



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

VLIV TVARU ELEKTRODY NA SVAROVOU LÁZEŇ

INFLUENCE OF SHAPE OF THE ELECTRODE TO WELD POOL

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Jan Hrádek

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Jaroslav Kubíček

BRNO 2019

Zadání bakalářské práce

Ústav:	Ústav strojírenské technologie
Student:	Jan Hrádek
Studijní program:	Strojírenství
Studijní obor:	Strojírenská technologie
Vedoucí práce:	Ing. Jaroslav Kubíček
Akademický rok:	2018/19

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

Vliv tvaru elektrody na svarovou lázeň

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Při svařování TIG netavící se wolframovou elektrodou má velký vliv tvar elektrody na hloubku a šířku natavené oblasti. Úkolem experimentu bude ověřit jak úhel broušení hrotu elektrody svarovou lázeň ovlivňuje.

Cíle bakalářské práce:

1. Rozbor současného stavu úpravy hrotu elektrody
2. Literární studie dané problematiky
3. Návrh a provedení experimentální práce
4. Vyhodnocení experimentu

Seznam doporučené literatury:

AMBROŽ, Oldřich, Bohumil KANDUS a Jaroslav KUBÍČEK. Technologie svařování a zařízení. Ostrava: ZEROSS, 2001, 395 s. Svařování. ISBN 80-857-7181-0.

FOLDYNA, Václav, Karel HENNHOFFER, Věra OLŠANOVÁ, Ivo HLAVATÝ, Jaroslav KOUKAL, František KRISTOFORY, Vladislav OCHODEK, Václav PILOUS, Jaroslav PURMENSKÝ, Drahomír, SCHWARZ a Július VESELKO. Materiály a jejich svařitelnost. 2 vyd. Ostrava: ZEROSS, 2001, 292 s. ISBN 80-857-7185-3.

ONDREJČEK, P. Zváranie ocelí v ochrane plynov taviacou sa elektródou, 1vyd. ETERNA PRESS s.r.o. Bratislava 2003, ISBN 80-968359-5-5.

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

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

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

V Brně, dne

L. S.

prof. Ing. Miroslav Píška, CSc.
ředitel ústavu

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

ABSTRAKT

HRÁDEK Jan: Vliv tvaru elektrody na svarovou lázeň.

Projekt je zaměřen na svařování metodou TIG. Při této metodě je používána netavící se wolframová elektroda, která může mít různé vrcholové úhly. O tom, jak úhel ovlivňuje svarovou lázeň, se literatury rozporují v názorech. Bylo vybroušeno šest různých úhlů elektrod, se kterými byly provedeny svary na uhlíkové oceli S235JR a austenitické korozivzdorné oceli x5CrNi1810. Vyhodnocení bylo provedeno pomocí grafu, kde na ose x je úhel elektrody a na ose y hloubka a šířka svaru v milimetrech. Výsledkem bylo dokázání názoru, že s ostřejším úhlem elektrody se hloubka svaru zmenšuje a šířka zvětšuje.

Klíčová slova: Svařování, TIG, WIG, svarová lázeň, úhel elektrody

ABSTRACT

HRÁDEK Jan: Influence of the electrode to weld pool.

The project is focused on welding of TIG method. In this method is used non-melting tungsten electrode, which can have different top angles. In different literature there are different opinions about how angle influence weld pool. It was sharpen six different angles of electrode with whom was done welds on carbon steel S235JR and on austenitic corrosion resistant steel x5CrNi1810. The evaluation was done with help of chart where on the axis x is angle of electrode and on axis y are depth and width weld in millimeters. The result of this project was the prove of opinion that with more sharper angle of electrode is depth of weld smaller and width bigger.

Keywords: welding, TIG, WIG, weld pool, electrode angle

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

HRÁDEK, Jan. *Vliv tvaru elektrody na svarovou lázeň*. Brno, 2019. 39s, 3 přílohy, CD. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav strojírenské technologie. Vedoucí práce Jaroslav Kubíček.

ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Tímto prohlašuji, že předkládanou bakalářskou práci jsem vypracoval samostatně, s využitím uvedené literatury a podkladů, na základě konzultací a pod vedením vedoucího bakalářské práce.

V dne 20.5.2019

.....

Podpis

PODĚKOVÁNÍ

Tímto děkuji panu Ing. Jaroslavu Kubičkovi a panu Romanovi Kratochvílovi za cenné připomínky a rady týkající se zpracování bakalářské práce. Také děkuji rodině, za podporu při psaní bakalářské práce.

OBSAH

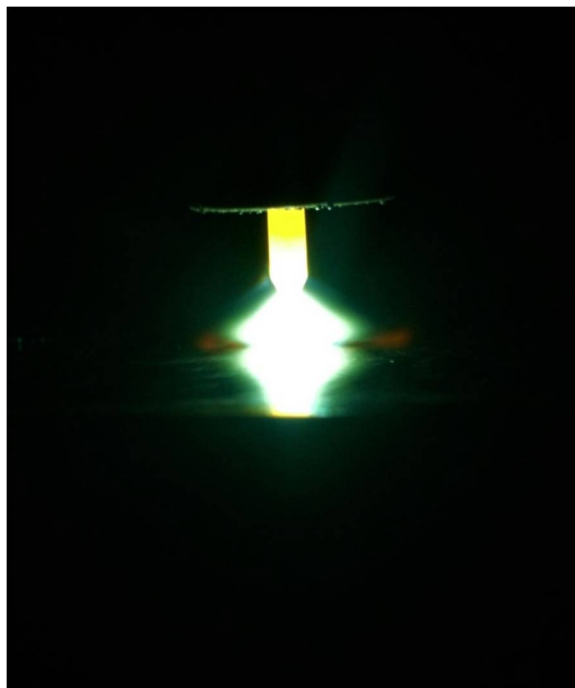
TITULNÍ STRANA	
ZADÁNÍ	
ABSTRAKT	
BIBLIOGRAFICKÁ CITACE	
ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ	
PODĚKOVÁNÍ	
OBSAH	8
ÚVOD	9
1 ROZBOR ZADÁNÍ	10
2 Metoda TIG	12
2.1 Zařízení pro svařování TIG.....	13
2.1.1 Svařovací hořák.....	14
2.1.2 Svařovací zdroje	15
2.1.3 Netavící se elektrody	16
2.2 Ochranné plyny argon, helium a jejich směsi.....	19
2.3 Přídavné materiály.....	20
2.4 Vady svarových spojů a příčiny vzniku	20
2.5 Zkoušky svarových spojů	21
2.5.1 Svarové zkoušky nedestruktivní.....	21
2.5.2 Svarové zkoušky destruktivní	22
3 Experiment	23
3.1 Svařitelnost uhlíkových ocelí.....	24
3.1.1 Vlivy jednotlivých prvků na svařitelnost uhlíkových ocelí	24
3.1.2 Uhlíkový ekvivalent a ARA diagram	26
3.2 Vysokolegované korozivzdorné oceli	27
3.2.1 Svařitelnost austenitických Cr-Ni (Cr-Ni-Mo) ocelí.....	28
3.3 Posuzované názory ohledně vlivu tvaru elektrody	29
3.4 W-elektrody a nastavené hodnoty při svařování.....	30
3.5 Výpočet vneseného tepla	32
3.6 Příprava na metalografické pozorování.....	33
3.7 Metalografické pozorování	34
3.8 Vyhodnocení	37
4 Závěr	39
Seznam zdrojů:	40
Seznam symbolů:	45
Seznam zkratk:	46
Seznam obrázků:	47
Seznam tabulek:	48
Seznam příloh:	49

ÚVOD [1], [2], [3]

Cílem svařování je nerozebíratelně spojit dva nebo více dílů, za pomoci tepelné, tlakové nebo radiační energie. Metoda TIG využívá tepelné energie k natavení základního, popřípadě i přídavného materiálu. Místa, která se nataví, jsou nazývána svarová lázeň. V blízkém okolí tohoto místa je takzvaná tepelně ovlivněná oblast, která při svařování není natavena, ale dochází v ní k určitým změnám. Hloubka a šířka svarové lázně je ovlivňována tvarem elektrody a proto budou elektrody vybroušeny do různých tvarů a proveden pokus. Posléze bude uskutečněn řez materiálem, díky kterému lze změřit šířku a hloubku svaru, čímž bude zjištěn vliv tvaru elektrody na svarovou lázeň. Na následujících obrázcích je vidět průběh svařování metodou TIG. (Obr. 1, 2 a 3)



Obr. 1 Orbitální svařování hliníku [2]



Obr. 2 TIG svařování [vlastní tvorba]

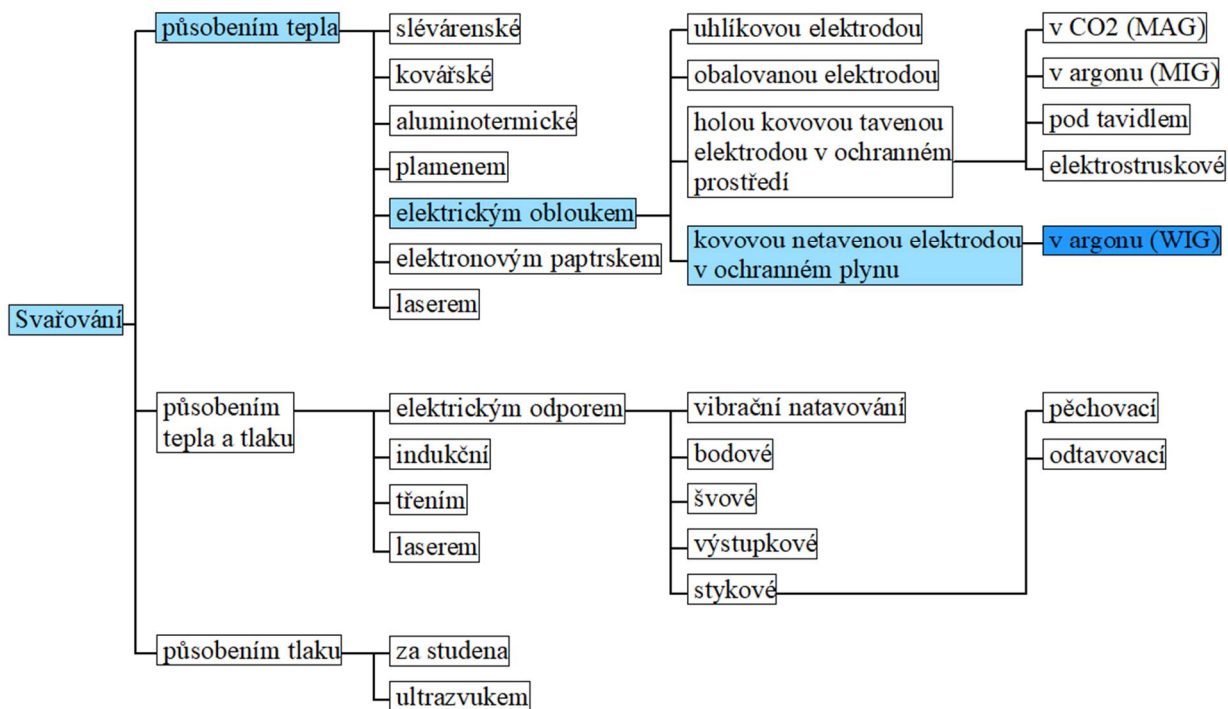


Obr. 3 Ukázka svaru zhotoveného metodou TIG [3]

1 ROZBOR ZADÁNÍ [1], [4], [5], [6], [7], [8], [9]

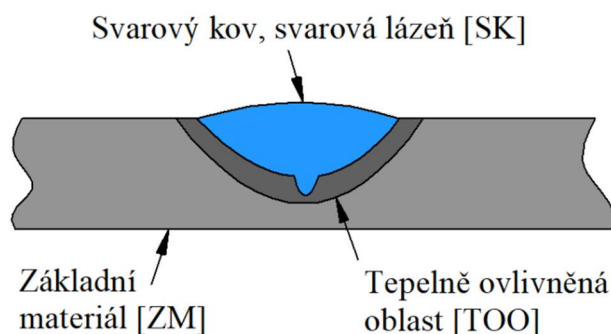
Svařování je vytvoření materiálového nerozebiratelného spojení. Aby došlo ke spojení, je potřeba dodat aktivační energii valenčním elektronům kovových atomů. Aktivační energie je dodávána teplem, tlakem nebo radiací. Při dodání potřebného množství na překonání potenciální energie nastává meziatomové spojení. Vzniklé teplo se vlivem přilnavosti šíří hlouběji do materiálu a ovlivňuje jeho další část.

Svařování lze rozdělit na tavné a tlakové. Tavné svařování je takové, kde se využívá tepelné energie. U tlakového se využívá energie mechanické. Rozdělení je vidět na obrázku 4.



Obr. 4 Rozdělení metod svařování [6]

Podle ISO 4063 se tyto metody ještě dále rozšiřují a jsou označeny číselnou kombinací. Metoda TIG, která bude řešena, se označuje 141. Jde tedy o netavící se wolframovou elektrodu v inertním plynu. Na obrázku 5 je znázorněn průřez svarem a jeho základní části. V hranatých závorkách jsou za názvy uvedeny jejich zkratky. Svar na obrázku je jednovrstvý. Vícevrstvé svary jsou naskládány na sobě tak, aby vyplňovaly potřebný prostor nebo



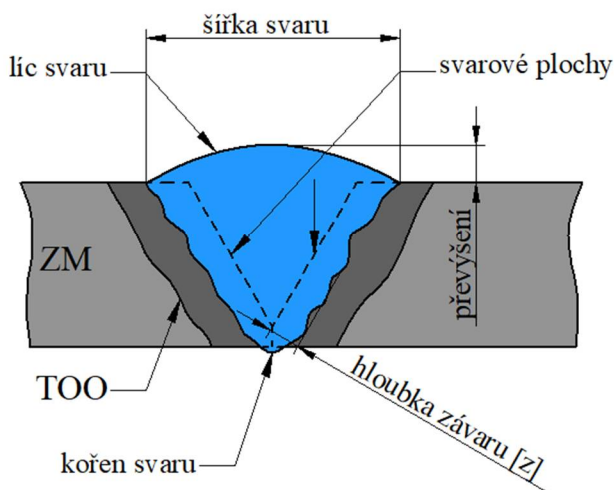
Obr. 5 Struktura sv. spoje [7]

zvětšily celkovou šířku svaru.

