení na plus pól dochází k čištění základního materiálu od oxidů, ale zároveň ke většímu tepelnému namáhání wolframové elektrody. Ve druhé fázi je polarita obrácená, dochází k částečnému ochlazení wolframové elektrody a k natavení základního materiálu.[5]

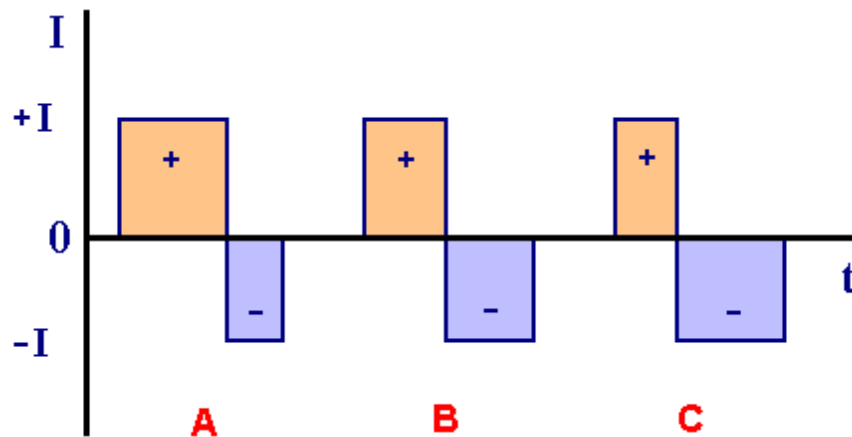
Starší svařovací zdroje měly sinusový průběh střídavého proudu a jeho frekvence odpovídala frekvenci sítě (50Hz). Moderní svařovací zdroje využívají obdélníkového průběhu výstupního proudu, umožňují nastavení jeho frekvence a časového poměru přímé a nepřímé polarity.[5]



Obr. 2 Porovnání režimů TIG DC(-), DC(+) a AC [5]



Obr. 3 AC sinusový a obdélníkový průběh proudu [5]



Obr. 4 AC balance – nastavení poměru přímé a nepřímé polarity [5]

### 2.3.3 TIG pulsní režim

Pulsní svařování metodou TIG je založeno na principu střídání vyšší a nižší hodnoty svařovacího proudu. Pulsní režim lze aplikovat na svařování stejnosměrným i střídavým proudem (efektivní hodnota střídavého proudu). Parametry pulsu si svářeč většinou nastavuje sám. Hodnota nižšího proudu, během kterého se svar ochlazuje, zaručí dostatečnou ionizaci prostředí, ale nestačí ke vzniku tavné lázně. Obě hodnoty proudů, nižšího i vyššího, jsou libovolně nastavitelné. [1,5]

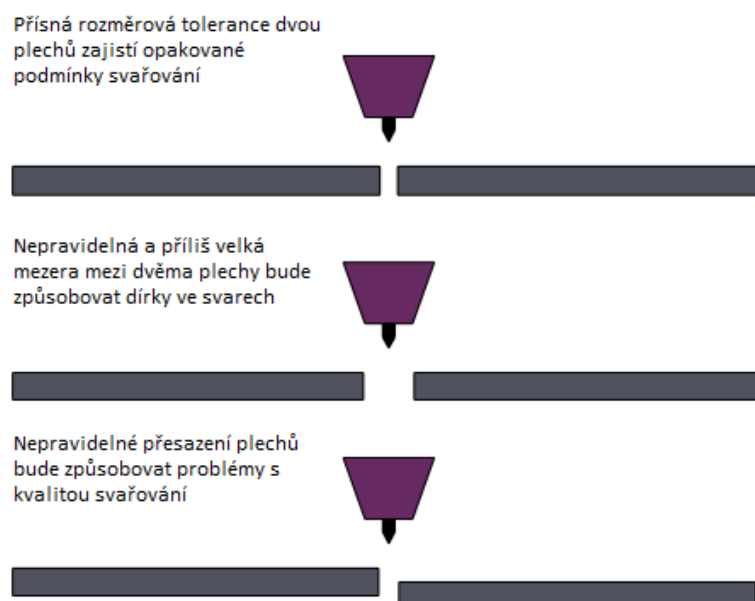
Pulsní režim zaručí menší tepelné ovlivnění základního materiálu, menší promíšení základního materiálu a tvorbu estetických, takzvaných penízkových svarů. V závislosti na frekvenci střídání vyšší a nižší hodnoty proudu rozlišujeme běžný puls (0,25 - 25 Hz) a vysokorychlostní puls (až 600 Hz). Běžný puls používáme při svařování tenkých plechů a korozivzdorných ocelí. Umožňuje svařování plechů různých tloušťek a pomáhá svářeči řídit svařovací proces. Vysokorychlostní puls zapříčiní zúžení elektrického oblouku, oblouk je více koncentrovaný a zvětšení průvaru. [1,5]

Pulsaci svařovacího proudu lze provádět i manuálně pomocí pedálu s potenciometrem připojeného ke svařovacímu zdroji. Svářeč si tak reguluje maximální i minimální hodnotu proudu a zároveň i frekvenci pulsu. Možné použití pro ruční svařování tenkých plechů, nebo rámců z tenkých profilů.

### 3. Robotické svařování metodou TIG

Robotizace svařovacího procesu při TIG svařování není tak častá, jako v případě metod MIG/MAG. Z hlediska problematiky je to odůvodněno především vyššími nároky na přesnost svařovaných dílců a náročností odladění technologie svařování danou metodou. Za předpokladu, že u metody MIG/MAG hovoříme o toleranci svařovaných dílců  $\pm 1\text{mm}$ , v případě metody TIG je tato tolerance minimálně dvakrát menší, tj.  $\pm 0,5\text{mm}$ , v ideálním případě i méně. Čím jsou svařované díly tenčí, tím se tento nárok na přesnost zvyšuje. V případě svařování tenkých plechů musí být tolerance ideálně co nejmenší, protože velikost mezery výrazně ovlivňuje obtížnost odladění parametrů a technologie svařování. [4]

Hlavní výhodou robotického, oproti ručnímu svařování metodou TIG je tři až pětinašobně, podle některých zdrojů až osminásobně vyšší produktivita svařování. Ta je dána vyšší postupovou rychlostí, automatickým podáváním drátů a absencí činností jako přemísťování svářeče nebo například hledání ideální polohy držení ruky a přidavného drátu. Další nespornou výhodou robotizovaného svařování metodou TIG je kvalita prováděných svarů a jejich kresba. To je dané především konstantní postupovou rychlostí a stejnou vzdáleností základního materiálu od wolframové elektrody. [4]



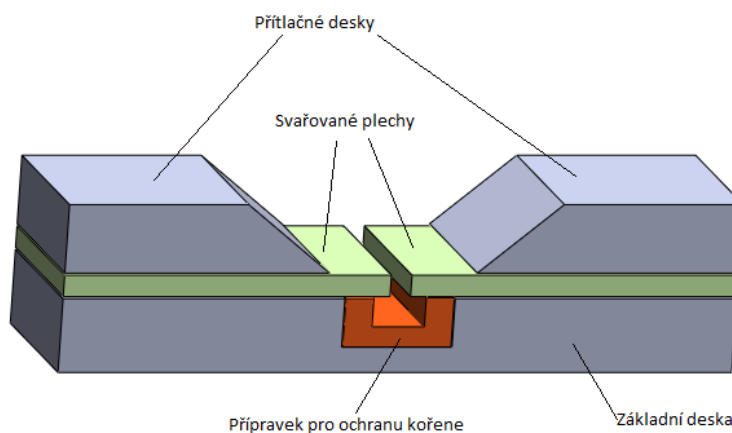
Obr. 5 Příklady sestavených dílců pro svařování [4]

### 3.1 Upínací přípravky

V případě robotického svařování metodou TIG hraje velice důležitou roli upnutí základního materiálu. Upínací přípravek je zařízení vyvinuté pro konkrétní aplikaci svařování, do kterého obsluha vkládá jednotlivé komponenty, které následně robot svaří dohromady. V zásadě se dělí na mechanické a pneumatické (podtlakové), přičemž užití mechanických přípravků převládá. Přípravek by měl být spolehlivý, pevný, konstrukčně co možná nejjednodušší, vhodně přizpůsobený dané aplikaci a nenáročný na obsluhu. [4]

*Pro metodu TIG je nutné používat pouze upínací přípravky s robustní konstrukcí, které zajistí přesné a velmi pevné uchycení svařovaných dílců. Také při upínání polotovarů a svařovaných dílců mohou vznikat tolerance jejich pozice po upnutí. Upínací přípravky by měly svou konstrukcí zaručit opakovaně stejné upnutí všech dílců, tedy opakovaně stejnou pozici dílců po upnutí. Navíc pokud se svařují dílce z tenkostěnných materiálů, jsou tyto dílce velmi tepelně namáhané a dochází k jejich deformaci. Robustní upínací přípravek by měl být schopen těmto tepelným deformacím co nejvíce zabránit. [4]*

Velice často je v případě, nejen robotického svařování vyžadována ochrana kořene svaru, ke které musí být upínací přípravek přizpůsoben. Obvykle se jedná o mělký žlábek, do kterého je přiváděn ochranný plyn. V případě svařování trubek se přivádí ochranný plyn dovnitř svařence.

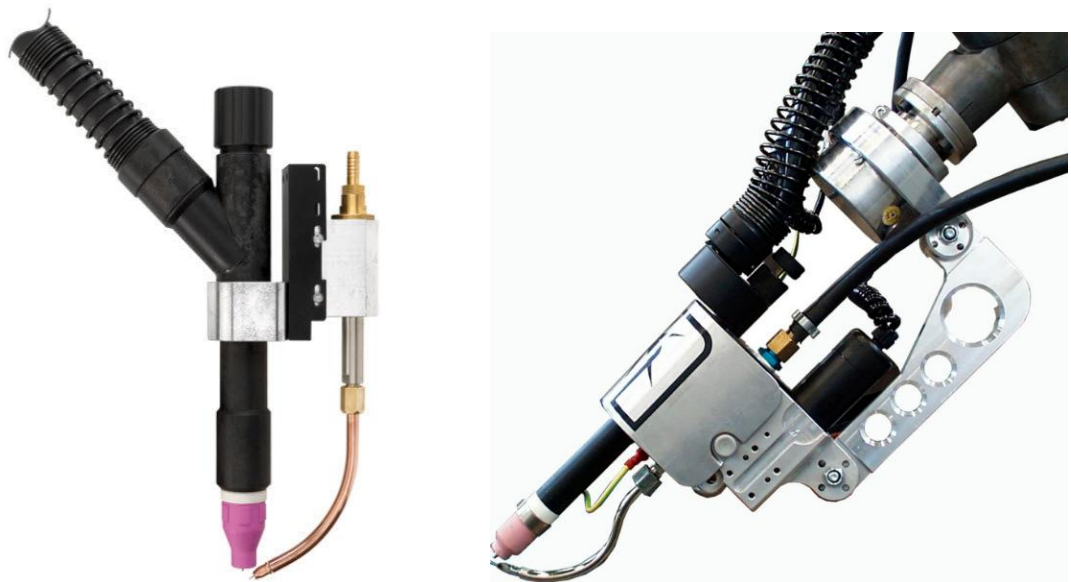


Obr. 6 Jednoduché schéma mechanického upnutí dvou tenkých plechů



## 3.2 Strojní svařovací TIG hořák

Strojní svařovací hořák pro metodu TIG je oproti hořáku pro ruční svařování touto metodou výrazně robustnější konstrukce. Bývá kapalinou chlazený a musí být vybaven speciálním držákem, který jej umožní opakovaně upnout do stejné pracovní pozice. Vybaven je přívodem přidavného materiálu, v některých případech doplněného o odporový předeřev přidavného drátu, a pokud to aplikace vyžaduje, doplněný tzv. vlečnou ochranu, která by měla zajistit dodatečnou ochranu a chladnutí svaru. [4]



Obr. 7 Konstrukční řešení strojních TIG hořáku [22,23]

### 3.3 Svařovací zdroje

Při automatizovaném svařování metodou TIG v průmyslovém použití je potřeba využívat svařovací zdroje k tomuto účelu zkonstruované, použití malých, přenosných svářecích zdrojů se v tomto případě nedoporučuje. Důvodem jsou horší vlastnosti z důvodu jejich miniaturizace, nespolehlivost zdroje jako takového (kvalita svařování, nespolehlivost HF zapalování) z důvodu dosažení úspor při jejich konstrukci. [4]

Zpravidla se užívají invertorové zdroje o rozměrech běžné dílenské svářečky, doplněné o kapalinové chlazení, pro lepší manipulaci vybavené kolečky. Výkon zdroje by měl být pro průmyslové použití minimálně 300 A. Volba zdroje závisí na konkrétní aplikaci. Pro svařování tenkých plechů by měl postačovat svařovací zdroj o výkonu cca 200 A při 100% zatěžitelnosti. [4]



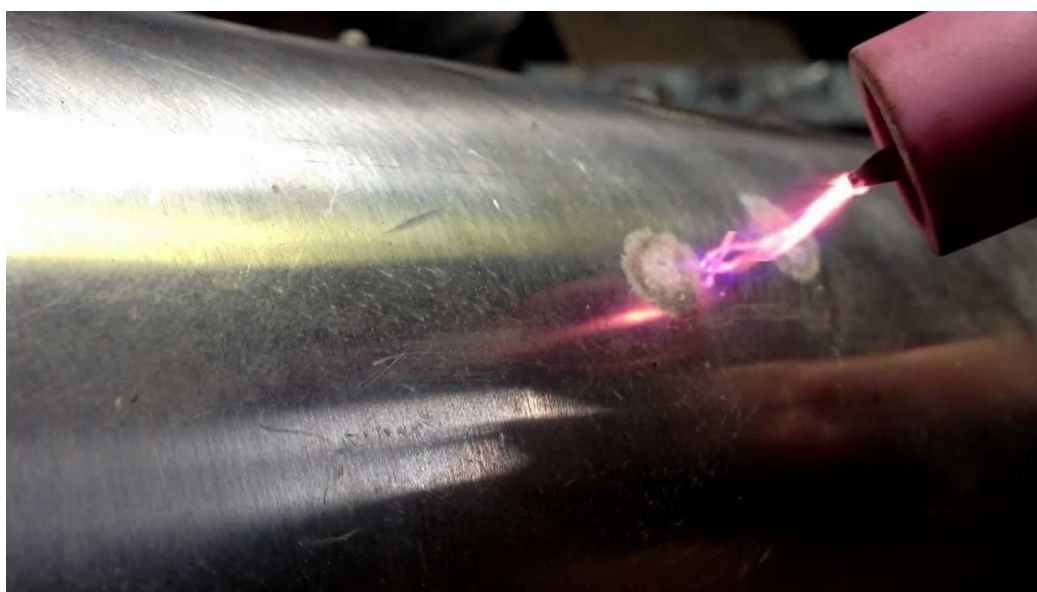
Obr. 8 TIG svařovací zdroje od firmy Migatronik [21]

### 3.4 HF zapalování elektrického oblouku

Při dotyku wolframové elektrody se základním materiálem dochází ke kontaminaci základního materiálu wolframem a zároveň ke znečištění wolframové elektrody základním materiálem. Obojí je nežádoucí a má negativní dopad na výslednou kvalitu svaru (wolframové vměstky), znečištění wolframové elektrody způsobuje nestabilní hoření oblouku. Tyto skutečnosti vedly k vývoji bezkontaktního HF (High Frequency) zapalování. Pro zapálení oblouku se wolframová elektroda nemusí dotknout základního materiálu. Samotné zapálení elektrického oblouku má na svědomí elektrický výboj generovaný ionizátorem. [6]

Ionizátor je zdroj vysokého napětí o vysoké frekvenci. Vysokonapěťová jiskra přeskočí mezi základním materiálem a wolframovou elektrodou, dojde k ionizaci prostředí a zapálení elektrického oblouku (viz obrázek 9). Mimo odstranění rizika kontaminace základního materiálu a wolframové elektrody má HF zapalování také pozitivní dopad na životnost elektrody, nedochází k opotřebení broušeného konce. [6]

Nevýhodou HF zapalování je vyšší pořizovací cena svařovacího zdroje a silné elektromagnetické rušení, které může ovlivnit nebo poškodit citlivou elektroniku nacházející se v okolí místa svařování. [6]



Obr. 9 HF zapalování elektrického oblouku [20]

## 4. Ochranné plyny pro TIG svařování

Ochranné plyny při TIG svařování jsou velmi důležité. Zabezpečují ochranu wolframové elektrody, základního materiálu a chladnoucí svarové lázně před účinky okolní atmosféry (oxidace a naplynění). Současně mají pozitivní vliv na zapalování a stabilitu oblouku během celého procesu svařování. Dále má volba ochranného plynu vliv na tepelný příkon elektrického oblouku, na tekutost a celkové formování svarového kovu. Ochranné plyny se dodávají stlačené v tlakových lahvích, běžný tlak je v rozmezí 200 – 300 bar.[1]

Dle funkce můžeme rozdělit ochranné plyny pro TIG svařování do třech základních skupin.

1. Inertní plyny (argon, helium a jejich směsi)
2. Redukční plyny (argon+vodík, dusík+vodík)
3. Nereagující plyny (dusík) [1]

### 4.1 Argon

Argon je inertní plyn, se žádným prvkem není schopen tvořit chemické sloučeniny. Je to bezbarvý jednoatomový plyn, bez chutě a vůně. Argon má malou tepelnou vodivost a malý ionizační potenciál. Oblouk se v argonu dobře zapaluje, hoří velice stabilně a dosahuje vysoké teploty. Hustota argonu ( $1,784 \text{ Kg/m}^3$ ) je větší než hustota vzduchu ( $1,29 \text{ Kg/m}^3$ ), což má příznivý dopad na efektivnost plynové ochrany. Běžně se používá argon čistoty 4.6 (99,996) nebo 4.8 (99,998). Cena plynu se odvíjí od jeho čistoty. [1]

### 4.2 Helium

Helium je jednoatomový inertní plyn bez chuti, vůně a barvy. Oproti argonu má několikanásobně menší hustotu ( $0,178 \text{ Kg/m}^3$ ), je lehčí než vzduch, proto má tendenci stoupat. Proto se obecně na plynovou ochranu spotřebuje víc helia než argonu. Helium má vyšší tepelnou vodivost a ionizační potenciál než argon, elektrický oblouk se hůře zapaluje, je stabilní jen při malých délkách a v porovnání s argonem má i nižší teplotu. Tepelný výkon oblouku je ale velmi vysoký, toho využíváme při svařování materiálů větších tloušťek k dosažení většího průvaru. Běžná čistota stlačeného helia je 4.6 (99,996). [1]

### 4.3 Směs argonu a helia

Směsi argonu a helia představují samostatnou skupinu inertních plynů. Jejich poměr může být v podstatě libovolný, nejčastěji se používá směs Ar-He 70/30, Ar-He 50/50 a Ar-He 30/70 v procentech obsaženého plynu ve směsi. Se stoupajícím procentem helia se zlepšuje tepelný výkon oblouku, zvětšuje se průvar, tudíž je možné použít vyšší svařovací rychlosti pro zvýšení produktivity procesu svařování. [1,7]

### 4.4 Příměsi vodíku a dusíku

Příměsi vodíku do argonu se běžně pohybují mezi 2-10 %. Vodík zvyšuje tekutost svarového kovu, zvyšuje průvar a tím vede k nižší spotřebě plynu. Svařování feritických a martenzitických ocelí za použití příměsi vodíku je vyloučeno z důvodu rizika vzniku vodíkové křehkosti. Dusík je austenitotvorný prvek, má ve směsi podobný účinek jako vodík, ale běžně se používá k sekundární ochraně kořene svaru, kde může být ve větší koncentraci. Pro primární ochranu by se směs argonu a dusíku neměla používat z důvodu zhoršení vlastností svaru, zejména jeho zkřehnutí. [1,7]

### 4.5 Sekundární plynová ochrana

Mezi sekundární plynovou ochranu řadíme přípravek pro ochranu kořene svaru a dodatečnou ochranu povrchu svaru. Při svařování tenkých plechů je sekundární ochrana kořene řešena přívodem ochranného plynu do speciálního přípravku, obvykle se jedná o speciálně uzpůsobený přípravek s drážkou, do kterého je zespodu přiváděn formovací plyn. Dodatečná ochrana zajišťuje chladnutí povrchu svaru bez přístupu okolní atmosféry. V případě TIG svařování užíváme tzv. vlečné ochrany. Přípravek je připevněn přímo na hořák a s hořákem se pohybuje. Plyn je do něj přiváděn buďto hořákem samotným, nebo samostatnou přívodní hadicí. Vlečná ochrana by měla zajistit dodatečnou ochranu povrchu svaru až do doby, než zchladne pod kritickou teplotou a povrch svaru nebude oxidovat. [1]

## 5. Wolframové elektrody

Neodtavující se wolframové elektrody pro TIG svařování jsou wolframové tyčky kruhového průřezu, které se upínají do hořáku pomocí systému kleštinového upínání, do kterého je přiváděn svařovací proud. Wolfram (anglicky tungsten) je šedý až bílý lesklý kov s velmi vysokou teplotou tavení (3422°C). Wolframové elektrody se účastní procesu hoření oblouku, zapojené buď jako anoda nebo jako katoda, aniž by došlo k jejich odtavování a přímo ovlivňují vlastnosti elektrického oblouku. Za účelem lepších svařovacích vlastností se do wolframových elektrod přidávají příměsi oxidů některých prvků, které usnadňují emisi elektronů ( $\text{ThO}_2$ ,  $\text{La}_2\text{O}_3$ ,  $\text{ZrO}_2$ , nebo  $\text{CeO}_2$ ). Takto legované elektrody mají lepší svařovací vlastnosti a také delší životnost.[1,8]

Značení wolframových elektrod vychází z určitých zásad. První písmeno W označuje wolfram jako základní prvek. Druhé písmeno nebo písmena charakterizují použitou oxidickou přísadu v dané wolframové elektrodě,  $\text{ThO}_2$  – oxid thoričitý,  $\text{La}_2\text{O}_3$  – oxid lanthanitý,  $\text{ZrO}_2$  – oxid zirkoničitý,  $\text{CeO}_2$  - oxid ceričitý, písmeno P (pure) charakterizuje čistý wolfram. Občas se můžeme setkat s elektrodami s příměsí oxidů yttria nebo skandia, popřípadě s elektrodami s příměsí dvou různých oxidů, ty ale norma neuvádí. Číslo za základním označením charakterizuje procentuální obsah daného oxidu vynásobený deseti. [1,24]

### 5.1 Druhy wolframových elektrod

Tabulka 1.: Značení jednotlivých druhů elektrod dle ČSN EN ISO 6848 [18]

Značení elektrody	Legování	Barevné označení
WP	-	Zelená
WTh10	0,8-1,2% $\text{ThO}_2$	Žlutá
WTh20	1,7-2,2% $\text{ThO}_2$	Červená
WTh30	2,8-3,2% $\text{ThO}_2$	Fialová
WCe20	1,8-2,2% $\text{CeO}_2$	Šedá
WLa10	0,8-1,2% $\text{La}_2\text{O}_3$	Černá
WLa15	1,3-1,7% $\text{La}_2\text{O}_3$	Zlatá
WLa20	1,8-2,2% $\text{La}_2\text{O}_3$	Modrá
WZr3	0,15-0,5% $\text{ZrO}_2$	Hnědá
WZr8	0,7-0,9% $\text{ZrO}_2$	Bílá

**WP** – Elektroda z čistého wolframu, používá se pro svařování hliníku a jeho slitin střídavým proudem, nebrousí se do špičky, dochází k jejímu zakulacení vlivem většího tepelného zatížení za vzniku tzv. kaloty. Pro svařování stejnosměrným proudem je nevhodná.

**WTh** – Elektroda s příměsí oxidu thoričitého, má ze všech druhů elektrod nejlepší vlastnosti, oblouk se dobře zapaluje, elektroda je vysoce trvanlivá, další výhodou je vysoká proudová zatížitelnost wolframové elektrody s touto příměsí, používá se pro svařování legovaných a korozivzdorných ocelí stejnosměrným proudem. Od používání WT elektrod se ve většině zemí upouští z důvodu jejich radioaktivity, při jejich používání je nutné odsávání jak při svařování tak při jejich broušení.

**WCe** – Příměs oxidu ceria se hodí pro svařování stejnosměrným i střídavým proudem. Jedná se v podstatě o univerzální elektrody vhodné pro svařování většiny materiálů, mají podobné vlastnosti jako WT elektrody, ale nezatěžují přírodu a zdraví svářeče.

**WLa** – Oxid lanthanu jakožto příměs zlepšuje svařovací vlastnosti elektrody zejména zapalování elektrického oblouku a vlastnosti v oblasti nízkých proudů, proto se používá při svařování plasmou a mikroplasmou.