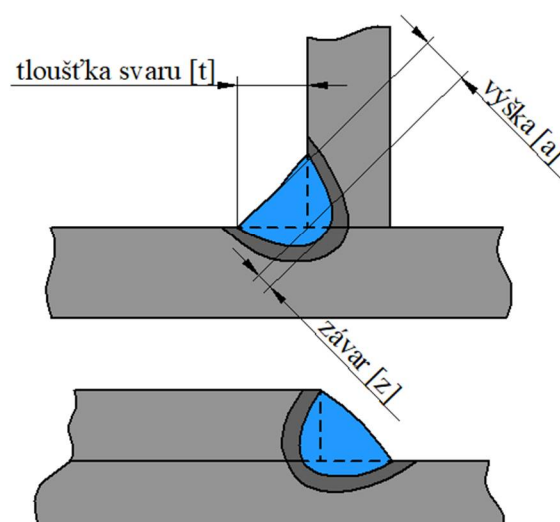
Když se spojují dva materiály k sobě, musí se připravit jejich plochy. Plošky se vyfrézují nebo vybrousí. Když pak přiložíme dílce vedle sebe tak mezera, která mezi nimi vznikne, se vyplní svarem. Podle normy ČSN EN ISO 22 553 se používají různé značky, které vystihují právě tuto mezeru. Například V, X, U, I, Y, atd.

Je také rozlišováno, jak jsou k sobě dílce naorientovány a v jaké poloze jsou svařovány. Podle orientace jsou svary tupé nebo koutové. Popisy najdeme na obrázku 6. Polohy určují, jak bude svářeč natočen (jakým směrem bude hořák) vůči aktuálnímu postavení dílce.

V-svar:

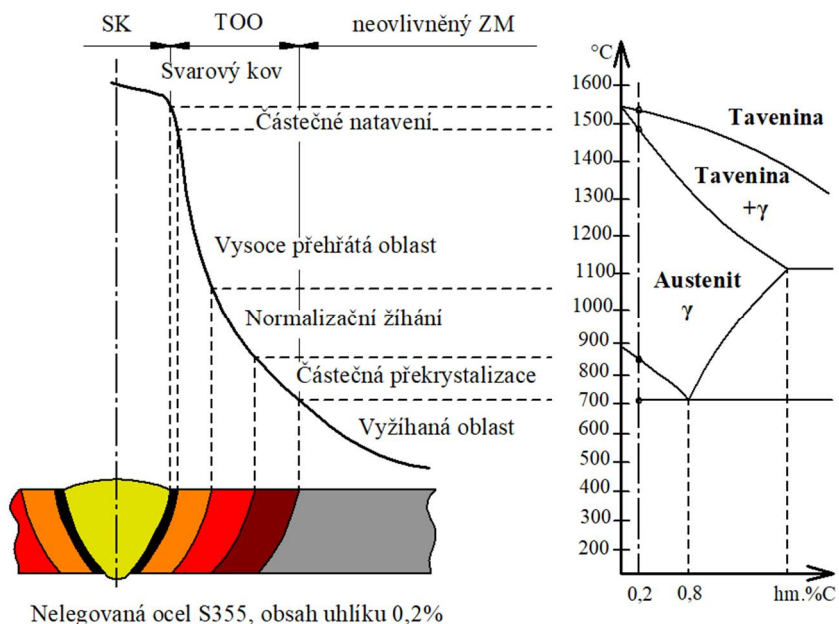


Koutové svary:



Obr. 6 Popis svarového spoje [8]

V tepelně ovlivněné oblasti dochází k různým změnám v materiálu, řídíme se diagramem Fe-Fe₃C. Podle procenta uhlíku můžeme vidět, v jakých teplotách bude k zásadním změnám docházet. Nejdříve je kov roztaven, a čím je dál od svarového kovu, tím je teplota nižší. Na obrázku 7 je svar oceli S355. TOO je zóna, kterou musíme nejvíce hlídat. Je pravděpodobné, že dojde k částečnému zakalení materiálu a tím se sníží jeho houževnatost. Struktura materiálu bude určité procento martenzitu obsahovat vždy, to nám ale v malé míře houževnatost tolik neovlivní.

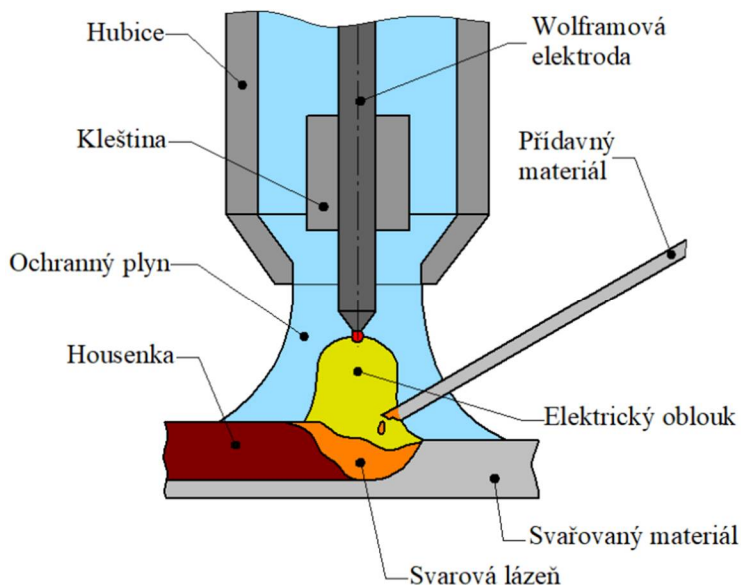


Obr. 7 Struktura tavného svaru [9]

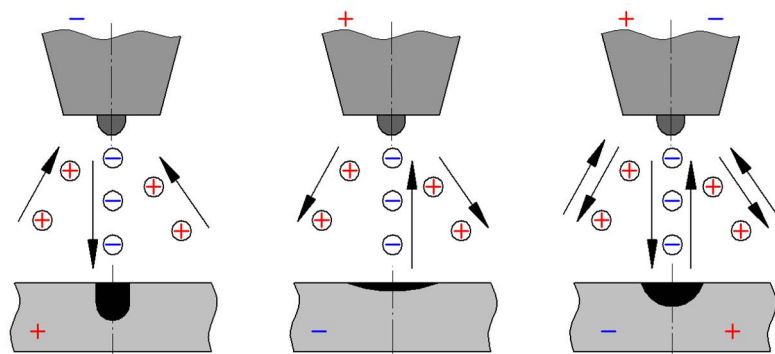
V metodě TIG je tepelně ovlivněná oblast poměrně malá, ale to není největší výhodou tohoto svařování. Nejvýhodnější je ovladatelnost svaru. Svarový kov je dobře viditelný a není potřeba žádný přídavný materiál. Touto metodou můžeme svařovat ve všech polohách a po vychladnutí není třeba odstraňovat strusku, protože svarovou lázeň chrání inertní plyn. Největší nevýhodou tohoto svařování je malá produktivita, což se projeví hlavně z ekonomického hlediska, proto metodu využíváme především na vysokolegované oceli, titanové slitiny nebo slitiny hliníku.

2 Metoda TIG [1], [4], [5], [10], [11], [12]

U této metody hoří oblouk mezi wolframovou netavící se elektrodou a základním materiálem (obr. 8). Teplota oblouku dosahuje 4000 až 7000°C. Mezitím je z hořáku vypouštěn inertní plyn, který chrání celou svařovací oblast před okolní atmosférou. V okolní atmosféře nám vadí převážně kyslík a dusík. Jako inertní plyn se používá argon nebo helium, případně jejich směs. Plyn musí být velice čistý, používá se minimálně 99,995%. Elektrický proud je přiveden na elektrodu a základní materiál. Používá se elektrický proud stejnosměrný i střídavý. Když hoří oblouk, teplota není rozložena rovnoměrně, jestliže je na elektrodě připevněn záporný pól zdroje, tomu říkáme přímé zapojení, je zhruba 1/3 teploty na wolframové elektrodě a 2/3 teploty je směřováno k základnímu materiálu. Toto zapojení se používá pro středně a vysokolegovanou ocel, titan, nikl a měď. Opačné zapojení u stejnosměrného proudu se moc nepoužívá, protože by do wolframové elektrody bylo soustředěno 2/3 teploty a mohlo by dojít k jejímu natavení. Využití má pouze výjimečně u tenkostěnných hořčíkových nebo hliníkových svařenců. Při zapojení střídavého proudu se mění záporná a kladná polarita. Když je elektroda zapojena kladně, dochází k čistícímu účinku svarové lázně od oxidů a poté se vystřídá polarita a materiál je více nataven. Použití je na hliník a jeho slitiny, kvůli vytváření Al_2O_3 , který má výrazně vyšší teplotu tavení než samotný hliník. Teplota má vliv na šířku svaru a hloubku závaru a proto je veliký rozdíl při zapojení elektrody na záporný, kladný nebo střídavý pól zdroje, toto je namalováno na obrázku 9 (Obr. 9). Nejnovější variantou



Obr. 8 Princip metody TIG [11]



Obr. 9 Vliv polarity na tvar a rozměry svaru [12]

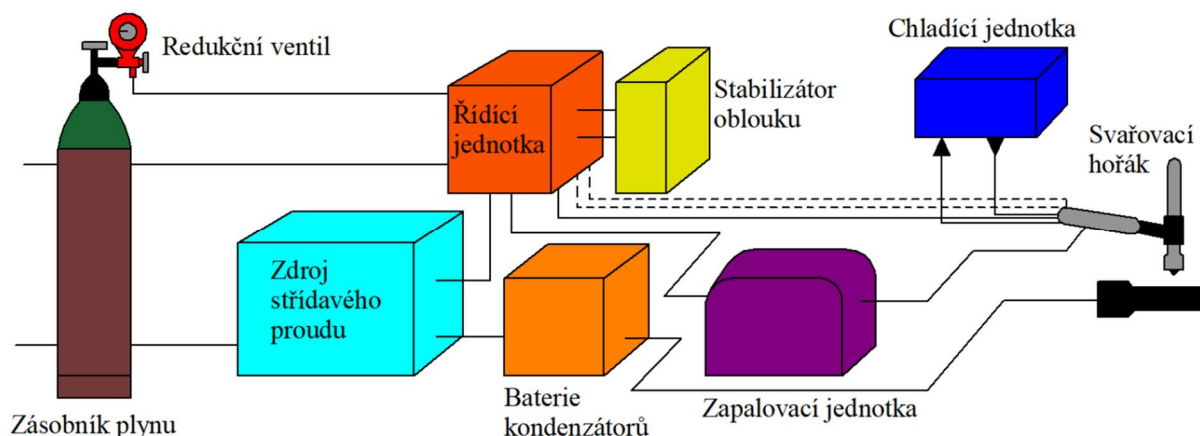
TIG, je svařování impulsním proudem. Velikost proudu se mění s časem mezi dvěma hodnotami. Změna může proběhnout skokově, sinusově nebo jiným způsobem. Hodnota blíže k nule je nazývána základní proud. Většinou je to jen málo ampér, potřebných k udržení oblouku. Amplituda určuje hloubku a šířku svaru, té říkáme impulsní proud. Doba trvání impulsního proudu nemusí být stejná jako u základního proudu. Svarová lázeň je natavena a poté sníží svou teplotu, smrští se a poté je opět natavena, tohoto jevu využíváme, když potřebujeme hladký přechod mezi svarovým kovem a základním materiálem. Také se touto metodou zmenší tepelně ovlivněná oblast.

Než dojde k hoření oblouku, musíme ho nejprve zapálit. To provádíme dotykem wolframové elektrody s povrchem základního materiálu a následným rychlým odstupem na

krátkou vzdálenost, nebo použijeme zapalovací jednotku, která pomocí vysokého napětí a frekvence zapálí oblouk bezdotykově.

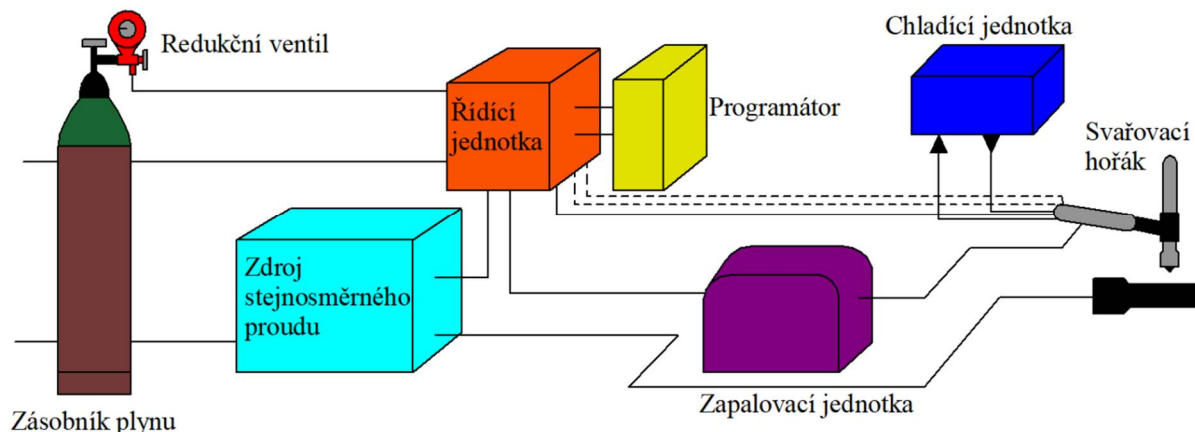
2.1 Zařízení pro svařování TIG [10], [13], [14], [15]

Sestava zařízení se pro střídavý a stejnosměrný proud liší. Většina komponentů je stejných, ale u střídavého proudu musí být navíc stabilizátor oblouku a baterie kondenzátorů, samozřejmě se liší i zdroj. Na obrázku 10 můžeme vidět sestavu pro střídavý proud. Na obrázku 11 je sestava pro proud stejnosměrný. Řídicí jednotka, zásobník plynu, redukční ventil, zapalovací jednotka, chladicí jednotka a svařovací hořák zůstávají stejné. Řídicí jednotka slouží k ovládání procesu svařování, nastavení proudů pro různé tloušťky svarů, řídí pulzní jednotku, atd. Zásobníkem plynu jsou tlakové láhve o objemech 10, 40 nebo 50 l. Protože je tlak v lahvi příliš veliký, je k ní připojen redukční ventil, na kterém si nastavíme tlak potřebný pro svařování. Chladicí jednotka umožňuje chlazení vodou v celém systému, je tvořena zásobníkem, čerpadlem, hadicemi a ventilátorem na chlazení. Svařovací zdroje a hořáky budou probrány níže.