**WZr** – Elektrody s příměsí zirkonu ve formě jeho oxidu se používají jako náhrada WP elektrod při svařování střídavým proudem. Obsah zirkonu minimalizuje tvorbu wolframových vměstků a tím příznivě ovlivňuje kvalitu svarového spoje. [9]

## 5.2 Normalizované rozměry netavicích se wolframových elektrod dle ČSN EN ISO 6848

Wolframové elektrody se standardně vyrábějí v průměrech **0,25; 0,30; 0,50; 1,0; 1,5; 1,6; 2,0; 2,4; 2,5; 3,0; 3,2; 4,0; 4,8; 5,0; 6,3; 6,4; 8,0 a 10** [mm]

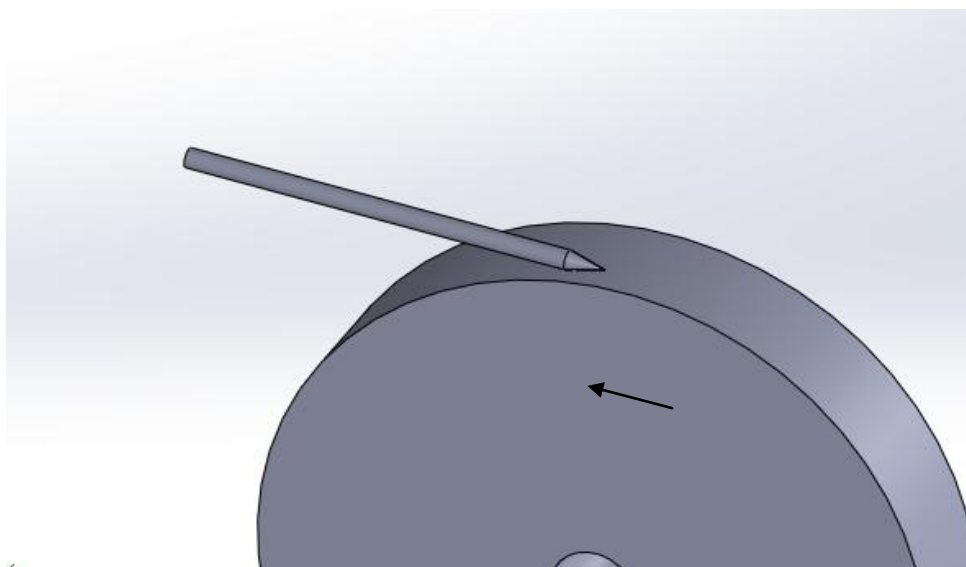
Standardně vyráběné délky elektrod jsou **50, 75, 150, 175, 300, 450 a 600** [mm] [18]

Tabulka 2.: Proudové zatížitelnosti wolframových elektrod v závislosti na jejich průměru a způsobu zapojení [18]

Průměr elektrody [mm]	Stojnosměrný proud [A]			Střídavý proud při bilanci 50% [A]	
	(-)pól	(+)pól		legovaná	čistý wolfram
	legovaná	legovaná	čistý wolfram		
1	10-75	-		25-75	25-60
1,6	45-150	10-20	10-20	40-110	50-100
2,4	75-220	15-30	15-30	65-150	70-130
3,2	85-330	20-35	20-35	75-170	90-150
4	100-400	35-50	35-50	85-210	95-170
4,8	120-480	50-70	50-70	90-300	100-240
6,4	150-650	70-125	70-125	-	125-375

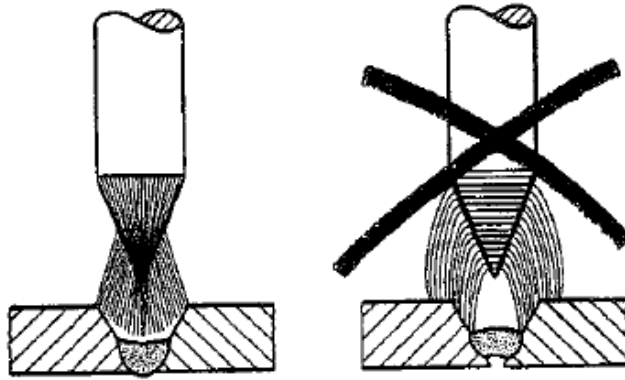
### 5.3 Broušení wolframových elektrod

Geometrie špičky wolframové elektrody má významný vliv na svařovací proces, úhel nabroušení špičky ovlivňuje průvar, šířku tepelně ovlivněné oblasti a životnost elektrody v závislosti na použitých svařovacích parametrech. Špička by měla být souosá, broušená kolmo k ose jemného diamantového brusného kotouče tak, aby nedošlo k jejímu poškození. Drsnost broušeného konce ovlivňuje zapalovací vlastnosti a vlastnosti elektrického oblouku. [1,9]



Obr. 10 Schéma broušení wolframové elektrody

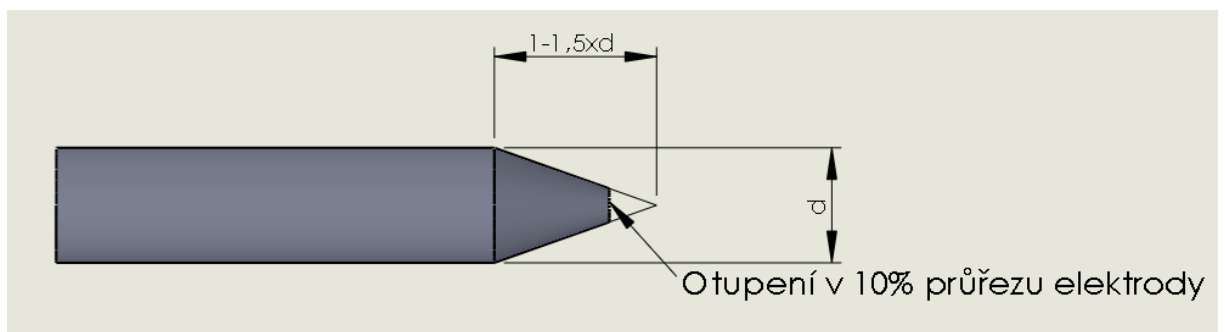




Obr. 11 Vliv podélného a příčného způsobu broušení wolframové elektrody [9]

Elektrodu je potřeba brousit tak, že její osa je kolmá na osu brusného kotouče, vrypy po brusném kotouči jsou podélné, což nemá negativní vliv na stabilitu oblouku jako ve druhém případě broušení, kdy byla osa elektrody s osou kotouče rovnoběžná. Broušený povrch by měl být co nejméně drsný. Vystředění špičky je zejména při robotizovaném svařování velmi důležité. Špička, která je mimo osu elektrody způsobuje špatnou geometrii oblouku, jeho nestabilitu a přívod energie na nesprávné místo. [1,9]

Obecné doporučení pro broušení špičky elektrod uvádí, že délka špičky by měla být jeden až jeden a půl násobek jejího průměru. Otupení špičky elektrody do cca 10% jejího průřezu by mělo zapříčinit její delší životnost. S rostoucím proudovým zatížením je doporučeno vrcholový úhel zvětšit kvůli většímu proudovému zatížení špičky elektrody. [1,9]



Obr. 12 Obecné doporučení pro broušení špičky wolframové elektrody



Obr. 13 Speciální brusky s možností nastavení vrcholového úhlu elektrody [19]

Brusky jsou z hlediska hygieny na pracovišti konstruované tak, aby při broušení elektrod nedocházelo k uvolňování škodlivých částic do okolí a při nebylo nutno používat ochranných pomůcek.

## 6. Materiálová charakteristika

### 6.1 Korozivzdorné oceli

Korozivzdorné oceli jsou vysoce legované oceli, které mají zvýšenou odolnost vůči chemické a elektrochemické korozi. Tyto oceli nepotřebují speciální povrchovou úpravu, aby korozi odolávaly. Díky legujícím prvkům se na jejich povrchu tvoří pasivační oxidická vrstva chránící materiál proti korozi.

Podle chemického složení a strukturních složek můžeme oceli rozdělit na feritické, martenzitické, austenitické a duplexní. [10,11]

#### 6.1.1 Feritické korozivzdorné oceli

Feritické oceli si zachovávají feritickou strukturu jak při pokojové teplotě tak i při teplotách běžného tepelného zpracování od 750°C do 900°C. V důsledku zachování feritické struktury, nejsou tyto oceli kalitelné, nedochází k přeměně feritu na austenit, proto nelze v rámci kalení vyloučit martenzitickou strukturu. [10,11,14]

Feritické oceli obsahují 13 – 30 % chromu a obsah uhlíku je zpravidla pod 0,1 %. Použití těchto ocelí je zajímavé vzhledem k jejich odolnosti proti koroznímu praskání. Nevýhodou je náchylnost ke křehnutí za vysokých teplot nad 900 °C a křehnutí vlivem tvorby fáze, které značně ovlivňují mechanické vlastnosti. Moderní typy feritických ocelí jsou svařitelné, ale vykazují růst zrna v tepelně ovlivněné oblasti. Pro prevenci vzniku trhlin při chladnutí je doporučován předehřev. [10,11,14]

### 6.1.2 Martenzitické korozivzdorné oceli

Martenzitické korozivzdorné oceli jsou oceli, které běžně obsahují chrom od 11 do 13 % a uhlík do 1,5 %. Po zakalení vykazují martenzitickou strukturu. Kalením a následným popouštěním lze dosáhnout pevnosti až 2000 MPa. Martenzitické korozivzdorné oceli jsou využívány hlavně pro jejich pevnost, tvrdost a korozní odolnost. Houževnatost těchto ocelí je omezená a snižuje se s rostoucím obsahem uhlíku. Při porovnání s ostatními druhy korozivzdorných ocelí je svařitelnost horší, ocel vyžaduje předehřev a je náchylná ke vzniku trhlin za studena.[10,11]

### 6.1.3 Austenitické korozivzdorné oceli

Austenitické korozivzdorné oceli dosahují austenitické struktury za normálních teplot i při teplotách pod bodem mrazu. Vyznačují se nízkou mezí kluzu (230-300 MPa) a poměrně vysokou tažností (45-65 %). Jsou vhodné především ke tváření za studena, jehož vlivem lze dosáhnout zvýšení meze kluzu na 510–900 MPa, za snížení tažnosti o 10-25 %. Tyto oceli jsou nemagnetické, podíl zbytkového feritu (3-10%) může způsobit slabé magnetické vlastnosti. Austenitickou strukturu v tomto případě zajišťují austenitotvorné prvky, především nikl, jehož limitní obsah je 6% a mangan. Austenitické korozivzdorné oceli se vyrábí především v následujících skupinách. [12]

- chróm-niklové oceli s 0,01–0,15 % uhlíku, 12–25 % chrómu, 8–38 % niklu, s možnými dalšími legurami – dusík, molybden, měď, křemík a stabilizované titanem a niobem

- chróm-mangan-niklové s 0,02–0,15 % uhlíku, 12–22 % chromu, 5–12 % manganu, 3–8 % niklu, s možnými dalšími legurami – dusík, molybden a měď, stabilizované titanem a niobem
- chróm-manganové s 0,02–0,08 % uhlíku, 10–18 % chromu, 14–25 % manganu, 3–8 % niklu, s možnými dalšími legurami – dusík, molybden a měď, stabilizované titanem a niobem. [12]

Nejrozšířenější jsou nerezové oceli s obsahem 0,08 % uhlíku, 18 % chromu a 10 % niklu. Tyto oceli se nejvíce používají v potravinářském průmyslu. Jejich velkou předností je velmi dobrá korozní odolnost proti solným roztokům, živočišným produktům a jsou velmi dobře čistitelné. [12]

#### 6.1.4 Duplexní korozivzdorné oceli

Duplexní nerezavějící oceli zahrnují velkou skupinu ocelí, od nízkolegovaných, přes běžně používané typy 22% Cr, po vysoce legované super-duplexní a hyper-duplexní typy pro náročnější aplikace. Všechny tyto typy představují vyhledávanou kombinaci vlastností velké pevnosti a dobré odolnosti proti korozi díky své dvoufázové mikrostruktuře obsahující strukturní složku austenitu i feritu. Ferit se v této struktuře může vyskytovat ve 30-50 % podílu, který je závislý na přítomnosti feritotvorných a austenitotvorných prvků. Takováto ocel vykazuje dobré mechanické vlastnosti a dobrou svařitelnost. Typické složení 80 % duplexních ocelí je 22–23 % chromu, 4,5–6,5 % niklu a 3–3,5 % molybdenu. [12,14]



Obr. 14 Austenitická korozivzdorná ocel v potravinářství [13]

Tabulka 3.: Porovnání vlastností a složení hlavních typů nerezavějících ocelí [14]