Obr. 10 Zařízení na svařování střídavým proudem [14]

Zdrojem střídavého proudu je svařovací transformátor, který je upravený, aby měl vyšší strmou statickou charakteristiku. Protože je proud střídavý, prochází nulovou hodnotou, aby nedocházelo ke zhasínání oblouku, je zapotřebí stabilizátor. Slouží v podstatě jako zapalovací jednotka, akorát v průběhu svařování. Baterie kondenzátorů vyrovnává sinusový průběh proudu, především při svařování hliníku a jeho slitin.



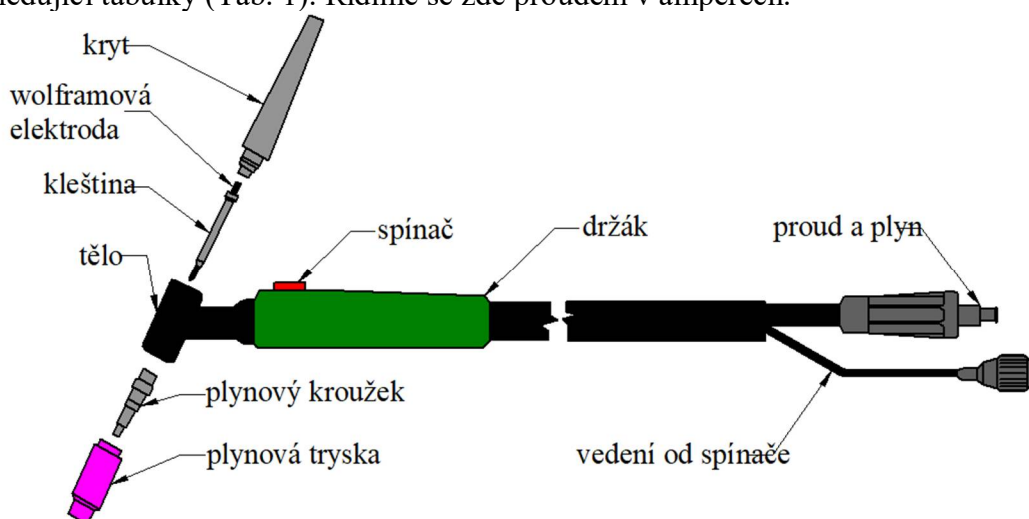
Obr. 11 Základní sestava zařízení pro svařování WIG Stejnosměrným proudem [15]

Jako zdroj stejnosměrného proudu je používán usměrňovač se síťovým transformátorem nebo inverter se strmou statickou charakteristikou. U stejnosměrného zapojení se používá

programátor, který je napojený na řídicí jednotku a zabezpečuje přívod plynu, před a po samotném svařování. Řídí okruh chladicí kapaliny a při automatizovaném svařování řídí veškerý pohyb hořáku.

2.1.1 Svařovací hořák [1], [5], [10], [13], [16], [17], [18]

Svařovací hořáky jsou jedním z nejvíce tepelně namáhaných prvků.(viz obr. 12) Umožňují průchodu elektrického proudu na wolframovou elektrodu. Zároveň musí umožnit proudění inertního plynu do svařované oblasti. Za pomoci kleštiny je elektroda upnuta v hořáku. Ty se rozdělují na dva druhy, tahové a tlakové, princip je však u obou stejný, kleština je kuželového tvaru a je tlačena do protikusů, který je také kuželovitý, kvůli tomu dojde k sevření elektrody. K hořákům se dodávají sady kleštin pro různé průměry elektrod. Díky vysoké teplotě se tryska musí chladit a to buď vzduchem, nebo vodou. Vodou chlazené hořáky se ve většině případů používají pro ruční svařování do 100 a jsou vyrobeny z keramiky. Pro proud nad 100 a se používají vodou chlazené trysky, které se vyrábí většinou měděné, kvůli tepelné vodivosti. Vodou chlazené jsou využívány především pro strojní svařování. Funkce plynové trysky je usměrnit plyn do místa svařování. Proto je důležitý její tvar a především velikost. Při běžném svařování WIG se používají průměry 8 až 25 mm. Průměry jsou doporučovány podle následující tabulky (Tab. 1). Řídíme se zde proudem v ampérech.

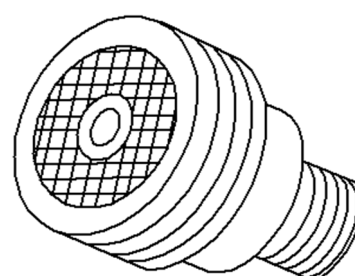


Obr. 12 Popis vzduchem chlazeného hořáku [16]

Tab. 1 Doporučené průměry plynových trysek [17]

Proudový rozsah [A]	Průměry plynové trysky [mm]
Do 70	6 - 9
70 - 150	9 - 11
150 - 250	11 - 13
250 - 300	13 - 15
300 - 500	15 - 18

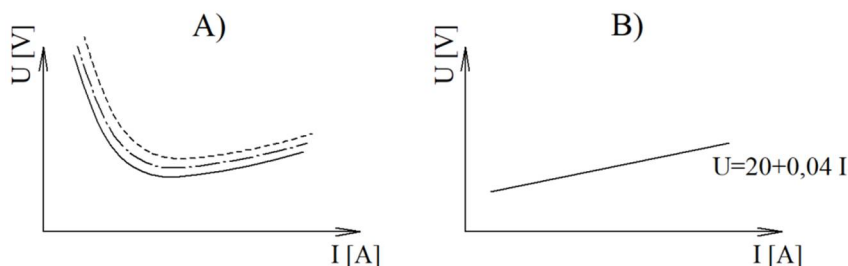
Pro lepší plynovou ochranu se používají plynová sítká, kterými proudí plyn a laminárně se usměrňuje. Zároveň se elektroda povysune o 15 až 20 mm a proto je lepší přístup k místu svařování. Dokonce sítká mohou snížit množství potřebného ochranného plynu až o 50%. Sítko je na obrázku číslo 13.



Obr. 13 Plynové sítko [18]

2.1.2 Svařovací zdroje [1], [4], [19], [20]

Pomocí svařovacích zdrojů přinášíme do uzavřeného svařovacího obvodu požadovaný proud a napětí. Dělíme je podle proudu na střídavé, stejnosměrné a usměrněné. Podle konstrukce na točivé a netočivé. Každý zdroj má svou statickou voltampérovou charakteristiku, pomocí které se používá na určitý druh svařování. Svařovací oblouk má také svou voltampérovou charakteristiku (Obr.14 A). Tato charakteristika ukazuje závislost proudu na napětí při konstantní vzdálenosti. Na tvar křivky má vliv více faktorů, především jde o úhel hrotu, průměr a materiál elektrody. Kvůli tomu se občas používá zjednodušená charakteristika, která je na obrázku 14 B.



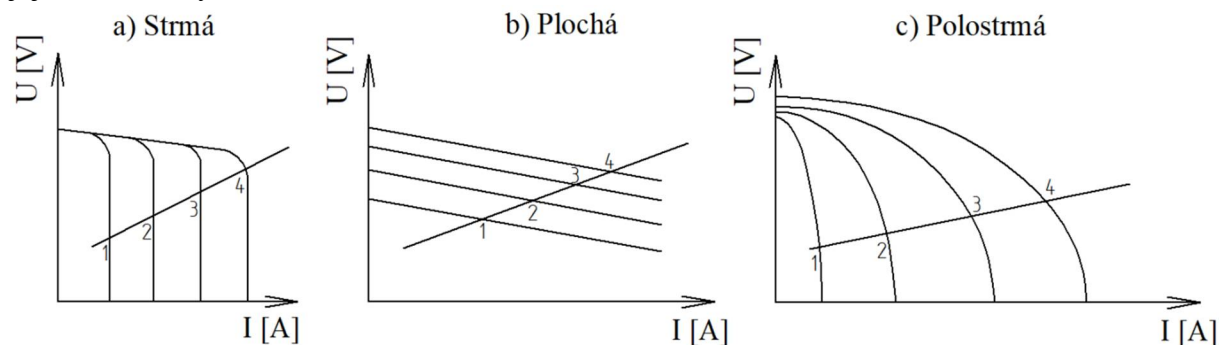
Obr. 14 VA charakteristiky oblouku [19]

Voltampérové charakteristiky zdrojů jsou znázorněny na obrázku 15. Při zvětšování vzdálenosti od materiálu se zmenšuje proud a roste napětí a odpor.

U strmé charakteristiky je velice výhodné, že se při změně napětí (například při ručním svařování) takřka nemění proud. Proto je tento zdroj vhodný pro ruční svařování metodou TIG. Představiteli jsou svařovací usměrňovače nebo svařovací dynamy.

Plochá charakteristika se využívá spíše pro metodu MIG/MAG, který má podavač drátu. Když je drát daleko, proud se sníží na tolik, že se neodtaví a tím se opět více přiblíží. Tento cyklus se stále opakuje.

Polostrmá charakteristika je vytvořena tak, že napětí klesá s rostoucím proudem tak, aby jejich součin byl konstantní.



Obr. 15 Druhy statických VA charakteristik zdrojů [20]

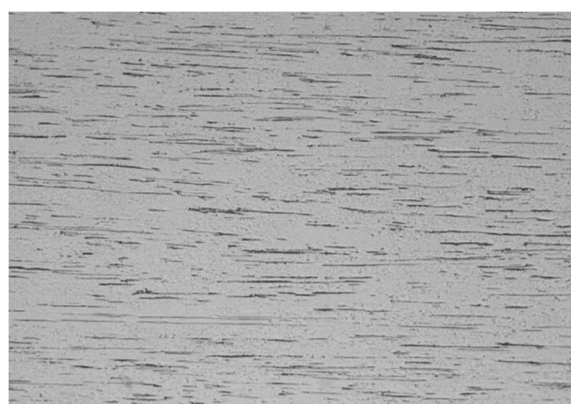
Mezi točivé zdroje patří dynamy. Vytvářejí stejnosměrný proud za pomoci elektromotoru, nejčastěji třífázového, ale ten se může nahradit benzínovým nebo dieselovým motorem. Zastupiteli netočivých zdrojů jsou svařovací transformátory, usměrňovače nebo invertory. Konstrukce transformátoru je jednoduchá, účelem je změna napětí ze sítě (220 V, 380 V) na svařovací. Proud je střídavý a charakteristika je polostrmá. Velikou nevýhodou je vysoká hmotnost. Usměrňovače jsou zařízení, která se přidávají k transformátoru a usměrní střídavý proud na stejnosměrný. Principem svařovacích invertorů je změna na vysokou frekvenci a kvůli tomu může být transformátor menší až o 80%. Transformátor největší a nejhmotnější součástka a právě díky tomu je celé svařovací zařízení malé a lehké. Poté se proud opět usměrní ze střídavého na stejnosměrný.

2.1.3 Netavící se elektrody [1, 10, 13, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 35, 36]

Elektrody pro metodu TIG se používají z wolframu nebo z wolframu a příměsí různých oxidů pro zlepšení vlastností. Wolframové se vyrábějí spékáním s čistotou 99,9 %. Teplota tavení této elektrody je 3380 °C, hustota 19 100 kg/m³ a měrný elektrický odpor 5,36 · 10⁻⁸ ohmů. Příměsí, které se používají, jsou oxidy thoria, zirkonu, ceru, hafnia, lanthanu a yttria (Tab. 2). Tyto oxidy jsou v elektrodě rovnoměrně rozptýleny, jak je ukázáno na obrázku 16 a 17, kde je její podélný průřez. Napomáhají snižovat teplotu ohřevu elektrody, čímž prodlužují její životnost. Protože jsou to prvky s nižší výstupní energií, emitují více elektronů a tím podporují zapalování a stabilitu oblouku. Výstupní práce elektronů je velice malá oproti všeobecně známým hodnotám a proto se místo joule používá jednotka elektronvolt. Vyjadřuje, o kolik se zvýší kinetická energie elektronu ve vakuu, když je mu dodáno napětí jeden volt (viz tabulka 3).



Obr. 16 W-elektroda s oxidy thoria [22]



Obr. 17 W-elek. s oxidy lanthanu [23]

Vyráběné průměry elektrod: 0,5; 1,0; 1,6; 2,0; 2,5; 3,2; 4,0; 5,0; 6,4; 8,0; 10 (mm)
 Vyráběné délky elektrod: 50; 75; 150; 175 (mm)

Tab. 2 Označení elektrod [24]

Označení	Chemické složení oxidů	Obsah oxidů [%]	Barevné označení
WP	bez oxidů	0	Zelená
WT 10	ThO ₂	0,9 - 1,2	Žlutá
WT 20	ThO ₂	1,8 - 2,2	Červená
WT 30	ThO ₂	2,8 - 3,2	Fialová
WT 40	ThO ₂	3,8 - 4,2	Oranžová
WZ 8	ZrO ₂	0,7 - 0,9	Bílá
WL 10	La ₂ O ₃	0,9 - 1,2	Černá
WL 15	La ₂ O ₃	1,4 - 1,6	zlatá
WL 20	La ₂ O ₃	1,8 - 2,2	Modrá
WC 20	CeO ₂	1,8 - 2,2	Šedá
Lymox	různé oxidy	1,8 - 2,2	Růžová

Prvním písmenem je poukázáno, že jde o wolframovou elektrodu. Druhé písmeno označuje prvek ve formě oxidu, kterým je elektroda legována. Číslice je desetinásobkem obsahu oxidů.