Typ nerezové oceli	Chemické složení [%]		Aplikace	Zástupce
	Běžná jakost	Speciální jakost		
feritické	<0,08 C 10,5-19 Cr 0-2,5 Ni 0-2,5 Mo +Ti,Nb	Zvýšený obsah Cr, Mo Extra nízký obsah C,N	Chemický průmysl Potravinářský průmysl	X6Cr13 (1. 4000) X3CrTi17 (1. 4510)
martenzitické	0,1-0,5 C 11-17 Cr 0-2,5 Ni 0-0,1 Mo	Zvýšený obsah Cr, Mo, C Velmi nízký obsah C Někdy + Ni, Ti, V Precipitačně zpevněné, např Cu, N	Nářadí Strojní díly Chemický průmysl Energetika	X12Cr13 (1. 4006) X20Cr13 (1. 4021)
austenitické	<0,08 C 16-19 Cr 6-16 Ni 0-5 Mo	Zvýšený obsah Cr, Mo, Ni Stabilizované Ti, Nb Někdy zvýšený obsah Cu, N Zlepšená obrobiteľnosť se S	Zařízení, nádoby a potrubí pro potravinářský, chemický průmysl a energetiku	X5CrNi18-10 (1. 4301) X6CrNiTi 18-10 (1. 4541)
duplexní	<0,03 C 16-30 Cr 1,5-8 Ni 1-5 Mn 0-4 Mo	Zvýšený obsah Cr, Mo, N Někdy zvýšený obsah Cu, W	Chemický průmysl Energetika	X2CrNiN23-4 (1.4362) X2CrNiMoCuN25-6-3 (1.4507)

## 6.2 Austenitická korozivzdorná ocel 1.4301 (X5CrNi18-10)

Korozivzdorná ocel, která byla použita k experimentu, velmi dobře odolává atmosférické korozi v ne příliš znečištěném prostředí, zředěné kyselině dusičné a některým organickým kyselinám. Díky své odolnosti vůči ovocným šťávám, mléčným výrobkům nebo vůči chmelovým produktům se velmi často užívá v oblasti potravinářství. Je nemagnetická, částečná feromagnetické vlastnosti mohou být způsobeny zbytkovým podílem martenzitu vzniklým během deformace za tepla. Deformační i zbytkový martenzit lze odstranit žíháním.[15,16]

### Chemické složení

Ocel je nově značená dle ČSN 10088-1 **1.4301** ( X5CrNi 18-10 )  
staré označení AISI 304, ČSN 17240, AKV 7[16]

Tabulka 4.: Chemické složení tavby dle EN 10088 v procentech [15]

C	Si	Mn	P	S	N	Cr	Ni
<=0,07	<=1,00	<=2,00	Max. 0,045	Max. 0,030	<=0,11	17-19,50	8,00-10,50

Tabulka 5.: Mechanické vlastnosti pro plechy a pásy dle EN 10088-2 ve stavu po rozpouštěcím žhánání [15]

Mez pevnosti $R_m$	Mez kluzu $R_{p0,2}$	Tažnost $A_{80mm}$
520 - 750 MPa	min. 210 MPa	min. 45 %

Ocel je nemagnetická, nekalitelná. Má sklon ke zpevnování za studena při tažení, nebo při třískovém obrábění při použití nevhodných řezných podmínek. Zpevnění vzniká přetvořením austenitu na deformační martenzit, který zvýší pevnost, sníží tažnost a způsobí slabé magnetické vlastnosti. Ocel se zpracovává stříháním, ohýbáním, tažením. Třísková obrobiteľnosť je snižená, je nutné používat rychlořezné nástroje vyšších jakostí, ocel je leštiteľná.[16]

## Svařitelnost

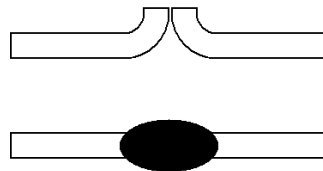
Ocel je svařitelná, ale v oblasti svaru náchylná ke vzniku mezikrystalové koroze, ohřev nad 450°C způsobí snížení obsahu chromu v blízkosti hranic zrn a tím vzroste náchylnost ke vzniku koroze právě v místech svařování. [16]

## 7. Teorie svařování tenkých plechů

Existují dvě definice tenkého plechu, buďto se jedná o tenký plech válcovaný za studena o tloušťce 0,6 – 3 mm nebo o tenký plech válcovaný za tepla o tloušťce 1,5 – 4 mm. Experiment se bude zabývat svařováním za studena válcovaných plechů o tloušťce 0,8 - 1 mm. [17]

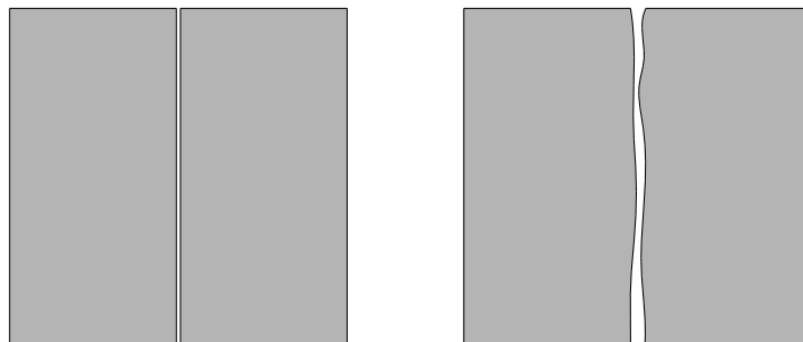
Čím je plech slabší, tím větší hrozí riziko jeho deformace, přičemž deformace u korozivzdorných plechů je výraznější než u plechů z běžné uhlíkaté oceli. S klesající tloušťkou plechů rostou nároky na přesnost sestavení jednotlivých svařovaných dílců. Metoda TIG je pro svařování austenitických korozivzdorných ocelí ideální z hlediska již zmíněné kvality svarového spoje a ochrany kořene svaru. [17]

Tenké plechy můžeme svařovat bez přídavného materiálu nebo s přídavným materiálem. Svařování bez přídavného materiálu se nedoporučuje z hlediska vyšších nároků na kvalitu sestavených dílců, tak aby nedošlo k propálení materiálu a nižší produktivity svařování. Z tohoto při svařování bez přídavného materiálu upřednostňujeme takzvaný lemový svar jak je patrné z obrázku číslo 15. Lemový svar spočívá ve vytvoření malých lemů ohnutých pod úhlem devadesáti stupňů směrem k hořáku v místě budoucího svarového spoje. Tyto lemy zajistí dostatek materiálu na spolehlivé slití svarového spoje bez nutnosti použití přídavného materiálu (viz obrázek 15). [1]



Obr. 15 Jednoduché schéma lemového svaru [2]

Tupé spoje jsou charakteristické rovnoměrným rozložením napětí v základním materiálu a ve svarovém kovu, celkově mají lepší vlastnosti v porovnání s koutovými svary. Dále je charakterizuje dvojsměrný odvod tepla a na jejich vyhotovení spotřebujeme celkově nejméně tepla. Tvar a rozměry svarových ploch podstatně ovlivňují spotřebu přídavných materiálů a tím hospodárnost TIG svařování. Konstantní a zároveň co možná nejmenší mezera mezi svařovanými plechy je základem úspěchu vyhotovení svarového spoje kvalitně, hospodárně a bez propalů. [1]



Obr. 16 Příklad správně a špatně připravených svarových ploch, pohled shora

Při upínání plechů do přípravku se doporučuje dodržovat některé zásady. Je potřeba zabezpečit již zmíněnou stejnou šířku mezery po celé délce svarového spoje. Tenké plechy se doporučuje upínat na kovovou podložku a upravit do lemu nebo mírně předehnout kvůli zvýšení tuhosti spoje a snížení deformace plechů během svařování. Podložka by měla být navržena tak, aby odváděla co nejméně tepla. [1]

Pro minimalizaci vneseného tepla a s tím souvisejících deformací tenkého plechu využíváme pulzního svařování. Takto zhotovený svarový spoj vykazuje lepší plastické vlastnosti, nižší náchylnost k praskání, svar má lepší celistvost a dochází k pravidelnému formování jeho povrchu a kořene. [1]



## 8. Experimentální část

Experimentální část se zabývá přezkoumáním skutečného vlivu tvaru špičky elektrody na výsledné parametry svaru. Níže uvedené geometrie byly vybrány dle doporučení z odborné literatury, odvozené varianty byly po konzultaci s vedoucím práce navrženy pro pestrost experimentu. [1]

Práce navazuje na diplomovou práci Ing. Ondřeje Slabého s cílem vyřešit problém vzniku vrubů podél svaru, které se objevují při vyšších svařovacích rychlostech pomocí změny geometrie špičky wolframové elektrody.

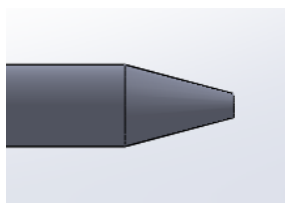
### 8.1 Wolframové elektrody

Pro experiment byla zvolena elektroda WLa20 o průměru 2,4mm. Elektroda má dobré zapalovací vlastnosti, hoří stabilním obloukem i při nízkých hodnotách proudů a je všeobecně vhodná pro automatizované svařování.

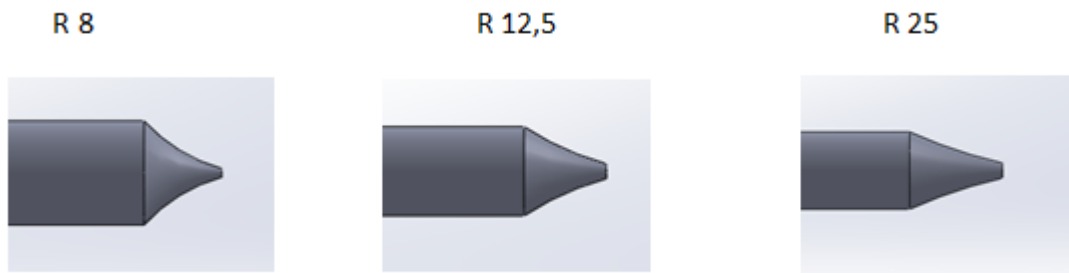
Postupně bylo navrženo a nabroušeno několik druhů geometrií špičky wolframové elektrody:



Obr. 17 Elektrody běžné geometrie s rozdílnými vrcholovými úhly



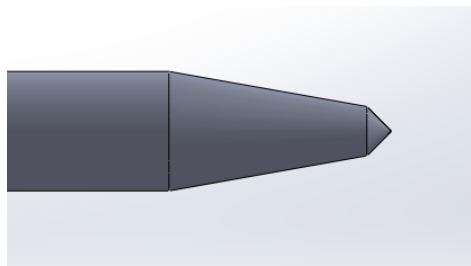
Obr. 18 Elektroda s vrcholovým úhlem 30° a špičkou otupenou do 10% jejího průřezu



Obr. 19 Speciální geometrie typu „rádius“



Obr. 20 Speciální geometrie typu „nožové ostří“

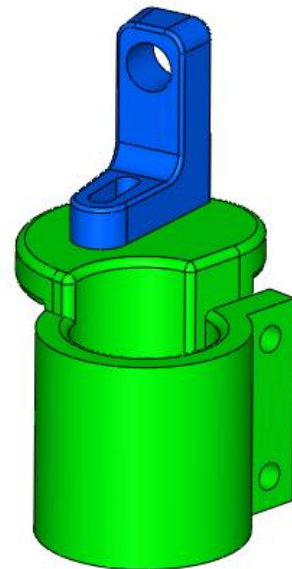


Obr. 21 Speciální geometrie typu „dvojitý kužel“

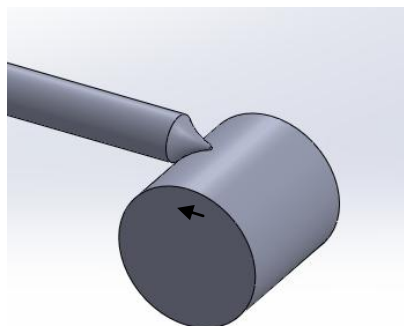
## 8.2 Broušení wolframových elektrod

Pro broušení většiny navržených geometrií byla použita konvenční bruska, přímo určená pro broušení wolframových elektrod od firmy INELCO (viz obr. 13). Bruska disponuje plynulým nastavením úhlu broušení (od  $0^\circ$  do  $180^\circ$ ) a integrovaným filtrem částic uvolňujících se do okolí při broušení. Jemný diamantový kotouč zde zajišťuje požadovanou drsnost broušeného povrchu.

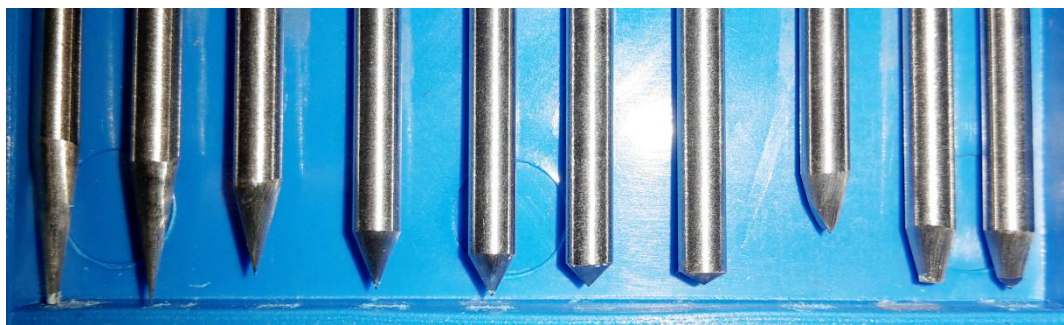
Kvůli broušení geometrií typu R8, R12,5 a R25 byl navržen speciální přípravek pro broušení rádiusů, převážně vyrobený pomocí 3D tisku, viz obr. 22. Použita byla stopková bruska, jemná korundová brusná tělíska a kleštinový upínač elektrod používaný pro broušení běžných typů geometrií. Přípravek byl upnut na vřeteno stopkové brusky a jeho vrchní část nastavena tak, aby elektroda směřovala tečně vzhledem k brusnému tělísku (viz obrázek 22).