Výjimka je označení WP, což je wolframová elektroda bez příměsí oxidů (P- pure). Lymox je obchodní označování elektrod, používaných stejně jako thoriové červené.

Tab. 3 Výstupní práce elektronů základních oxidických příměsí a wolframu [25]

Materiál	Značka	Výstupní práce elektronů [eV]
Wolfram	W	4,21 až 5,01
Oxid thoričitý	ThO ₂	2,00 až 3,00
Oxid ceričitý	CeO ₂	1,80 až 2,60
Oxid lanthanitý	La ₂ O ₃	1,70 až 4,20
Oxid yttritý	Y ₂ O ₃	1,90 až 3,80

- Wolframové elektrody čisté (pure) – (WP)
Tato elektroda je používána na svařování střídavým proudem, kdy udržuje výbornou stabilitu oblouku při změně frekvence a při různém nastavení kladné a záporné vlny. Uplatnění hlavně pro svařování hliníku, hořčíku a jejich slitin.
- Wolfram – thoriové elektrody (WT 10, WT 20, WT 30, WT 40).
Kvůli thoriu, které je radioaktivní, se od těchto elektrod v posledních letech ustupuje. Proud je stejnosměrný a proudová zatížitelnost asi o 20% větší než u čistých wolframových elektrod. Použití pro korozivzdorné a žáruvzdorné oceli, měď, tantal a titan. Nyní jsou nahrazovány jinými elektrodami.
- Wolfram – zirkonové elektrody (WZ8)
Jsou používány pro svařování střídavým proudem lehkých kovů. Jsou odolnější proti opotřebení než wolframové nelegované.
- Wolfram – lanthanové elektrody (WL 10, WL 15, WL 20)
Jsou alternativou pro legování oxidem thoria. Mají výborné vlastnosti a mohou být použity i pro střídavý proud. Nejsou radioaktivní a mají dlouhou životnost.
- Wolfram – cerové elektrody (WC 20)
Použití pro stejnosměrný proud. Vykazují vynikající zapalovací charakteristiky při nízkých proudových hodnotách.
- Elektrody Lymox
Jsou náhradou za elektrody WT 20. Kombinací různých oxidů prvků vzácných zemin mají výborné zapalovací charakteristiky a životnost. Neobsahují oxidy thoria, a tudíž jsou neškodné pro zdraví.

V příloze č. 1 a č. 2 je ukázka různých typů elektrod po svařování korozivzdorné oceli 1.4301. Proudové zatížení je rozdílné a frekvence svařování vždy šestkrát po pěti minutách. Inertní plyn je v příloze č.1 argon a v příloze č. 2 argon a helium.

Pomocí materiálu, v tab. 4 je vybrána elektroda a zároveň je určen druh proudu a polarita zapojení. Poté se podle tloušťky materiálu zvolí průměr elektrody a následně se podle tab. 5 zvolí proudový rozsah v závislosti na průměru a typu elektrody, polaritě a druhu proudu.

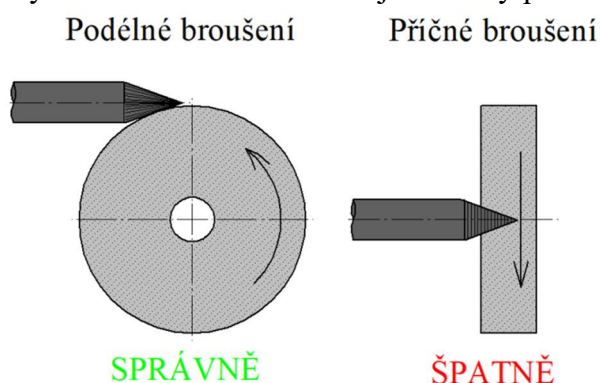
Tab. 4 Volba vhodných elektrod podle druhu materiálu [28]

Materiál	typ elektrody	stejnoseměrný proud, přímé zapojení	stejnoseměrný proud, nepřímé zapojení	střídavý proud
Hliník	WL15,WP,WZ8	nouzová volba	nouzová volba	doporučeno
Slitiny hliníku	WL15,WP,WZ8	nevhodné	nouzová volba	doporučeno
Hořčík	WP	nouzová volba	nevhodné	doporučeno
Slitiny hořčíku	WP	nouzová volba	nevhodné	doporučeno
Uhlíkové oceli	WL15,WC20,WT20	nevhodné	doporučeno	doporučeno
Nerez oceli	WL15,WC20,WT20	nevhodné	doporučeno	nevhodné
Hliníkový bronz	WP	nevhodné	nevhodné	nevhodné
Křemíkový bronz	WL15,WC20,WT20	nevhodné	doporučeno	doporučeno
Nikl a jeho slitiny	WP	nevhodné	doporučeno	nouzová volba
Měď	WL15,WC20,WT20	nevhodné	doporučeno	nevhodné
Bronzi ostatní	WL15,WC20,WT20	nevhodné	doporučeno	nevhodné
Titan	WL15,WC20,WT20	nevhodné	doporučeno	nouzová volba

Tab. 5 Doporučené proudové zatížení wolframových elektrod [29]

Průměr elektrody [mm]	stejnoseměrný proud [A]				střídavý proud [A]	
	přímá polarita elektroda (-)		nepřímá polarita elektroda (+)		polarita se střídá	
	WP	WT, WL	WP	WT, WL	WP	WT, WL
0,5	2-20	2-20	-	-	2-15	2-15
1,0	10-75	10-70	-	-	10-55	10-70
1,5	40-130	60-150	10-20	10-20	45-90	60-125
2,0	75-180	100-200	15-25	15-25	65-125	85-160
2,5	130-230	170-270	17-30	17-30	80-140	120-210
3,2	160-310	225-330	20-35	20-35	150-190	150-250
4,0	275-450	320-480	35-50	35-50	180-260	240-350
5,0	400-625	460-675	50-70	50-70	240-350	330-460
6,4	550-875	650-950	65-100	65-100	300-450	430-575

Wolframové elektrody jsou pomalu odtavovány a musí se brousit. Pro stejnosměrný proud se brousí do kuželovitého tvaru. Pro proud střídavý jsou elektrody nabroušeny do tupého tvaru a při svařování jsou nataveny a vznikne tvar kulový. Broušení musí být podélné, aby oblouk hořel na konci elektrody. (obr. 18) Vliv podélného nebo příčného broušení na svarovou lázeň je vidět na obrázku 19. Z tohoto obrázku je zřejmé, že se pro svařování musí elektrody nabrousit podélně. Kvalita nabroušení je také velice důležitá a to z hlediska kuželovitosti, centricity a jakosti povrchu. Aby oblouk hořel klidně je zapotřebí mít kužel vybroušený rovnoměrně

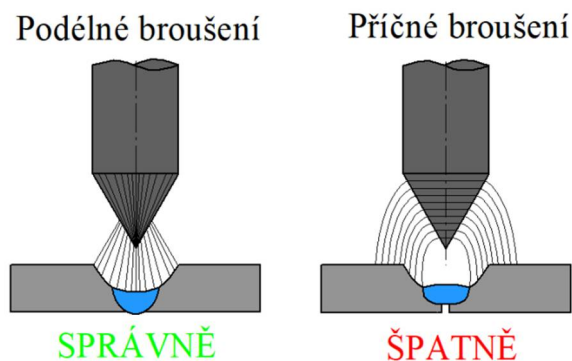


Obr. 18 Ukázka broušení [30]

a symetricky. Lepší textura povrchu nám zvýší životnost elektrody, respektive vybroušení.

Pro rozdílné svařovací proudy se doporučují i různé úhly kuželu, a jelikož jsou podle průměru elektrod doporučeny rozsahy proudů, můžeme vrcholové úhly zvolit na základě znalosti průměru elektrod. Úhel je v tomto případě definován pomocí průměru a délky kužele. Pro elektrody do průměru 3,2 mm se délka volí zhruba trojnásobek a při průměru větším se volí délka zhruba dvojnásobek.

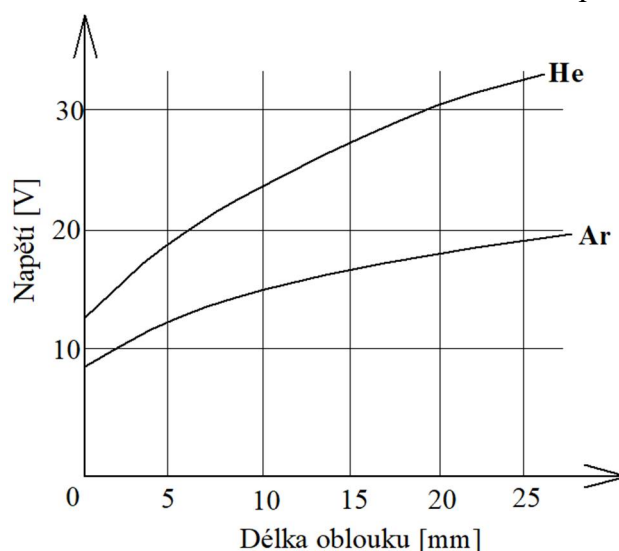
Vrcholový úhel elektrody má také veliký vliv na svarovou lázeň. Existují dvě tvrzení, která jsou přesně opačná a to buď že s ostřejším úhlem elektrody se zvětšuje průvar, přičemž šířka svaru se zmenšuje. Druhý názor je opačný a to že se průvar zvětšuje při tupějším úhlu nabroušení elektrody. Tyto rozpory najdeme v příloze č.3.



Obr. 19 Vliv broušení na svařování [31]

2.2 Ochranné plyny argon, helium a jejich směsi [1], [10], [13], [37]

Při svařování TIG chrání plyny wolframovou elektrodu, tavnou lázeň a okolí svaru před vzdušnou atmosférou. Mají veliký vliv na svařovací výkon, zapalování a stabilitu oblouku. Kvůli vysoké ceně těchto plynů je důležité zvážit, jaký plyn bude použit. Na obrázku 20 je vidět průběh napětí argonu a helia v závislosti na délce oblouku. Argon má nižší tepelnou vodivost, ale také má nižší ionizační potenciál a proto má při zapalování a hoření oblouku daleko lepší stabilitu. Argon má větší hustotu než vzduch a proto je dobrý na ochranu svaru, především v polohách, kde se svařuje směrem dolů. Helium je daleko lehčí než vzduch a proto je při polohách svařování směrem dolů zapotřebí větší množství tohoto plynu. Tyto plyny jsou označovány podle ČSN EN ISO 14175.



Obr. 20 Závislost napětí na délce oblouku[37]

- Argon

Jeho chemická značka je (Ar). Je to inertní jednoatomový plyn bez barvy a zápachu. Jeho hustota je $1,784 \text{ kg/m}^3$. Ionizační potenciál má 15,8 eV. Vyrábí se frakční destilací ze zkapalněného vzduchu, kde je obsažen přibližně 0,95 %. Čistoty plynu jsou uvedeny pomocí dvou čísel, mezi kterými je tečka. První číslice ukazuje počet devítek a druhá poslední číslo za těmito devítkami v procentech. Například 4.5 znamená 99,995 % tato čistota je u argonu dnes běžně vyráběna a používána pro svařování. Titan, tantal a zirkon jsou materiály, které mají vysokou afinitu ke kyslíku a proto je zapotřebí čistota plynu 4.8 nebo 5.0. Podle normy je argon označován: Ochranný plyn ISO 14175: I1.

- Helium
Chemická značka helia je (He). Tento plyn je jednoatomový, bez barvy či zápachu. Jeho hustota je $0,178 \text{ kg/m}^3$. Vyrábí se ze zemního plynu, který ho obsahuje přibližně 1 %. Jeho čistota bývá 4.6 nebo větší, se zárukou obsahu nečistot kyslíku, dusíku a vodní páry do 0,002%. Tepelná vodivost helia je velmi vysoká, kvůli tomu přenáší velké množství tepla do oblasti svaru. Je používán na svařování materiálu s velkou tloušťkou a tepelnou vodivostí jako je hliník, měď a jejich slitiny. Podle normy je helium označováno: Ochranný plyn ISO 14175: I2.
- Směsi argonu a helia
Tyto směsi tvoří samostatnou inertní skupinu. Jejich poměry jsou 30 % ku 70 %, 50 % a 50 %, 70 % ku 30 %. Ve většině případů jsou tyto směsi již namíchány v tlakových lahvích a není potřeba používat zařízení na jejich směšování. Každý prvek se chová stejně jako samostatný a tudíž s rostoucím obsahem helia roste napětí a roste tepelná vodivost, hloubka závaru, rychlost svařování. Můžeme také omezit předehřev materiálů s vyšší tepelnou vodivostí. Podle normy je směs argonu a helia označována: Ochranný plyn ISO 14175: I3.

2.3 Přídavné materiály [1], [10], [13]

Přídavný materiál je zvolen podle mechanických vlastností základního materiálu a podle jeho chemického složení. Přídavným materiálem ovlivňujeme tvar svarové lázně, zvětšujeme objem svarového kovu, legujeme kvůli mechanickým vlastnostem nebo kvůli dezoxidaci, odplynění a ovlivnění metalurgických pochodů ve svarovém kovu. Také tím můžeme snížit riziko trhlin nebo pórovitosti. Bývá pravidlem, že přídavný materiál je kvalitnější, aby měl svarový kov lepší vlastnosti než samotný základní materiál. Jako přídavný materiál se používají tyčky pro ruční svařování a dráty navinuté na cívku pro strojní svařování. Oba musí splňovat požadovanou jakost povrchu.