Obr. 22 Přípravek pro broušení rádiusů

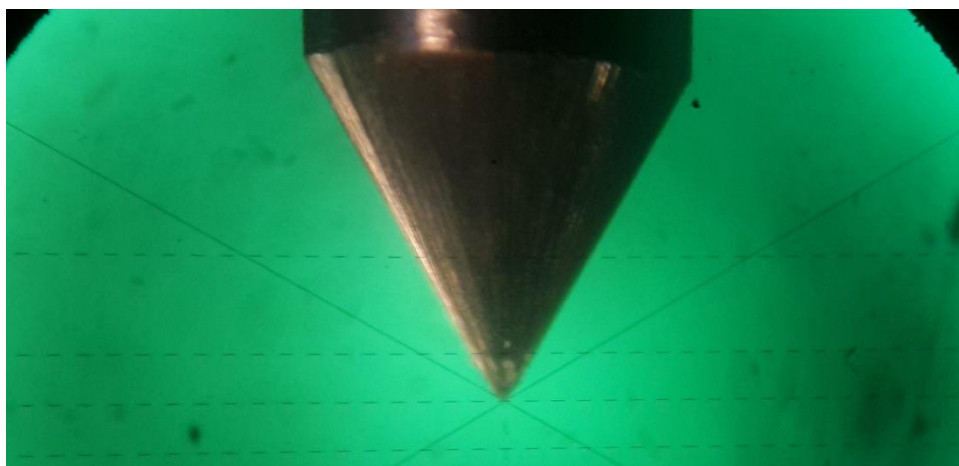


Obr. 23 Broušení rádiusu schematicky

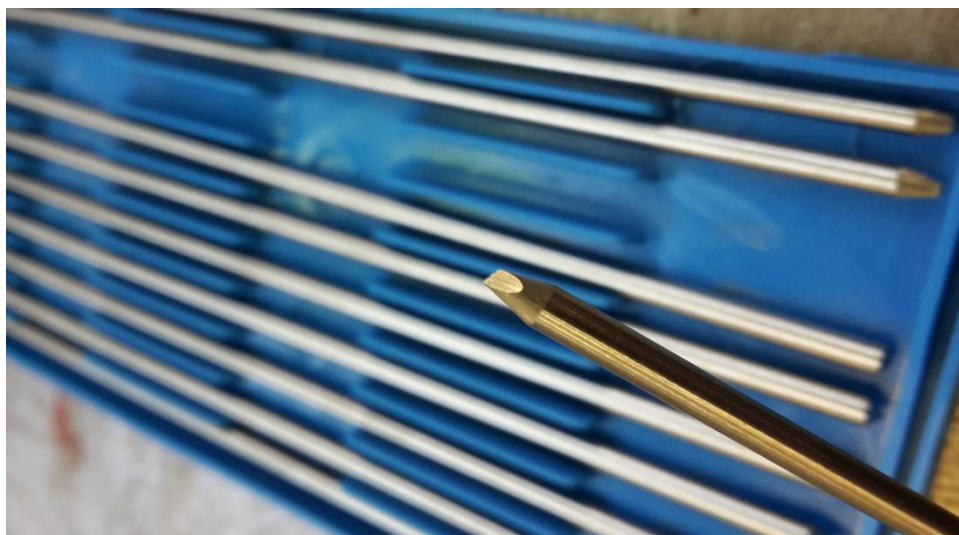


15° 20° 30° 45° 60° 90° 120° 30°+60°NO 30°SŠ 30°+90°DK

Obr. 24 Výsledek broušení



Obr. 25 Kontrola na souřadnicovém mikroskopu (60°)



Obr. 26 Výsledek broušení (nožové ostří)

Způsob broušení geometrie typu dvojitý kužel spočívá pouze v přenastavení broušeného úhlu na brusce. Nejprve byl nabroušen úhel 30°, poté došlo k přenastavení úhlu na brusce na úhel 90° bez korekce polohy elektrody v kleštinovém upínači a ubroušení špičky elektrody pod úhlem 90°.

Způsob broušení geometrie typu nožové ostří je obdobný, ale o něco náročnější. Nejprve došlo k nabroušení kužele o úhlu 30°, poté byla bruska přenastavena na úhel 60°. Následně byly ubroušeny dvě rovinné plochy. Ustavení kleštiny bylo vymezeno pomocí rysek vůči sobě pootočených o 180°.

Kontrolou na souřadnicovém mikroskopu (viz obr. 25) byly naměřeny skutečné vrcholové úhly elektrod, hodnoty se pohybovaly v rozmezí  $\pm 1^\circ$ , což bylo pro experiment přijatelné.

### 8.3 Fotodokumentace elektrického oblouku při různých typech geometrií a konstantních parametrech svařování

U vybraných typů geometrií wolframových elektrod (viz tabulka č. 6), byla provedena fotodokumentace elektrického oblouku za konstantních parametrů svařování ( $I=150A$ ,  $v_{sv}=50 \text{ cm/min}$ ). Cílem bylo najít vliv tvaru nabroušení elektrody na geometrii svaru. Geometrie elektrody má i značný vliv na tvar elektrického oblouku, proto došlo v první řadě k porovnání tvarů elektrických oblouků.

Pro lepší porovnání, byly fotografie upraveny v grafickém editoru GIMP. Nejprve byl použit nástroj Detekce hran, poté byl obrázek obarven a dokončen pomocí úpravy barevných křivek do finální podoby viz obr. 28.

Pro dokumentaci byla použita digitální zrcadlovka Nikon D90, podmínky focení: clona č. 4, ohnisková vzdálenost objektivu 85mm, mezikroužky 20+12mm, 0,01s čas

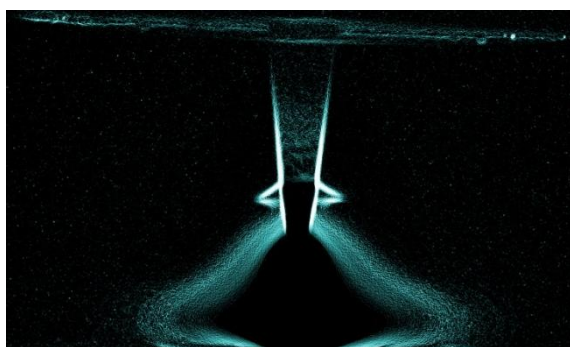


Obr. 27 Elektrický oblouk

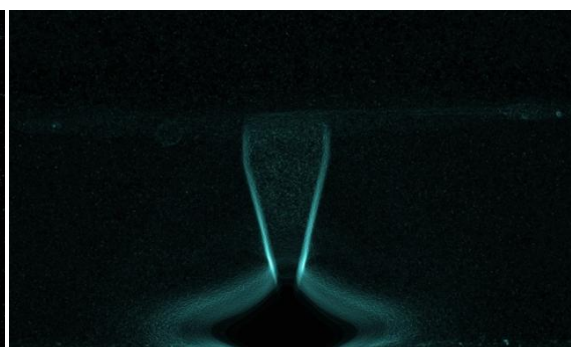


Obr. 28 Upravená fotografie

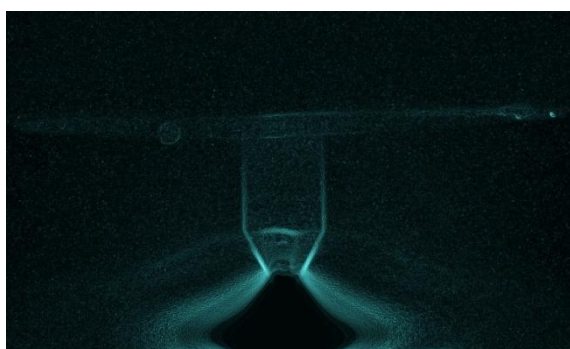




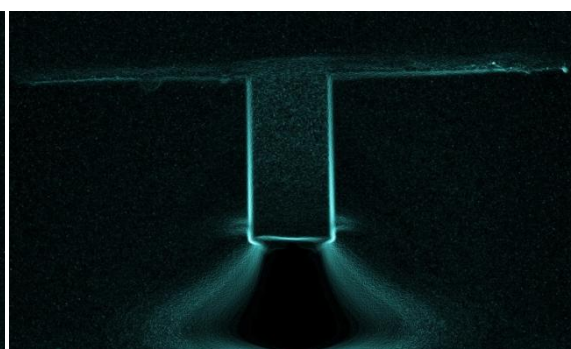
Obr. 29 Vrcholový úhel 15°



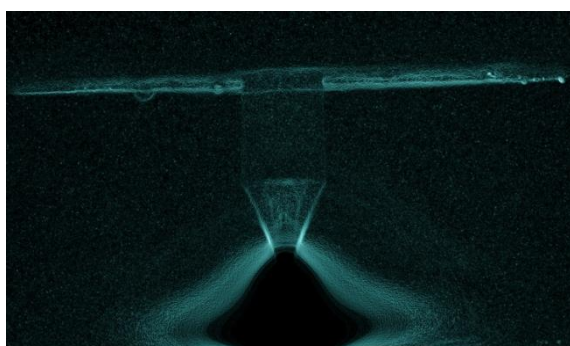
Obr. 30 Vrcholový úhel 30°



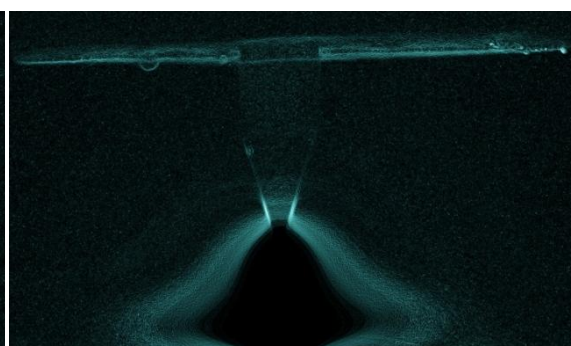
Obr. 31 Vrcholový úhel 60°



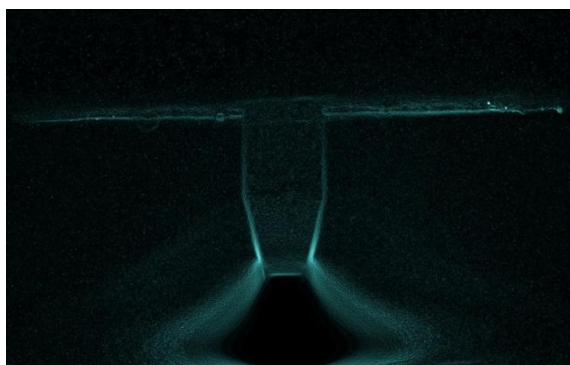
Obr. 32 Vrcholový úhel 120°



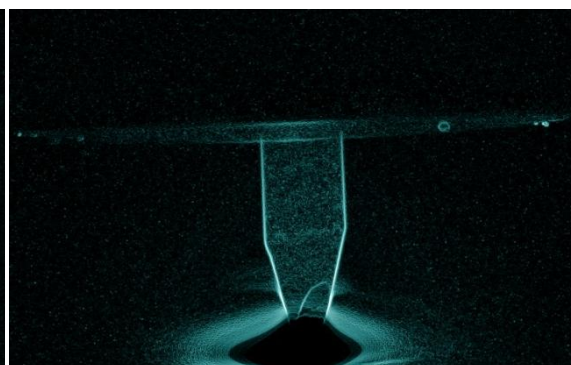
Obr. 33 Geometrie typu R8



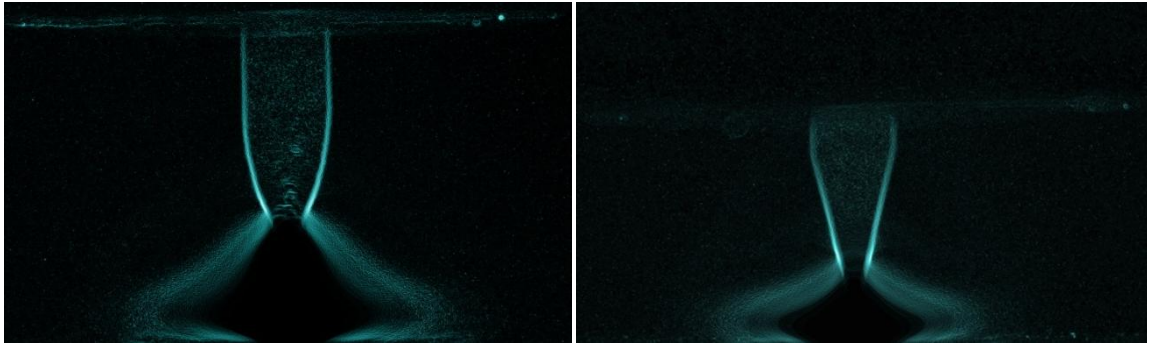
Obr. 34 Geometrie typu R25



Obr. 35 Dvojitý kužel, 30° a 90°



Obr. 36 Geometrie typu „nožové ostří“

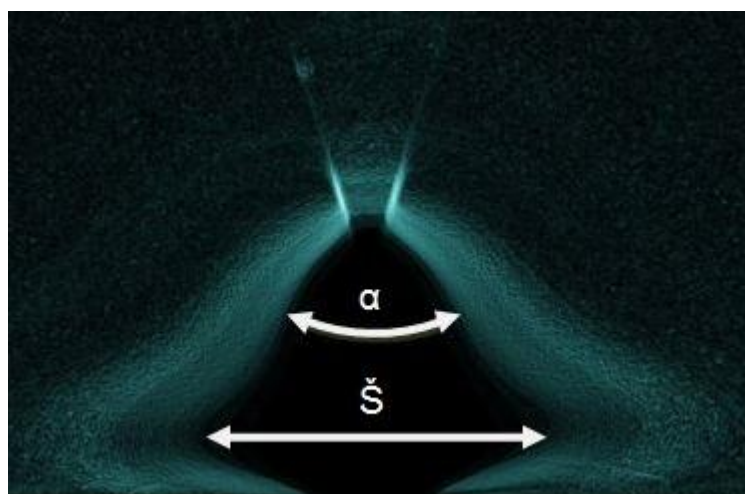


Obr. 37 Vlevo příčně broušená elektroda 30°, vpravo podélně broušená elektroda 30°

Tabulka 6.: Naměřené šířky elektrického oblouku v závislosti na geometrii špičky elektrody

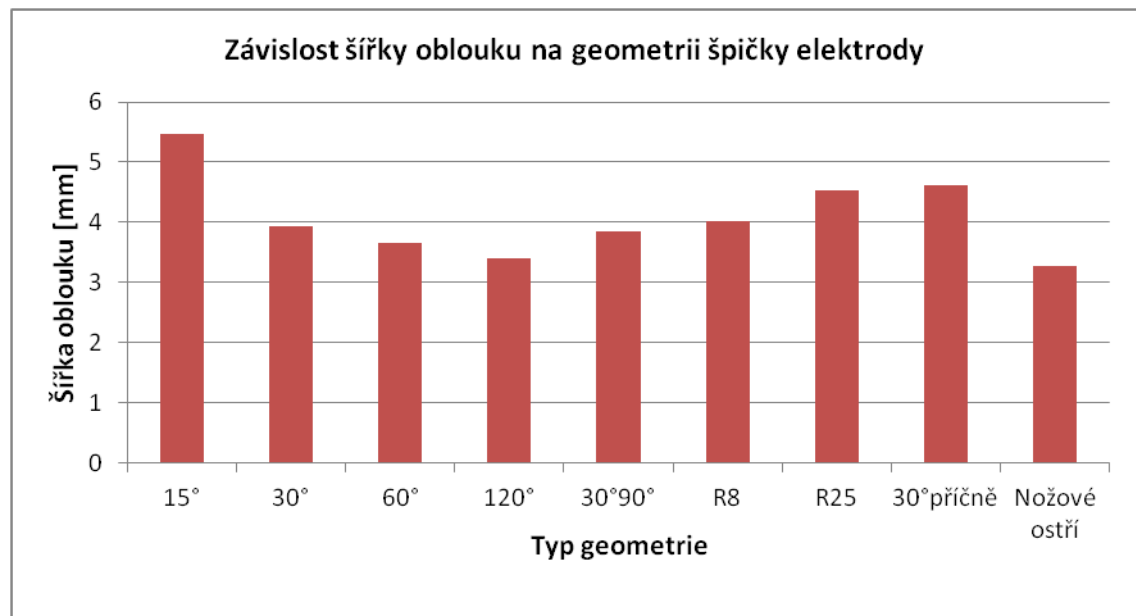
Tabulka šířek el. oblouku v závislosti na geometrii špičky elektrody		
Typ geometrie	Šířka oblouku $\check{S}$ [mm]	Vrcholový úhel oblouku $\alpha$
15°	5,46	68°
30°	3,94	96°
60°	3,65	78°
120°	3,40	28°
30°90°	3,86	56°
R8	4,03	68°
R25	4,53	60°
30°příčně	4,61	58°
Nožové ostří	3,27	106°, 96°
Koeficient	0,131233596	

10mm skutečných = 76,2mm na fotce



Obr. 38 Měřené parametry oblouku

Z obrázku č. 37 je patrný skutečný vliv orientace mikroskopických vrypů po brusném kotouči na broušeném povrchu elektrody na tvar elektrického oblouku. Výsledek měření potvrzuje předpokládaný vliv této skutečnosti na tvar elektrického oblouku, dle obrázku číslo 11, kapitola 5, (Vliv podélného a příčného způsobu broušení wolframové elektrody [9]).



Obr. 39 Graf závislosti šířky elektrického oblouku na geometrii elektrody

Z grafu viz obr. 39 a tabulky č. 6 je patrná jednoznačná závislost šířky elektrického oblouku na vrcholovém úhlu elektrody. S rostoucím vrcholovým úhlem elektrody klesá šířka elektrického oblouku. Tato závislost platí pro všechny zkoumané typy geometrií, jedinou výjimkou je geometrie typu nožové ostří, která vykazuje ze všech typů geometrií největší zúžení oblouku. Naměřený vrcholový úhel oblouku vycházejícího z elektrody nevykazuje jednoznačnou závislost.

## 8.4 Vliv tvaru elektrody na geometrii svaru

Pro posouzení vlivu geometrie na parametry svaru, zejména průvar a vznik vrubů podél svaru bylo provedeno celkem 26 návarů bez přídavného materiálu, 2 pro každý typ geometrie elektrody při rozdílných parametrech svařování. Dva rozdílné parametry svařování byly použity z důvodu posouzení jejich vlivu na geometrii svaru, například, jestli dosáhneme největší hodnoty průvaru s jedním typem geometrie při rozdílných parametrech svařování.



Vzdálenost elektrody od materiálu konstantní (2,4 mm), vyložení elektrody (kolmá vzdálenost od ústí keramické hubice hořáku) 5,5 mm.

Číslování typu XY(X/Y), X udává číslo geometrie (1-10, R8, R12,5, R25), Y je v rozsahu 1-2 a specifikuje použité parametry svařování.

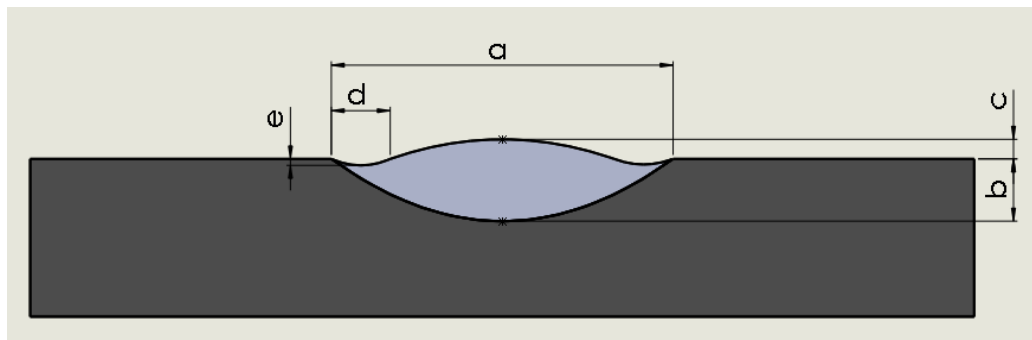
Pro Y=1, I = 200 A,  $v_{sv} = 100$  cm/min

Pro Y=2, I = 150 A,  $v_{sv} = 50$  cm/min

Vyhodnocení vzorků proběhlo vizuálně, poté byl u všech vzorků proveden metalografický výbrus (obr. 39).



Obr. 40 Vyhodnocení vzorků



Obr. 41 Zkoumané parametry svaru

Z vyhodnocovaných parametrů svaru je nejpodstatnější výskyt vrubů podél svaru, průvar a šířka svaru.