- Svařovací tyčky jsou dlouhé přímé dráty s kruhovým průřezem, které mohou být plné, nebo duté. Jejich průměr je v rozsahu 1 až 8 mm a délka od 600 až 1000 mm. Duté tyčky jsou vyplněné legujícími prvky.
- Svařovací dráty mají také kruhový průřez, ale jejich délka je v řádech desítek metrů, protože jsou navinuté na cívkách. Jejich průměry jsou od 0,6 do 2,4 mm a pro navařování až do 5 mm. Kvůli mechanizovanému podávání musí drát splňovat určitý stupeň tvrdosti, jde především o dráty z materiálů jako je hliník, měď a jejich slitiny.

2.4 Vady svarových spojů a příčiny vzniku [1]

Svar musí být celistvý a mít požadovanou jakost. Důležitým kritériem je aby splňoval mechanické vlastnosti. Přípustnost vad je předepsána na výkrese konstruktérem. Vady jsou rozděleny podle ČSN EN ISO 6520 – 1. Podle této normy jsou zapsány tři nebo čtyřmístným číslem. První číslo udává, o jaký druh vady se jedná. Čtvrtou číslicí je psána podskupina a tudíž v některých případech může mít číslo pouze tři řády. Ostatní řády jsou pro rozlišení různých možností vad, například orientaci trhliny nebo umístění. První číslice nabývá hodnot od 1 do 6 a podle toho se vady dělí na: Trhliny, dutiny, pevné vměstky, studené spoje a neprůvody, vady tvaru a rozměru, jiné vady.

- Trhliny mohou vznikat vnitřním pnutím, nevhodnou volbou přídavného materiálu, velkým odvodem tepla, příliš pevně upnutým dílcem, svařováním bez předehřevu nebo dohřevu.
- Plynové dutiny jsou tvořeny při nedostatečném množství ochranného plynu nebo při jeho nečistotě. Také mohou být způsobeny povrchovou vlhkostí na hořáku či základním materiálu.
- Vměstky jsou většinou drobné části wolframové elektrody, především když se zvolí špatný typ nebo malý průměr.
- Studené spoje a neprůvary se vytváří při velkém objemu přídavného materiálu, velkých nebo naopak malých posuvových rychlostí, při malé intenzitě svařovacího proudu.
- Vad tvaru a rozměru je velké množství, jedná se o zápaly, nadměrné převýšení svaru nebo kořene, strmý přechod svaru, přetečení krycí nebo kořenové vrstvy, neúplné vyplnění svaru, nepravidelný povrch. Každá z těchto vad je způsobena různým faktorem například zručností svářeče, nízkou nebo vysokou intenzitou svařovacího proudu, úhlem sklonu hořáku nebo přídavného materiálu.
- Jiné vady jsou způsobeny většinou chybou pracovníka nebo jeho nedostatečnou zručností či nedbalostí. Do této skupiny patří například dotyk elektrodou, rozstřík, podbroušení, vada stehu, bobtnání nebo náběhové zbarvení.

2.5 Zkoušky svarových spojů [1], [38]

Zkouškami hodnotíme jakost, hledáme možné vady nebo kontrolujeme celistvost. Svarové zkoušky se rozdělují na destruktivní a nedestruktivní, podle názvu je zjevné, že při některých zkouškách bude součást zničena. Provádějí se po svařování.

2.5.1 Svarové zkoušky nedestruktivní [1]

Při těchto zkouškách nedojde k porušení svaru. V těchto zkouškách se hledají trhliny, bubliny, póry, povrchové vady. Obecná pravidla jsou definována normou.

- Základní nedestruktivní zkouškou je vizuální kontrola kvalifikovaným pracovníkem, který zkoumá povrch, hledá trhliny nebo vady tvaru a rozměru. Kontrola je prováděna pomocí jednoduchých optických přístrojů nebo pouhým okem. K nepřístupným místům může být nahlédnuto fibroskopem nebo kamerou. Rozměry jsou měřeny pomocí posuvného měřidla.
- Kapilární zkouška je využívána k nalezení trhlín, které nejsou okem viditelné. Na povrch svarového spoje je nanesen penetrant (petrolej, barevná nebo fluorescenční kapalina), který vyplní trhliny. Poté se povrch setře nebo vysuší. Nanese se rychleschnoucí látka, která se odpaří pouze tam, kde je povrch bez trhlínek a prasklinek. V tom okamžiku jsou veškeré povrchové vady vykreslené.
- Magnetická zkouška je používána na detekování povrchových a těsně podpovrchových vad. Zkoumaný materiál musí být feromagnetický. Vady způsobí

změnu magnetického toku a díky kovovému prášku nanášeného na povrch součásti se vykreslí.

- Zkouška prozářením se používá ke hledání vnitřních vad ve svarovém spoji. Záření je rentgenové nebo gama. Záření prochází základním materiálem a ubývá na intenzitě. Na druhé straně je film, na kterém se záření projevuje zčernáním. Tam kde jsou dutiny, bude na filmu tmavší místo.
- Zkoušení svarů ultrazvukem je používáno ke zjištění vnitřních vad. Ultrazvuková vlna se šíří pouze pevným materiálem a na rozhraní je odražena. Přístroj tyto vlny vytváří a zachytává. Když je v materiálu defekt, vlna je odražena dříve a tento časový posun je znázorněn na přístroji.

2.5.2 Svarové zkoušky destruktivní [1], [38], [39]

Při těchto zkouškách je svarový spoj znehodnocen, avšak dokážeme detailně popsat mechanické vlastnosti nebo strukturu povrchu, což nám pomáhá při nastavování různých parametrů svařování nebo při volbě nových technologií.

- Příčnou zkouškou tahem se zjišťuje mez pevnosti, mez kluzu a tažnost. Funguje jako běžná tahová zkouška, ale vzorkem je tyčinka se svarem.
- Zkouškou ohybem jsou zjišťovány deformační vlastnosti svaru, Zkušební tyč se svarem je namáhána na ohyb, dokud nevznikne trhлина o velikosti 5 mm. Zkušební materiál je zatěžován ze strany líce svaru i ze strany kořene.
- Zkouška rázem v ohybu je prováděna pomocí Charpyho kladiva. Závaží o přesné hmotnosti narazí z určité výšky na zkušební tyčinku s vrubem, která je tím přerážena. Závaží ztratí určité množství energie. Měří se výška, do jaké se závaží vychýlí. Tím dokážeme určit vrubovou houževnatost ve svaru.
- Makroskopickými a mikroskopickými zkouškami svaru jsme schopni prohlédnout a rozpoznat strukturu svaru, změřit hloubku i šířku svarového kovu nebo velikost a tvar tepelně ovlivněné oblasti. Součást je rozříznuta kolmo na osu svaru. Při dělení materiálu je nutno postupovat obezřetně, aby nedošlo k poškození struktury. Nesmí být použito dělení za pomoci tepla. Nejvhodnější je ruční nebo strojní řezání materiálu s intenzivním chlazením. Při zkoumání malých vzorků je použita preparace, což je zalití vzorku do pryskyřice. Jestliže je vzorek dostatečně velký, aby byl lehce uchopitelný a mohl být broušen, preparace není zapotřebí. Poté nastává broušení, které může být strojní nebo ruční. Zprvu je použit brusný papír s velkými zrny. Opět je nutno odvádět teplo. To je provedeno vodou, která zároveň pomáhá k odplavování nečistot a oddělených zrn z brusného papíru. Broušení je prováděno vždy v jednom směru a při změně brusného papíru na jemnější je následovný směr kolmý k předchozímu. Pro vyvolání makrostruktury následuje po broušení fáze leptání. Poté bude vzorek připraven k pozorování. Při makroskopickém pozorování se na zkoumaný povrch pohlíží pouhým okem, nebo je použito mírné zvětšení. Pro vyvolání mikrostruktury nastává po broušení etapa leštění a teprve poté leptání. Mikroskopické pozorování je pomocí mikroskopu a je zvětšeno stokrát až tisíckrát. Při pozorování mikrostruktury lze rozpoznat jednotlivé zrna, hranice zrn nebo fáze ve struktuře.

3 Experiment [40], [41]

Materiál, na kterém bude experiment proveden je zvolen S235JR (tab. 6) a x5CrNi1810 (tab. 7). Jde tedy o uhlíkovou ocel a austenitickou korozivzdornou ocel. Pro navařování jsou zvoleny elektrody WT – 20 o průměru 2,4 mm. Tyto elektrody jsou vhodné pro oba materiály. Pro návary je připraven z obou materiálů plech, který je zbaven povrchových oxidů. V ideálním případě je použita metoda otryskávání. V našem případě je povrch upraven broušením. Svařovací zdroj je zvolen Fronius magic wave 2600. Pro vhodné provedení experimentu je plech upevněn do přípravku s automatickým pojezdem (svařovací traktor od firmy Fronius), díky kterému budou všechny návary provedeny stejnou rychlostí, úhlem a vzdáleností elektrody od povrchu materiálu při svařování. Po výměně jednotlivých elektrod s rozdílným úhlem vybroušení, bude vzdálenost nastavena pomocí podložky, aby nedošlo ke změně délky mezi vrcholem elektrody a svařovaným materiálem. Po svařování, budou přiřazeny vrcholové úhly elektrod příslušným návarům a posléze označeny raznicí aby nedošlo k záměně. Oddělení návarů a řez napříč svarem bude proveden kotoučovou pilou s intenzivním chlazením, díky kterému nedojde ke změně struktury v okolí řezu. Poté bude následovat metalografie a posouzení výsledků.



Obr. 21 Svařovací zdroj [vlastní tvorba]

Tab. 6 Vlastnosti oceli S235JR [40]

Přehled vlastností oceli S235JR (nelegovaná jakostní konstrukční ocel)						
Chem. Složení [hm. %]	C (max)	Si (max)	Mn (max)	P (max)	S (max)	N (max)
	0,19	-	1,5	0,045	0,045	0,014
Mech. vlastnosti pro zk. v podél. Směru	R_{eH} [MPa]	R_m [MPa]	A [%]	KV při 20°C [J]		
	235	260-510	26	27		

Tab. 7 Vlastnosti oceli x5CrNi1810 [41]

Přehled vlastností oceli x5CrNi1810 (austenitická korozivzdorná ocel)								
Chem. Složení [hm. %]	C (max)	Si (max)	Mn (max)	P (max)	S (max)	N (max)	Cr	Ni
	0,07	1,00	2,00	0,045	0,030	0,11	17,0-19,5	8,0-10,5
Mech. vlastnosti ve stavu po rozpouštění žíhání	$R_{p0,2}$ [MPa]		R_m [MPa]		A [%]	KV při 20°C [J]		
	230		540-750		45	-		

R_{eH} je horní mez kluzu. Pro materiály, které nemají výraznou mez kluzu je používána smluvní mez kluzu označovaná $R_{p0,2}$.

R_m je mez pevnosti.

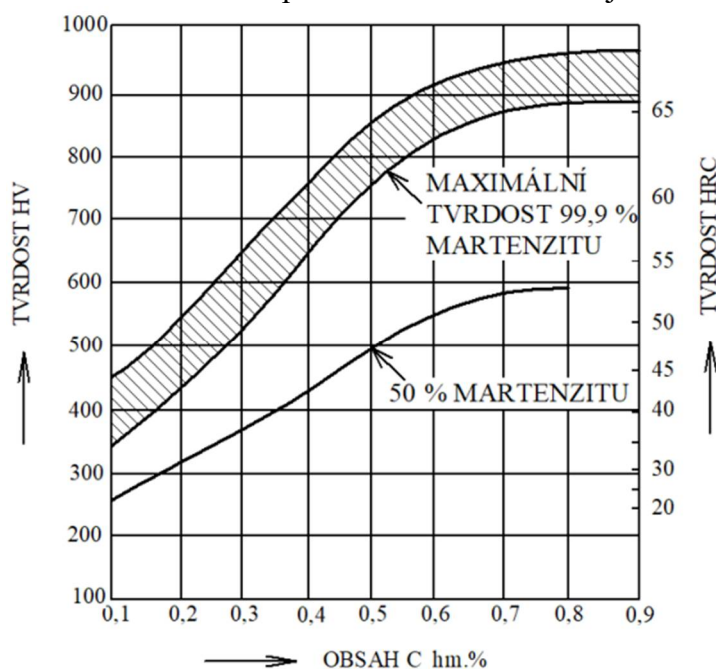
A vyjadřuje tažnost.

KV označuje vrubovou houževnatost.

3.1 Svařitelnost uhlíkových ocelí [38], [42]

Mezi uhlíkové oceli jsou podle ČSN 42 0002 zařazeny oceli třídy 10, 11, 12 a oceli na odlitky řady 42 23 XX. Základní vlastnosti jsou u této skupiny ovlivněny především podle množství uhlíku, přičemž množství fosforu a síry má být minimální. Obsah uhlíku může být až do 1,7 hm. %. Uhlíkové oceli jsou velice málo odolné proti oxidaci a korozi. Jejich další

nevýhodou je výrazný pokles tvrdosti při žihání, malá prokalitelnost a s rostoucí teplotou výrazný pokles pevnosti. Nevýhody mohou být vyřešeny volbou ocelí s legujícími prvky. Při svařování těchto ocelí musí být počítáno s tím, že díky uhlíku bude docházet v tepelně ovlivněné oblasti k nárůstu tvrdosti a zároveň poklesu houževnatosti a plasticity. Tím dochází ke vzniku vnitřního pnutí, případně trhlin. Podle diagramu na obrázku 22 je stanovena maximální tvrdost v TOO podle obsahu uhlíku. Je dovoleno 50 % martenzitu ve struktuře. Z diagramu lze tedy vyčíst například, že při obsahu uhlíku 0,25 hm. % je maximální tvrdost 350 HV. U ocelí s obsahem



Obr. 22 Závislost tvrdosti na obsahu uhlíku [42]

uhlíku nižším než 0,25 hm. % není potřeba zajistit zvláštní podmínky při svařování, ovšem u ocelí s vyšším obsahem je nutno zajistit předehřev. Jsou zařazeny ve skupině podmíněně svařitelných. Předehřevem je ohřáta velká část základního materiálu a po svařování dochází ke snížení rychlosti ochlazování. V některých případech může být použito místo předehřevu svařování s velkým tepelným příkonem, čímž je zajištěno vnesené teplo do širšího okolí svaru a bude opět docházet ke zpomalení rychlosti ochlazování. Při svařování uhlíkových ocelí mohou nastat komplikace, jestliže je svařována neuklidněná ocel. V takovém případě mohou vznikat póry, trhliny nebo dokonce může dojít ke zkřehnutí svarového spoje. Přídavné materiály se volí především podle požadovaných mechanických vlastností svarového kovu. Výjimka je tvořena pouze u součástí pro nízkoteplotní aplikace, kde je přidáván nikl.