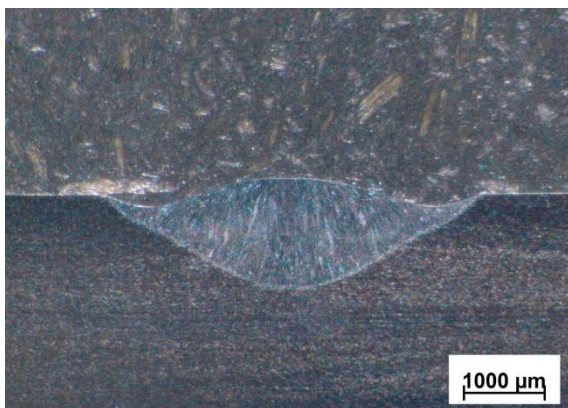
a – šířka svaru

b – průvar

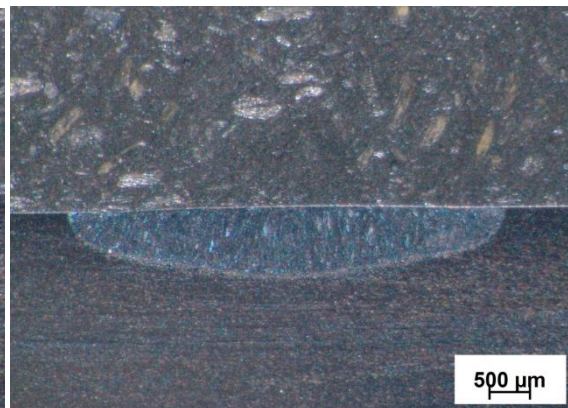
c – převýšení housenky

d - šířka vrubu

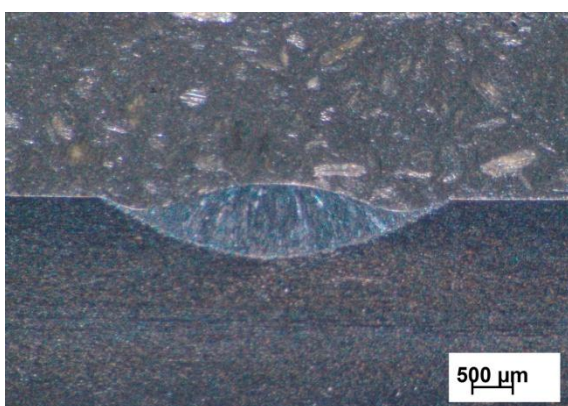
e - hloubka vrubu



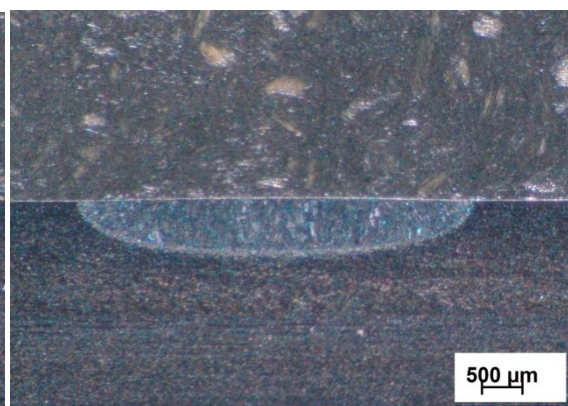
Obr. 42 Vzorek č.41, zvětšení 16x



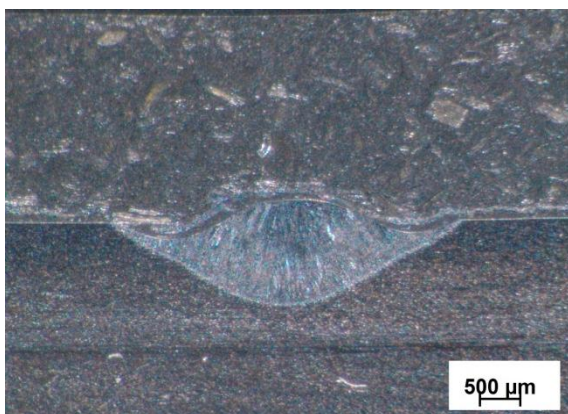
Obr. 43 Vzorek č. 42 zvětšení 16x



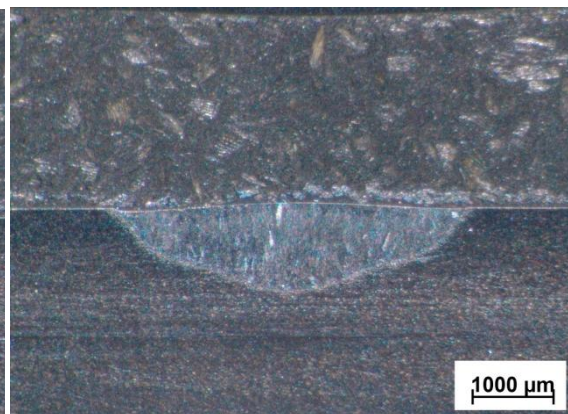
Obr. 44 Vzorek č.101, zvětšení 16x



Obr. 45 Vzorek č.102, zvětšení 16x



Obr. 46 Vzorek R25/1

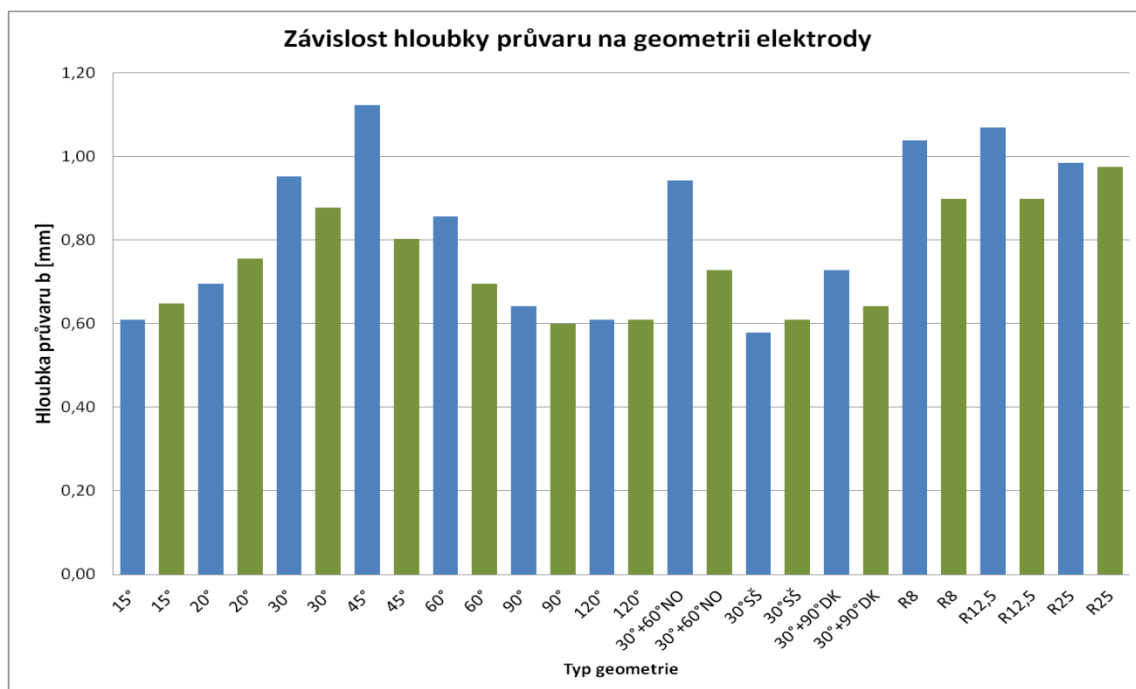


Obr. 47 Vzorek R25/2

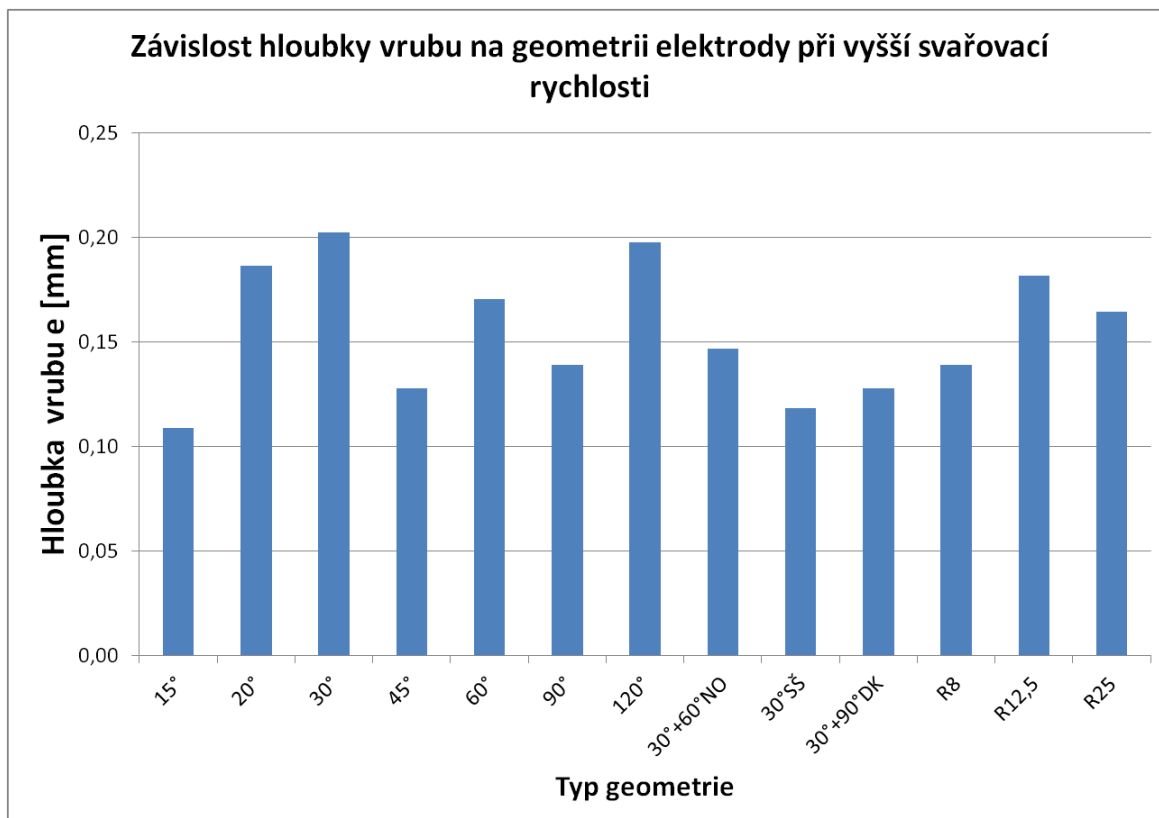
Tabulka 7.: Naměřené parametry jednotlivých svarů

Číslo	Geometrie	Parametry svaru (skutečná hodnota) [mm]				
		a	b	c	d	e
11	15°	4,02	0,61	0,28	1,03	0,11
12	15°	4,04	0,65	0,11	0,81	0,09
21	20°	4,12	0,70	0,24	1,25	0,19
22	20°	5,17	0,76	0,02	0,00	0,00
31	30°	4,34	0,95	0,27	1,23	0,20
32	30°	4,90	0,88	0,06	0,00	0,00
41	45°	4,60	1,12	0,19	1,13	0,13
42	45°	5,26	0,80	0,04	0,00	0,00
51	60°	4,18	0,86	0,26	1,21	0,17
52	60°	4,90	0,70	0,03	0,00	0,00
61	90°	4,11	0,64	0,14	1,11	0,14
62	90°	4,70	0,60	0,04	0,00	0,00
71	120°	4,22	0,61	0,17	1,05	0,20
72	120°	4,28	0,61	0,04	0,00	0,00
81	30°+60°NO	4,57	0,94	0,19	1,34	0,15
82	30°+60°NO	5,26	0,73	0,04	0,00	0,00
91	30°SŠ	4,17	0,58	0,25	1,16	0,12
92	30°SŠ	4,11	0,61	0,02	0,00	0,00
101	30°+90°DK	4,19	0,73	0,16	1,17	0,13
102	30°+90°DK	4,76	0,64	0,05	0,00	0,00
R8/1	R8	4,29	1,04	0,19	1,15	0,14
R8/2	R8	4,68	0,90	0,04	0,00	0,00
R12/1	R12,5	4,34	1,07	0,23	1,25	0,18
R12/2	R12,5	5,12	0,90	0,05	0,00	0,00
R25/1	R25	4,21	0,98	0,28	1,06	0,16
R25/2	R25	4,27	0,97	0,10	0,88	0,04

Pozn.: a - šířka svaru, b - průvar, c - převýšení housenky, d - šířka vrubu, e - hloubka vrubu

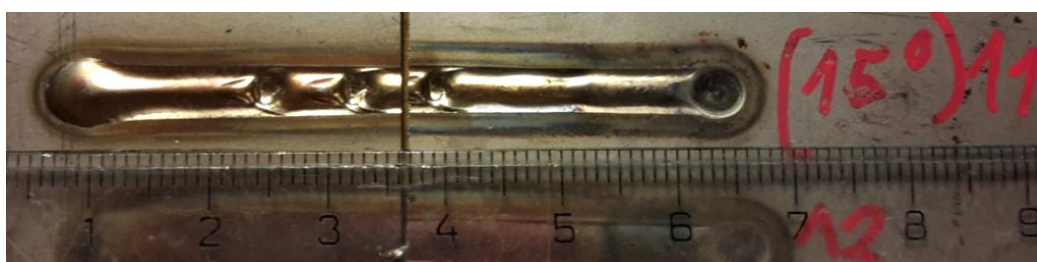


Obr. 48 Graf závislosti hloubky průvaru na geometrii elektrody



Obr. 49 Graf závislosti hloubky vrubu na geometrii elektrody

Nejmenší šířka svaru byla naměřena u geometrie typu 15°. Po vizuální stránce avšak svar nevyhovoval, svarová lázeň vykazovala propady (viz obr. 50), proto byla tato geometrie z následujícího vyhodnocování vyloučena. Výsledek měření byl přisouzen výraznému rozptýlu oblouku do stran, což je patrné z obr. 29.



Obr. 50 Nevyhovující svar



Obr. 51 Vyhovující svar

Největší průvar byl překvapivě dosažen u geometrie typu  $45^\circ$  (obr. 41). Vysoké a vyrovnané hodnoty průvaru při obou parametrech svařování, vykazovaly také geometrie typu R8, R12 a R25 (obr. 44, obr. 45).

Nejmenší převýšení svaru, při svařovací rychlosti 100cm/min bylo naměřeno u geometrie typu  $90^\circ$ . Nízkou hodnotu převýšení vykazovala také geometrie typu  $30^\circ+90^\circ$  dvojitý kužel.

Z hlediska vzniku vrubů, vykazovaly nejmenší hodnoty hloubky vrubu geometrie typu  $30^\circ$  SŠ (sražená špička),  $30^\circ+90^\circ$  dvojitý kužel (obr. 43) a geometrie typu  $45^\circ$  (obr. 41).

Z komplexního hlediska po přihlédnutí ke všem naměřeným parametrům a vizuálním ohodnocení svaru (viz obr. 51) byla jako nejvhodnější geometrie pro strojní svařování tenkých plechů vybrána geometrie typu dvojitý kužel z důvodu opticky minimálního vrubu podél svaru (naměřená hodnota je jedna z nejmenších) a předpokládané dlouhé trvanlivosti špičky elektrody což se následně při svařování plechů tloušťek 1mm potvrdilo.



## 9. Závěr

Pro účel bakalářské práce bylo postupně navrženo a následně nabroušeno celkem 14 typů geometrií špiček wolframových elektrod. Nejprve byla zkoumána závislost tvaru elektrického oblouku na geometrii špičky elektrody. U vybraných typů geometrií elektrod proběhla fotodokumentace elektrického oblouku při konstantních parametrech svařování s následným vyhodnocením šířky elektrického oblouku a vrcholového úhlu oblouku vycházejícího z elektrody. Následně bylo provedeno celkem 26 návarů s cílem prokázat vliv geometrie špičky wolframové elektrody na výsledné parametry svaru, zejména na hloubku průvaru a velikost vrubu podél svaru.

Za předpokladu konstantních parametrů svařování (svařovací proud, svařovací rychlost, vzdálenost elektrody od základního materiálu), se s rostoucím vrcholovým úhlem špičky wolframové elektrody výrazně mění geometrie elektrického oblouku, dochází k jeho zúžení. Tuto závislost můžeme zaznamenat jak u jednoduchých geometrií typu kužel, tak i u speciálních typů geometrií jako dvojitý kužel nebo rádius.

Přímo úměrná závislost mezi naměřenými hodnotami šířky elektrického oblouku a hloubky průvaru nebyla prokázána. Opticky nejširší oblouk vykazovala geometrie typu 15° kužel, naproti tomu u geometrie typu 120° kužel byl naměřen, co se týče konvenčních typů geometrií oblouk nejužší, avšak hodnoty průvarů zde byly téměř totožné.

Neuspokojivých výsledků bylo dosaženo s geometrií typu 15° kužel. Svary zde vykazují zásadní nedostatky patrné na první pohled, geometrie tohoto typu je vhodná spíše pro svařování menšími hodnotami proudů, stejně jako geometrie typu 20° kužel a 30° kužel.

Zajímavé bylo srovnání geometrií typu 30° kužel, broušených podélně a příčně. Byl zde prokázán jednoznačný vliv mikroskopických vrubů po brusném kotouči, vznikajících při broušení, na tvar elektrického oblouku.

V diplomové práci, na kterou bakalářská práce navazuje, byla použita elektroda WLa20 o vrcholovém úhlu 45°. Po záměně wolframové elektrody za elektrodu se špičkou ve tvaru dvojitého kužele (30°+90°), která se pro svařování tenkých plechů komplexně jevila jako nejlepší z hlediska vizuálního i z hlediska naměřených hodnot, se podařilo zamezit vzniku vrubů podél svaru, což bylo hlavním cílem bakalářské práce.

## 10. Použitá literatura

- [1] ORSZÁGH, Viktor a Peter ORSZÁGH. *Zváranie TIG ocelí a neželezných kovov*. Bratislava: Polygrafia SAV, 1998. ISBN 80-88780-21-7.
- [2] TIG svařování I - základní principy. In: <https://www.svarbazar.cz> [online]. Ing. Jiří Koutný, EWE, 2009 [cit. 2017-02-01]. Dostupné z: <https://www.svarbazar.cz/phprs/view.php?cisloclanku=2008011702>
- [3] HRIVŇÁK, Ivan. *Zváranie a zvariteľnosť materiálův*. V Bratislave: Slovenská technická univerzita, 2009. Edícia vysokoškolských učebníc. ISBN 978-80-227-3167-6.
- [4] Robotické svařování metodou TIG. In: <http://www.svetsvaru.cz/> [online]. Ostrava: Daniel Hadyna, Hadyna - International, 2014 [cit. 2017-02-01]. Dostupné z: [http://www.svetsvaru.cz/wp-content/uploads/2014/07/2014-2\\_RobotTIG.pdf](http://www.svetsvaru.cz/wp-content/uploads/2014/07/2014-2_RobotTIG.pdf)
- [5] TIG svařování II - AC nebo DC? In: <https://www.svarbazar.cz> [online]. Ing. Jiří Koutný, EWE, 2009 [cit. 2017-02-01]. Dostupné z: <https://www.svarbazar.cz/phprs/view.php?cisloclanku=2008122801>
- [6] TIG svařování III - zapalování oblouku. In: <https://www.svarbazar.cz> [online]. Ing. Jiří Koutný, EWE, 2009 [cit. 2017-02-01]. Dostupné z: <https://www.svarbazar.cz/phprs/view.php?cisloclanku=2009012402>
- [7] Svařování netavící se elektrodou v ochranné atmosféře inertního plynu. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2017-02-01]. Dostupné z: [https://cs.wikipedia.org/wiki/Sva%C5%99ov%C3%A1n%C3%AD\\_netav%C3%ADc%C3%AD\\_se\\_elektrodou\\_v\\_ochrann%C3%A9\\_atmosf%C3%A9\\_inertn%C3%ADho\\_plynu#cite\\_note-TSaZ-130-47](https://cs.wikipedia.org/wiki/Sva%C5%99ov%C3%A1n%C3%AD_netav%C3%ADc%C3%AD_se_elektrodou_v_ochrann%C3%A9_atmosf%C3%A9_inertn%C3%ADho_plynu#cite_note-TSaZ-130-47)
- [8] Wolfram. In: <http://www.prvky.com/> [online]. [cit. 2017-02-01]. Dostupné z: <http://www.prvky.com/74.html>
- [9] Wolframové elektrody pro TIG svařování. In: <https://www.svarbazar.cz> [online]. Ing. Jiří Koutný, EWE, 2006 [cit. 2017-02-01]. Dostupné z: <https://www.svarbazar.cz/phprs/view.php?cisloclanku=2006111201>
- [10] Korozivzdorná ocel. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2017-02-01]. Dostupné z: [https://cs.wikipedia.org/wiki/Korozivzdorn%C3%A1\\_ocel](https://cs.wikipedia.org/wiki/Korozivzdorn%C3%A1_ocel)
- [11] Korozivzdorné oceli jako konstrukční materiály. In: <http://www.ateam.zcu.cz/> [online]. [cit. 2017-02-01]. Dostupné z: [http://www.ateam.zcu.cz/korozivzdorne\\_oceli\\_3.pdf](http://www.ateam.zcu.cz/korozivzdorne_oceli_3.pdf)
- [12] HLAVNÍ SKUPINY NEREZOVÝCH OCELÍ. In: <http://www.terapol.cz/> [online]. Chomutov: TERAPOL spol. s r.o. [cit. 2017-02-01]. Dostupné z: <http://www.terapol.cz/clanek/no-vap-hlavni-skupiny>
- [13] Nerezový hrnec s poklicí. In: <http://www.onpira.cz/> [online]. [cit. 2017-02-01]. Dostupné z: <http://www.onpira.cz/nerezovy-hrniec-s-poklici-42l/d-70791/>
- [14] Svařování nerezavějících ocelí. In: <http://products.esab.com/> [online]. ESAB, 2012 [cit. 2017-02-01]. Dostupné z: <http://products.esab.com/ESABImages/nerezy2012.pdf>
- [15] X5CrNi18-10. In: <http://www.bolzano.cz/> [online]. Bohdan Bolzano [cit. 2017-02-01]. Dostupné z: <http://www.bolzano.cz/cz/technicka-podpora/technicka-prirucka/vyrobky-z-korozivzdornych-a-zaruvzdornych-oceli/vyrobky-z-oceli-korozivzdornych/materialove-listy/x6crni18-10-austeniticke>

- [16] NEREZOVÁ OCEL 1.4301. In: [Http://www.inoxspol.cz/](http://www.inoxspol.cz/) [online]. INOX [cit. 2017-02-01]. Dostupné z: <http://www.inoxspol.cz/nerezova-ocel-14301.html>
- [17] Svařování slabých plechů. In: [Http://www.konstrukce.cz/](http://www.konstrukce.cz/) [online]. Ing. Halla Petr, 2014 [cit. 2017-02-01]. Dostupné z: <http://www.konstrukce.cz/clanek/svarovani-slabych-plechu/>
- [18] ČSN EN ISO 6848. *Obloukové svařování a řezání - Netavící se wolframové elektrody - Klasifikace*. 2016.
- [19] Ultima-Tig Tungsten Grinder. In: [Http://www.tungstengrinders.co.uk](http://www.tungstengrinders.co.uk) [online]. [cit. 2017-07-31]. Dostupné z: <http://www.tungstengrinders.co.uk/tungsten-grinders/ultima-tig>
- [20] TIG AC High Frequency Start With 100% Helium. In: [Www.google.cz](http://www.google.cz) [online]. [cit. 2017-02-03]. Dostupné z: [https://www.google.cz/search?q=hf+start+tig&espv=2&biw=1707&bih=797&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKEwjnp-XpkfTRAhUCwBQKHRrAAU8Q\\_AUIBigB#imgsrc=gNBZjVF1ELaZnM](https://www.google.cz/search?q=hf+start+tig&espv=2&biw=1707&bih=797&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKEwjnp-XpkfTRAhUCwBQKHRrAAU8Q_AUIBigB#imgsrc=gNBZjVF1ELaZnM):
- [21] PI TIG. In: [Http://www.migatron.com/](http://www.migatron.com/) [online]. 2016 Migatron A/S., 2016 [cit. 2017-02-03]. Dostupné z: <http://www.migatron.com/en/products/welding-machines/pi-tig>
- [22] TIG welding torch / water-cooled / robotic / automated. In: [Http://www.directindustry.com](http://www.directindustry.com) [online]. [cit. 2017-02-03]. Dostupné z: <http://www.directindustry.com/prod/binzel/product-5966-985557.html>
- [23] TIG welding torch / air-cooled / robotic. In: [Http://www.directindustry.com](http://www.directindustry.com) [online]. [cit. 2017-07-31]. Dostupné z: <http://www.directindustry.com/prod/cloos/product-9248-1825949.html>
- [24] Best Welds E3 Tungsten Electrode. In: [Http://store.cyberweld.com](http://store.cyberweld.com) [online]. 2017 [cit. 2017-08-06]. Dostupné z: <http://store.cyberweld.com/ane3tuel.html>

## Seznam tabulek

Tabulka 1.: Značení jednotlivých druhů elektrod dle ČSN EN ISO 6848 [18].....	22
Tabulka 2.: Proudové zatížitelnosti wolframových elektrod v závislosti na jejich průměru a způsobu zapojení [18].....	24
Tabulka 3.: Porovnání vlastností a složení hlavních typů nerezavějících ocelí [14].....	29
Tabulka 4.: Chemické složení tavby dle EN 10088 v procentech [15].....	29
Tabulka 5.: Mechanické vlastnosti pro plechy a pásy dle EN 10088-2 ve stavu po rozpouštěcím žíhání [15].....	30
Tabulka 6.: Naměřené šířky elektrického oblouku v závislosti na geometrii špičky elektrody.....	39
Tabulka 7.: Naměřené parametry jednotlivých svarů.....	43



## Seznam obrázků

Obr. 1 Princip svařování TIG .....	11
Obr. 2 Porovnání režimů TIG DC(-), DC(+) a AC [5].....	13
Obr. 3 AC sinusový a obdélníkový průběh proudu [5].....	13
Obr. 4 AC balance – nastavení poměru přímé a nepřímé polarity [5] .....	14
Obr. 5 Příklady sestavených dílců pro svařování [4].....	15
Obr. 6 Jednoduché schéma mechanického upnutí dvou tenkých plechů.....	16
Obr. 7 Konstrukční řešení strojních TIG hořáku [22,23] .....	17
Obr. 8 TIG svařovací zdroje od firmy Migatronik [21] .....	18
Obr. 9 HF zapalování elektrického oblouku [20] .....	19
Obr. 10 Schéma broušení wolframové elektrody.....	24
Obr. 11 Vliv podélného a příčného způsobu broušení wolframové elektrody [9] .....	25
Obr. 12 Obecné doporučení pro broušení špičky wolframové elektrody .....	25
Obr. 13 Speciální brusky s možností nastavení vrcholového úhlu elektrody [19].....	26
Obr. 14 Austenitická korozivzdorná ocel v potravinářství [13] .....	28
Obr. 15 Jednoduché schéma lemového svaru [2] .....	31
Obr. 16 Příklad správně a špatně připravených svarových ploch, pohled shora .....	31
Obr. 17 Elektrody běžné geometrie s rozdílnými vrcholovými úhly.....	33
Obr. 18 Elektroda s vrcholovým úhlem 30° a špičkou otupenou do 10% jejího průřezu.....	33
Obr. 19 Speciální geometrie typu „radius“ .....	34
Obr. 20 Speciální geometrie typu „nožové ostří“ .....	34
Obr. 21 Speciální geometrie typu „dvojitý kužel“ .....	34
Obr. 22 Přípravek pro broušení radiusů .....	35
Obr. 23 Broušení radiusu schematicky .....	35
Obr. 24 Výsledek broušení.....	36
Obr. 25 Kontrola na souřadnicovém mikroskopu (60°).....	36
Obr. 26 Výsledek broušení (nožové ostří).....	36
Obr. 27 Elektrický oblouk.....	37
Obr. 28 Upravená fotografie.....	37
Obr. 29 Vrcholový úhel 15° .....	38
Obr. 30 Vrcholový úhel 30° .....	38
Obr. 31 Vrcholový úhel 60° .....	38
Obr. 32 Vrcholový úhel 120° .....	38
Obr. 33 Geometrie typu R8.....	38
Obr. 34 Geometrie typu R25.....	38
Obr. 35 Dvojitý kužel, 30° a 90° .....	38
Obr. 36 Geometrie typu „nožové ostří“ .....	38
Obr. 37 Vlevo příčně broušená elektroda 30°, vpravo podélně broušená elektroda 30° .....	39
Obr. 38 Měřené parametry oblouku .....	39
Obr. 39 Graf závislosti šířky elektrického oblouku na geometrii elektrody .....	40
Obr. 40 Vyhodnocení vzorků .....	41
Obr. 41 Zkoumané parametry svaru.....	41
Obr. 42 Vzorek č.41, zvětšení 16x.....	42
Obr. 43 Vzorek č. 42 zvětšení 16x.....	42
Obr. 44 Vzorek č.101, zvětšení 16x.....	42

Obr. 45 Vzorek č.102, zvětšení 16x.....	42
Obr. 46 Vzorek R25/1.....	42
Obr. 47 Vzorek R25/2.....	42
Obr. 48 Graf závislosti hloubky průvaru na geometrii elektrody .....	43
Obr. 49 Graf závislosti hloubky vrubu na geometrii elektrody.....	44
Obr. 50 Nevyhovující svar .....	44
Obr. 51 Vyhovující svar .....	44