3.1.1 Vlivy jednotlivých prvků na svařitelnost uhlíkových ocelí [38], [43]

V tabulce 8 je rychlý přehled toho, jak ovlivňují vybrané prvky vlastnosti oceli. Označení (++) znamená značné zlepšení vlastností, (+) zlepšení vlastností a (-) zhoršení vlastností.

Tab. 8 Vliv chemických prvků na vlastnosti ocelí [43]

VLASTNOSTI/ PRVKY	Uhlíkové oceli nelegované											
	Legované oceli											
	C	Mn	Si	P	S	Cr	Ni	W	V	Mo	Co	
Pevnost	++	++	+	+	-	++	+	+	+	++	+	
Tvrdost	++	++	+	+		++	+	+	+	++		
Pružnost	+	+	++			+			+	+		
Houževnatost	-	+		-	-	+	++	+	+	+		
Svařitelnost	-	+	-		-				+	+		
Žáruvzdornost		-	-			++	+	+				

- **Křemík (Si)**
Zvyšuje pevnost feritu. Působí silně desoxidačně. Jeho nedostatkem je způsobeno neuklidnění oceli. Horní hranice je 0,45 hm. %.
- **Mangan (Mn)**
Jeho přítomností je zvýšena mez kluzu i mez pevnosti a zároveň není snížena plasticita. Obvyklé množství v nelegovaných ocelích je 0,3 až 1,7 hm. %. Mangan působí desoxidačně a společně s křemíkem je používán pro výrobu uklidněných ocelí.
- **Fosfor (P)**
Jeho přítomností je zvýšena mez kluzu i mez plasticity, avšak snižuje plasticitu. Díky fosforu křehne ferit a mohou se vyskytnout trhliny. Z těchto důvodů je jeho obsah omezen na maximálně 0,03 hm. %.
- **Síra (S)**
V některých případech je do ocelí přidávána kvůli velikému zlepšení obrobitelnosti. S vyšším obsahem síry vzniká náchylnost ke vzniku teplých trhlin. Na síru působí pozitivně přítomnost manganu, ke kterému má vyšší afinitu než k železu. Sulfidy manganu poté tvoří krystalizační zárodky. Její obsah je v nelegovaných ocelích omezen na maximální hodnotu 0,03 hm. %.
- **Dusík (N)**
Jeho množství je ovlivněno technologií výroby. Dusík je austenitotvorný a proto rozšiřuje oblast gama. Vznik nitridů je spojeno s nárůstem pevnosti a tvrdosti, ale na úkor křehkosti a houževnatosti. Dusík způsobuje křehkost v rozmezí teplot od 100 do 350 °C. Nebezpečné je vylučování nitridů v blízkosti svaru, může vést při těchto teplotách k úplnému rozrušení konstrukce. Jeho maximální rozpustnost ve slitinách železa je 0,04 hm. % při teplotě 1600 °C.
- **Vodík (H)**
Je nežádoucím prvkem. Ve slitinách železa se objevuje při výrobě nebo při svařování díky vzdušné vlhkosti nebo díky vlhkosti kdekoli jinde. Díky němu vznikají trhliny a póry. Oduhličuje materiál, což je nežádoucí. Je potřeba brát zřetel na ošetření veškerých svařovacích pomůcek, které by mohli vnést vlhkost do svaru. Například elektrody, přídavný materiál, zbytky maziva.
- **Hliník (Al)**
Váže na sebe oxidy a nitridy, které poté slouží jako krystalizační zárodky pro tuhnutí oceli. Používá se pro silně uklidněné oceli, kde by se měl vyskytovat v minimálním množství 0,02 hm. %.
- **Měď (Cu)**
V malém množství (maximálně 0,26 hm. %) je neškodná. Do nelegovaných ocelí není přidávána, ale díky použití ocelového šrotu pro tavbu je možnost výskytu.

3.1.2 Uhlíkový ekvivalent a ARA diagram [38], [44]

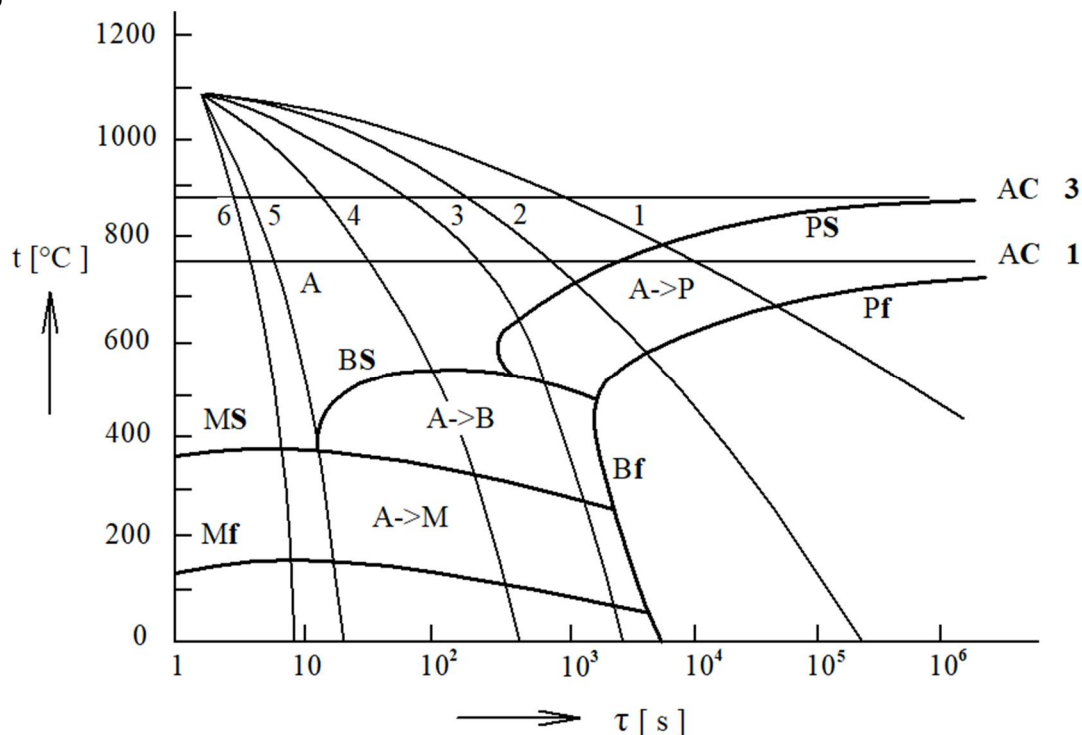
Popis vlastností důležitých pro svařování je možno popsat uhlíkovým ekvivalentem, jehož hodnota poukáže, zda může dojít při standardních podmínkách k degradaci svarového spoje a jeho okolí. Zvláštním opatřením pro materiály, které mají uhlíkový ekvivalent vyšší, než je stanovená hranice je předehřev, pro snížení rychlosti ochlazování a tím zabránění martenzitické struktury ve velkém rozsahu. Materiály, které mají uhlíku méně nebo rovno 0,22 hm. % jsou nazývány zaručeně svařitelné a není u nich potřeba jiného opatření. Musí také splňovat podmínku, že uhlíkový ekvivalent je menší nebo rovno 0,45. Mezinárodní svářečský institut navrhl vzorec pro oceli s obsahem uhlíku větším než 0,18 hm. %.

$$C_e = C + \frac{Mn}{6} + \frac{Cr + Mo + V}{6} + \frac{Ni + Cu}{15} \text{ [hm. \%]} \quad (3.1)$$

$$C_{eS235JR} = 0,19 + \frac{1,5}{6} + \frac{0 + 0 + 0}{6} + \frac{0 + 0}{15} = 0,44 \text{ hm. \%}$$

Ocel S235JR splňuje podmínku uhlíkového ekvivalentu a proto nemusí být volen předehřev nebo jiná opatření.

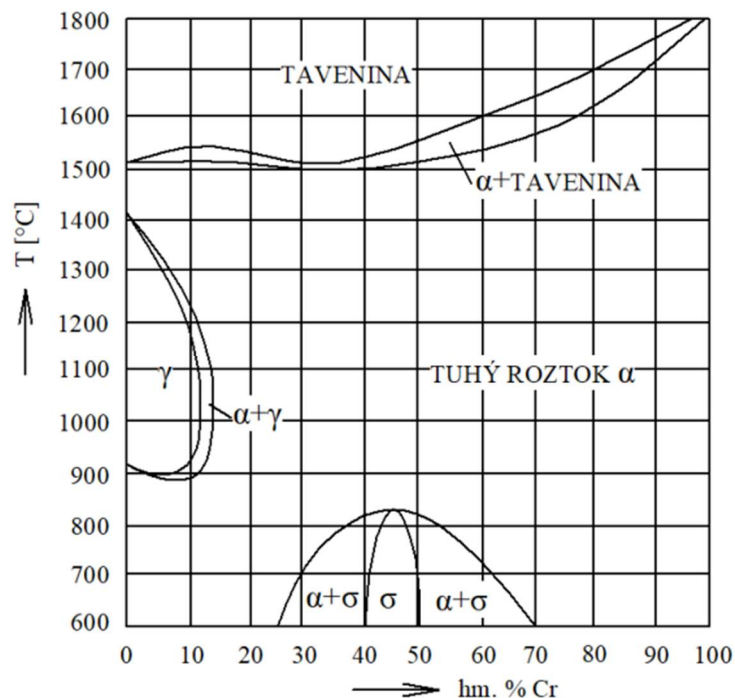
ARA diagram (anizotermický rozpad austenitu) je ukázán na obrázku 23. Popisuje rozpad austenitu na perlit, bainit nebo martenzit. Při pomalém ochlazování je austenit přeměňován na perlit, což je pro svařování vhodná struktura (křivka 1 a 2). Jestliže bude materiál ochlazován rychleji, austenit se nestihne přeměnit celý na perlit a bude částečně vznikat i struktura bainitická (křivka 3). Při dalším zrychlení ochlazování bude vznikat rovnou struktura bainitická (křivka 4). Křivka 5 je limitní rychlost ochlazování označená v_k . Při této rychlosti bude austenit přeměňován přímo na martenzit, který nám ve struktuře vadí z důvodu jeho křehkosti a tvrdosti. ARA diagramy se pro každý materiál liší, avšak principem zůstávají stejné.



Obr. 23 Diagram anizotermického rozpadu austenitu [44]

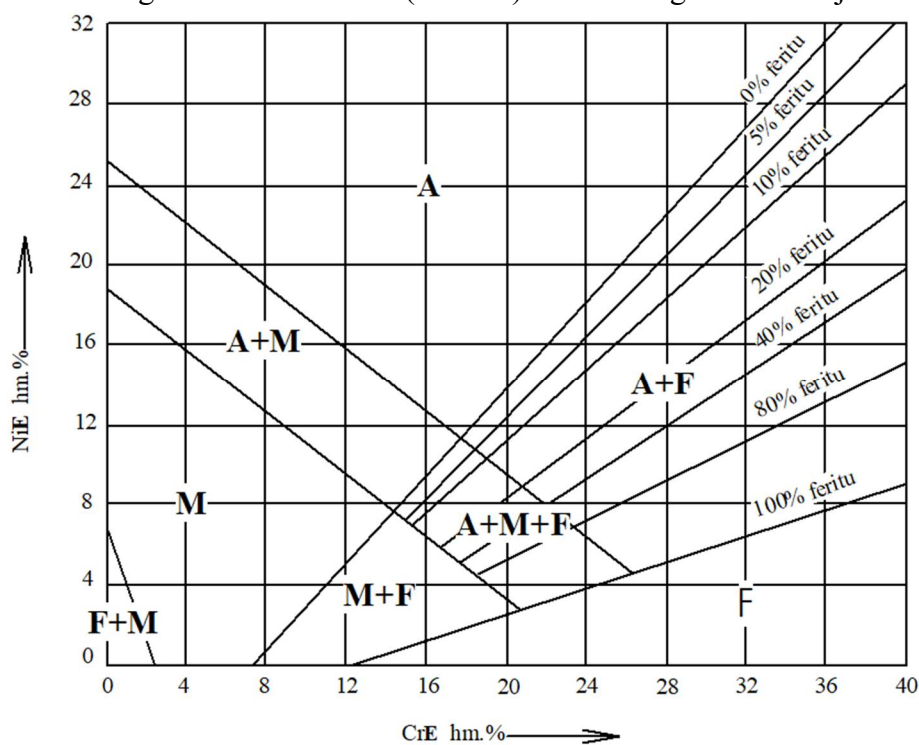
3.2 Vysokolegované korozivzdorné oceli [38], [45], [46]

Vysokolegované oceli obsahují více než 10 hm. % celkového obsahu legujících prvků. Aby oceli byli korozivzdorné, musí obsahovat minimálně 12% chromu. Podíl chromu je závislý na obsahu uhlíku. Legující prvky mohou být rozděleny do dvou skupin. Austenitotvorné, které rozšiřují oblast gama (oblast výskytu austenitu v diagramu železo- karbid železa). Tyto prvky jsou uhlík, nikl, měď, mangan a dusík. Druhou skupinou jsou prvky feritotvorné, které naopak oblast gama zužují. Mezi tyto prvky patří chrom, molybden, křemík, hliník, wolfram, titan, niob a vanad. Podle dosažené mikrostruktury jsou vysokolegované korozivzdorné oceli rozděleny do čtyř skupin. Feritické chromové oceli, martenzitické chromové oceli, austeniticko- feritické (duplexní) Cr-Ni nebo Cr-Ni-Mo oceli a austenitické Cr-Ni, nebo Cr-Ni-Mo oceli. Mezi tuto poslední skupinu patří i materiál x5CrNi1810. Struktura vysokolegovaných korozivzdorných ocelí je ovlivněna chemickým složením a základní poznatky nám pomáhá určit diagram železo-chrom (obr. 24). Tento diagram zahrnuje vliv chromu na strukturu materiálu. Při koncentraci nad 13 % je struktura čistě feritická. Slitina při této koncentraci nad 900 °C zvětší své zrna a způsobí křehnutí. Zjemnění zrna rekrytalizačním žíháním není možná, protože nedojde k žádné strukturální změně. Při obsahu chromu okolo 45 % vzniká nová fáze, která také vyvolává křehnutí materiálu. Přidáním niklu do materiálu, zvýšíme korozní odolnost a zvýšíme houževnatost. To je způsobeno austenitickou strukturou. Pro oceli s chromem i niklem je



Obr. 24 Diagram Fe-Cr [45]

Diagram železo-chrom (obr. 24). Tento diagram zahrnuje vliv chromu na strukturu materiálu. Při koncentraci nad 13 % je struktura čistě feritická. Slitina při této koncentraci nad 900 °C zvětší své zrna a způsobí křehnutí. Zjemnění zrna rekrytalizačním žíháním není možná, protože nedojde k žádné strukturální změně. Při obsahu chromu okolo 45 % vzniká nová fáze, která také vyvolává křehnutí materiálu. Přidáním niklu do materiálu, zvýšíme korozní odolnost a zvýšíme houževnatost. To je způsobeno austenitickou strukturou. Pro oceli s chromem i niklem je



Obr. 25 Schaefflerův diagram [46]

zkonstruován Schaefflerův diagram, který zahrnuje feritotvorné i austenitotvorné prvky. Každý prvek má jiný vliv na strukturu a proto je vypočítán chromový a niklový ekvivalent, pomocí kterého je poté zkonstruován diagram. Diagram je na obrázku 25. Schaefflerův diagram nebere v potaz dusík, který je austenitotvorný prvek. Materiály, které obsahují více dusíku, jsou posuzovány podle De Longova diagramu. Materiál x5CrNi1810 obsahuje 0,11 % dusíku a tudíž bude jeho struktura odhadována právě podle De Longe. Niklový ekvivalent (Ni_E) a chromový ekvivalent (Cr_E) je vypočítán podle vztahu 3.2 a 3.3 tento výpočet platí pro Schaefflerův diagram. De Long připočítal k niklovému koeficientu dusík s koeficientem 30 a poté byl zkonstruován nový diagram.

$$Ni_E = Ni + 30 C + 0,5 Mn [hm. \%] \quad (3.2)$$

$$Cr_E = Cr + Mo + 1,5 Si + 0,5 Nb [hm. \%] \quad (3.3)$$

3.2.1 Svařitelnost austenitických Cr-Ni (Cr-Ni-Mo) ocelí [38]

Přídavný materiál se obvykle volí podobný případně s přídavkem některých prvků. Jedním z nejdůležitějších požadavků je podíl delta feritu ve svarovém kovu. Tento materiál nelze zakalit, a tudíž nemusí být stanoven předeřev, zároveň není náchylný na vznik trhlin za studena. Svarové spoje po svařování nejsou obvykle zpracovávány, avšak je možnost tepelného žíhání na snížení vnitřního pnutí, s tím že se musí brát zřetel na korozní odolnost materiálu. Austenitické korozivzdorné oceli mají nižší tepelnou vodivost a větší tepelnou roztažnost s porovnáním s feritickými korozivzdornými oceli, díky které dochází k napětí a vzniku trhlin. Austenitická struktura jim dodává lepší tažnost a houževnatost než mají uhlíkové a nízkolegované oceli. Pro svařitelnost jsou důležité tři hlavní faktory a to náchylnost k tvorbě teplých trhlin, precipitace karbidů chromu díky čemuž vzniká interkrystalická koroze a zkřehnutí vznikem sigma fáze.

- **Teplé krystalizační trhliny**
Tyto trhliny vznikají pouze ve svarovém kovu. Příčinou jejich vzniku jsou prvky síra, fosfor, křemík, titan, niob. Při tuhnutí snižují plasticitu na tolik, že dojde ke vzniku trhliny nebo vytvářejí nízko tavitelná eutektika, která snižují pevnost na hranicích zrn. Síru můžeme eliminovat přidáním manganu, na který se naváže a vyloučí se ve formě strusky na povrchu materiálu. Křemíku je doporučeno do 0,5 hm. %. Důležitý prvek je fosfor, jeho nepříjemný vliv můžeme vyřadit jeho rozpustností v delta feritu. Ve svarových kovech je proto vyžadována přítomnost delta feritu alespoň 2 až 6 hm. % a v základním materiálu alespoň 3 %. Při ochlazování dochází k přeměně delta feritu na austenit, z tohoto pochodu je zjevné, že při vyšších teplotách je ve struktuře delta feritu více a to až desetinásobně.
- **Mezikrystalová koroze**
Tato koroze se objevuje v rozmezí teplot od 425 do 815 °C. Uhlík na korozi nemá vliv, pokud je ho méně než 0,02 hm. %. Na to jak přesně vzniká tato koroze je vytvořeno několik teorií. V první je myšlenka toho, že kvůli vylučování karbidů a nitridů chromu dochází místy k ochuzení obsahu chromu na tolik, že bude pod kritickou hranici korozní odolnosti. Druhá teorie popisuje pnutí na rozhraní fází díky kterému se objeví energetické rozdíly a ty způsobí nedokonalou ochranu proti korozi. Poslední teorie uvádí, že karbid nebo nitrid působí ve struktuře jako katoda a méně ušlechtilější (ostatní materiál) působí jako anoda a začne vznikat mezikrystalová koroze. Všechny tyto teorie přisuzují příčinu vzniku koroze pomocí

vzniku karbidů a nitridů chromu. Jestliže chceme snížit mezikrystalovou korozi musíme zamezit vznikání karbidů chromu. Snížením uhlíku zamezíme i vznikáním karbidů chromu. Pro obsahy okolo 10 hm. % niklu, může být použit vztah pro výpočet maximálního množství uhlíku. (3.4)

$$Cr \geq 80 C + 16,8 \quad (3.4)$$

Dalším faktorem ovlivňující mezikrystalovou korozi je doba žhání způsobujícího zcitlivění. Zcitlivění je závislé na době ohřevu, ale i na teplotě. Nejkritičtější teplota je 650 °C. Při této teplotě dochází ke korozi nejrychleji. Další možností jak zamezit vznikání karbidů chromu je přidat do oceli prvky s vyšší afinitou k uhlíku. Tyto prvky jsou niob, titan, tantal. Vytvoří se prvotně karbidy těchto prvků a chrom zůstane nedotčený. Aby došlo ke stabilizaci oceli, používají se následující poměry prvků. (3.5; 3.6; 3.7; 3.8)

$$\frac{Nb}{C} \geq 8 \quad (3.5)$$

$$\frac{Ti}{C} \geq 4 \quad (3.6)$$

$$\frac{Ta + Nb}{C} \geq 8 \quad (3.7)$$

$$\frac{Ta}{C} \geq 16 \quad (3.8)$$

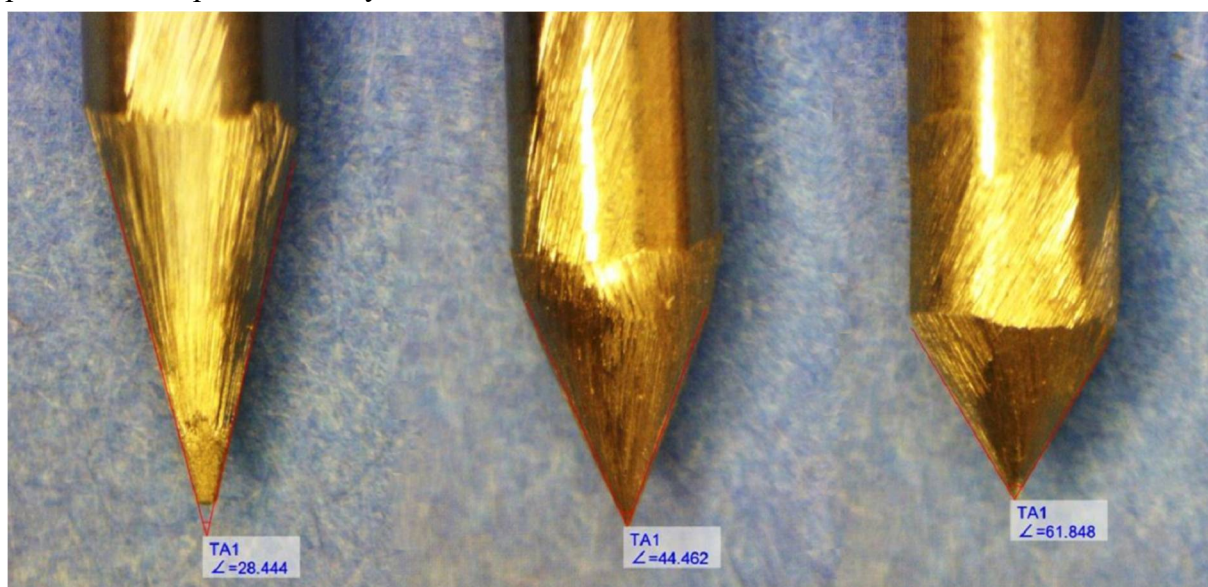
- Vznik fáze σ (sigma)
Tato fáze je tvrdá a křehká, pro svar nevyhovující. Tato fáze vzniká přidáním chromu. Oblast výskytu je vidět na diagramu Fe-Cr, který je na obrázku 24. Její vznik podporují veškeré způsoby, které by lokálně mohly zvýšit obsah chromu. Takovým to příkladem může být například prvky, které se sloučí s karbidy a nitridy a zůstane čistý chrom. Vznik této fáze podporuje také intenzivní tváření za studena nebo únava za tepla.

3.3 Posuzované názory ohledně vlivu tvaru elektrody [32], [33], [34], [35], [36]

Existují dva opačné názory na to, jaký vliv má úhel elektrody na tvar svarové lázně, v jednom druhu literatur je psáno, že čím je úhel elektrody ostřejší, tím je větší hloubka svaru a menší šířka. Druhé typy literatur píše přesný opak a to že s tupějším úhlem vybroušení elektrody se zvětšuje průvar a zmenšuje šířka svaru. Obrázky z různých zdrojů jsou v příloze číslo 3.

3.4 W-elektrody a nastavené hodnoty při svařování

Elektrody byly zvoleny WT – 20, které vyhovují oběma svařovaným materiálům. Jejich průměr je 2,4 mm. Pro uhlíkovou ocel a austenitickou korozivzdornou ocel byla zvolena přímá polarita. Pomocí znalosti materiálu, polaritě a druhu elektrod byly zvoleny svařovací parametry. Mezi tyto parametry patří svařovací rychlost, proud, vzdálenost elektrody od svařovaného materiálu, průtok plynu, typ plynu. Jako inertní plyn byl zvolen Argon. Průtok plynu 10 litrů za minutu. Svařovací rychlost byla zajištěna svařovacím traktorem, pomocí kterého jsme udrželi konstantní posuv. Proud byl zvolen 120 A. Kvůli tomu, že zdroj má svou V-A charakteristiku, je následně po svařování vyhotoven průměr hodnoty proudu a hodnoty napětí. Na obrázku 26 a 27 jsou zvětšené elektrody s okótovanými úhly, kterými byl poté pokus proveden. Poté následují tabulky (tab. 9 a 10) naměřených hodnot při svařování a přiřazení čísel pro různé úhly elektrod a svarů.



Obr. 26 Nabroušené w-elektrody 1 [vlastní tvorba]



Obr. 27 Nabroušené w-elektrody 2 [vlastní tvorba]

Tab. 9 Naměřené hodnoty pro materiál S235JR [vlastní tvorba]

Svar číslo	Úhel elek. [°]	Rychlost [cm/min]	Napětí [V]	Proud [A]
1	28,44	15	19,0	121
2	44,46	15	18,9	121
3	61,85	15	18,4	121
4	89,54	15	17,6	120
5	122,29	15	18,2	122
6	131,42	15	18,9	121

Tab. 10 Naměřené hodnoty pro materiál x5CrNi1810 [vlastní tvorba]

Svar číslo	Úhel elek. [°]	Rychlost [cm/min]	Napětí [V]	Proud [A]
1	28,44	15	18,8	121
2	44,46	15	18,3	121
3	61,85	15	18,6	120
4	89,54	15	17,6	120
5	122,29	15	17,5	122
6	131,42	15	16,7	120

Pro vyhodnocování bude muset být vypočítáno teplo vnesené do svaru, to bude vypočítáno z údajů z těchto tabulek. Na obrázku číslo 28 je vyfocený plech z uhlíkové oceli se svary a přiřazením. Na obrázku 29 je austenitická korozivzdorná ocel se svary a očíslováním.



Obr. 28 Svary na S235JR [vl. tvorba]



Obr. 29 Svary na x5CrNi1810 [vl. tvorba]

3.5 Výpočet vneseného tepla [38], [47]

Pro pozdější pozorování je pro nás velice důležité vypočítat vnesené teplo na milimetr svarového spoje. Toto teplo je vyjadřováno měrným tepelným příkonem označovaným Q . Je vypočítáno pomocí proudu, napětí a svařovací rychlosti. Z měrného tepelného příkonu je poté pomocí účinnosti z tabulky 11 vypočítán efektivně využitý příkon (Q_e). Tato účinnost je dána druhem technologie. Při pozorování makrostruktury budeme muset tento fakt zohlednit. Hodnoty pro výpočet vzorce 3.9 nalezneme v předchozí kapitole, přičemž svařovací rychlost převedeme z centimetrů za minutu na milimetry za sekundu. (vynásobíme 10 a poté vydělíme 60)

$$Q = \frac{U \cdot I}{v_s \cdot 10^3} [kJ \cdot mm^{-1}] \quad (3.9)$$

Q – měrný tepelný příkon [$kJ \cdot mm^{-1}$]

U – napětí [V]

I – proud [A]

v_s – svařovací rychlost [$mm \cdot s^{-1}$]

Tab. 11 Hodnoty koeficientu η pro jednotlivé technologie [47]

Tech. svař.	MMAW (ROS)	GTAW (TIG)	GMAW (MIG)	APT (SAW)	ESS
Účinnost	0,7 až 0,85	0,48 až 0,65	0,66 až 0,75	0,90 až 0,99	0,90 až 0,99

$$Q_e = Q \cdot \eta_{TIG} [kJ \cdot mm^{-1}] \quad (3.10)$$

Q_e – efektivně využitý měrný tepelný příkon [$kJ \cdot mm^{-1}$]

η_{TIG} – účinnost pro metodu TIG, volím 0,65 [–]

Tab. 12 Vypočítané hodnoty Q a Q_e [vlastní tvorba]

Svar	Úhel [°]	S235JR		x5CrNi1810	
		Q [kJ/mm]	Qe [kJ/mm]	Q [kJ/mm]	Qe [kJ/mm]
1	28,44	0,920	0,598	0,910	0,591
2	44,46	0,915	0,595	0,886	0,576
3	61,85	0,891	0,579	0,893	0,580
4	89,54	0,845	0,549	0,845	0,549
5	122,29	0,888	0,577	0,854	0,555
6	131,42	0,915	0,595	0,802	0,521

Vzorový výpočet pro materiál S235JR a svar 1 (úhel 28,44°). Ostatní výpočty jsou stejné pouze s jinými hodnotami, a proto jsou už pouze zaznamenané jejich výsledky v tabulce 12.

$$Q = \frac{U \cdot I}{v_s \cdot 10^3} = \frac{121 \cdot 19,0}{2,5 \cdot 10^3} = 0,920 \text{ kJ} \cdot \text{mm}^{-1}$$

$$Q_e = Q \cdot \eta_{TIG} = 0,920 \cdot 0,65 = 0,598 \text{ kJ} \cdot \text{mm}^{-1}$$

3.6 Příprava na metalografické pozorování

Na obrázku 28 a 29 jsou vidět vzorky svarů po svařování. Aby nedošlo k záměně, bylo na každý vzorek vyraženo číslo od jedné do šesti. Tyto hodnoty se shodují s přiřazením čísel k úhlům elektrod v předchozích tabulkách. Poté následovalo rozřezání plechů se svary na jednotlivé vzorky nebo po dvojicích tak, aby byly snadno pozorovatelné pod mikroskopem. Rozřezané vzorky jsou ukázány na obrázku 30 a 31. Aby nedošlo k tepelnému ovlivnění okolí svaru vlivem dělení materiálu, bylo zapotřebí použít speciální pilu s intenzivním chlazením pomocí emulze. Na obrázku 32 je vidět také plocha, která bude upravena pro pozorování pod mikroskopem, na tuto plochu je potřeba být velice opatrný, aby nedošlo k jejímu poškození. Malé vzorky by se špatně brousily jednotlivě, a proto byly zality do dentacrylu.



Obr. 30 Vzorky x5CrNi1810 [vl. tvorba]

Po vytvrzení se může se vzorky pracovat jako s jediným vzorkem. Následující operací je broušení, to probíhalo na broušícím přístroji, který je schopný intenzivního vodního chlazení. Do přístroje mohou být vkládány brusné papíry, které jsou zapotřebí. V tomto případě byly použity brusné papíry podle zrnitosti od nejhrubších po nejjemnější.



Obr. 31 Vzorky S235JR [vl. tvorba]

Zrnitost 120, 180, 400, 600 a 1200. Při broušení je důležité zachovat kolmost mezi osou svaru a broušenou plochou. Poté co je plocha zbroušená nejjemnějším brusným papírem, následuje leptání. Leptadel je mnoho druhů. Určují se podle druhu materiálu. Pro austenitickou korozivzdornou ocel x5CrNi1810 bylo zvoleno leptadlo Marble. Pro uhlíkovou ocel S235JR bylo použito leptadlo Nital. Leptáním dojde k zvýraznění povrchových vrstev ve struktuře materiálu. Pozorování může probíhat buď pouhým okem, nebo pod mikroskopem. V našem případě jsme pozorovali mikroskopem. Pro materiál S235JR bylo použito padesátinásobné zvětšení a pro materiál x5CrNi1810 bylo použito sedmdesátinásobné zvětšení.



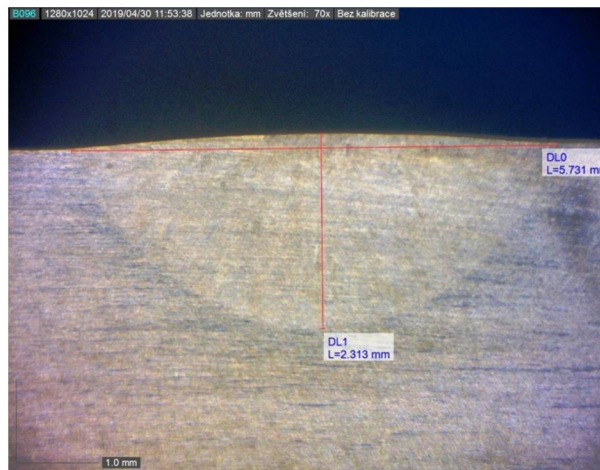
Obr. 32 Ukázka plochy pro broušení [vlastní tvorba]

3.7 Metalografické pozorování

Tato kapitola bude souhrn výsledných fotek vyvolané makrostruktury pro materiál S235JR a x5CrNi1810. V každém z obrázků jsou dvě kóty, které přesně ukazují hloubku a šířku svaru. Obrázky jsou očíslované podle úhlu elektrod, stejně jako v předchozích kapitolách. Obrázky uhlíkové oceli jsou vyobrazené tak, aby mohla být vidět tepelně ovlivněná oblast alespoň z jedné strany, pro tento experiment nemá však téměř žádný význam.



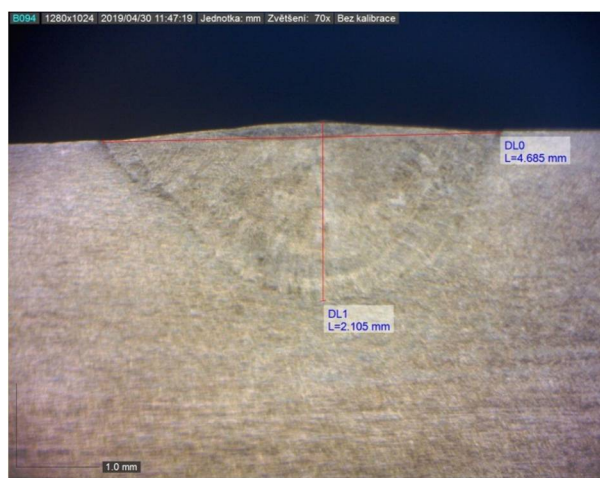
Obr. 33 x5CrNi1810 svar 1 [vl. tvorba]



Obr. 34 x5CrNi1810 svar 2 [vl. tvorba]



Obr. 35 x5CrNi1810 svar 3 [vl. tvorba]



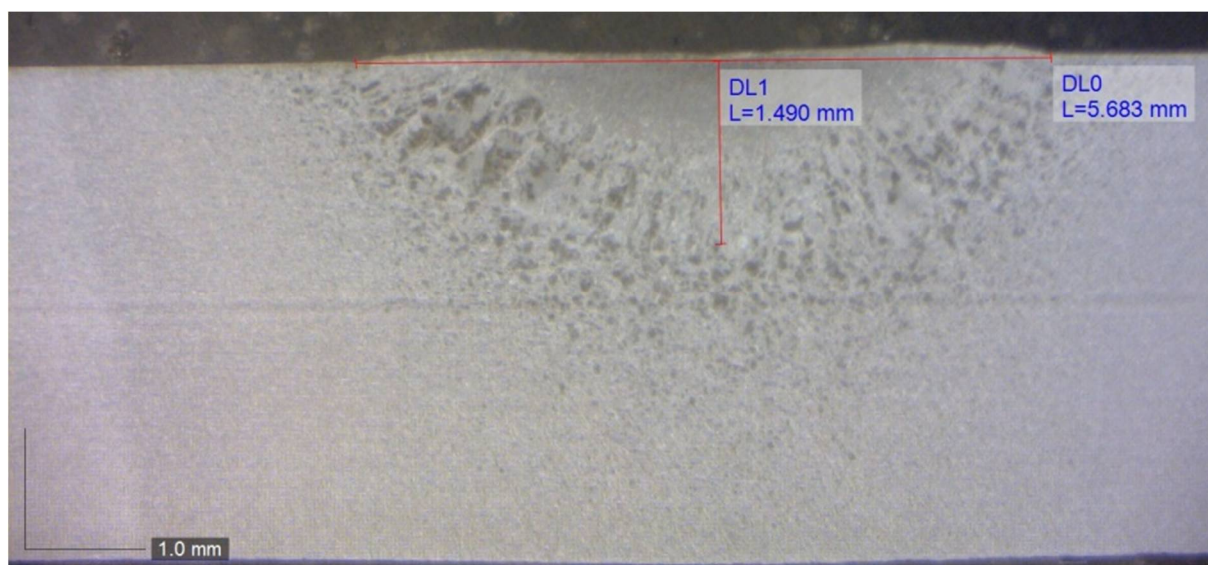
Obr. 36 x5CrNi1810 svar 4 [vl. tvorba]



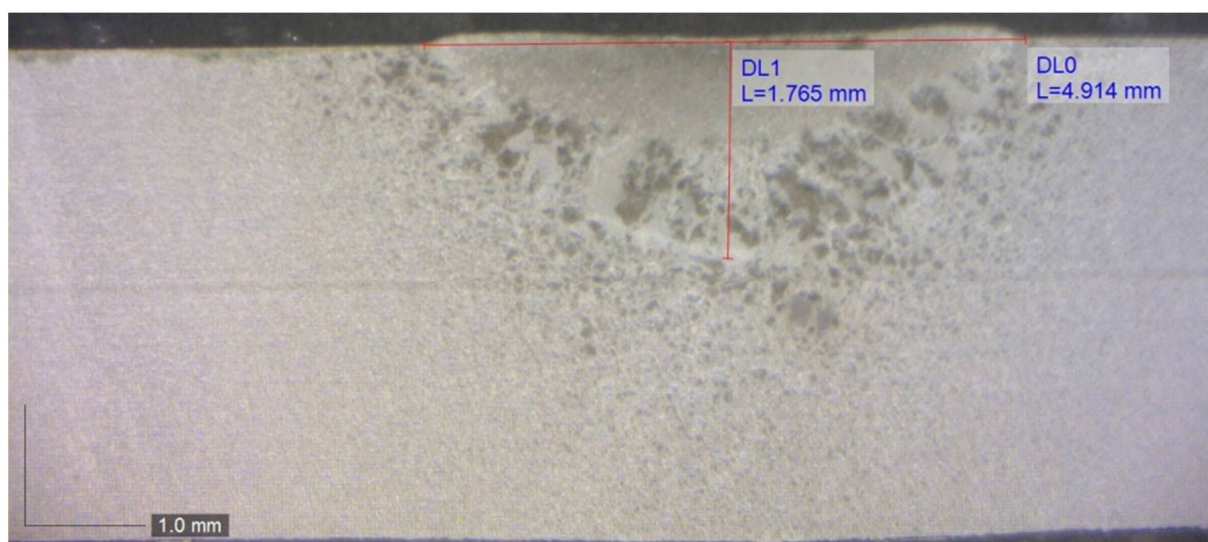
Obr. 37 x5CrNi1810 svar 5 [vl. tvorba]



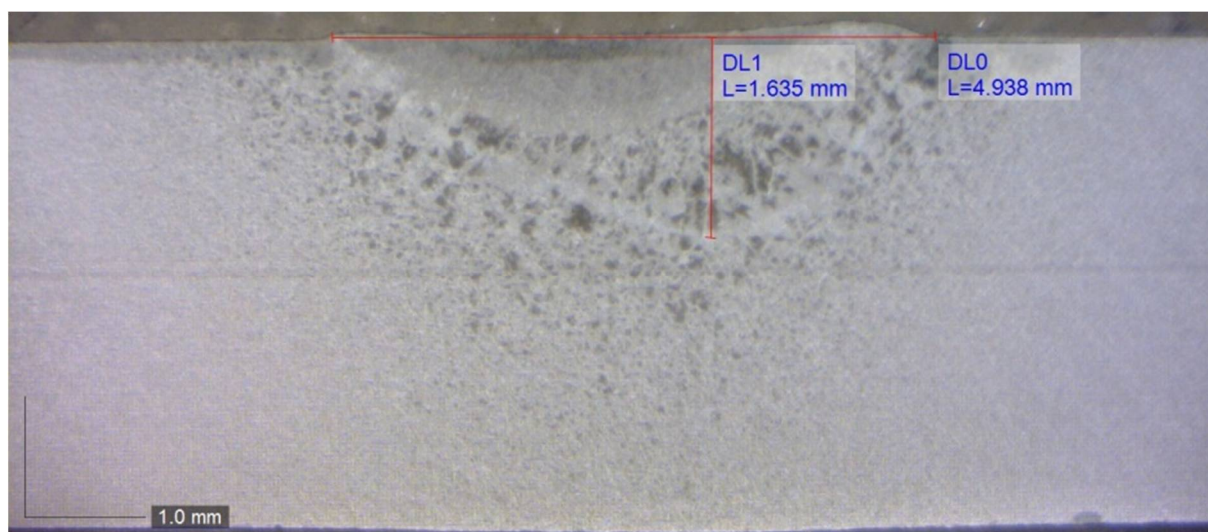
Obr. 38 x5CrNi1810 svar 6 [vl. tvorba]



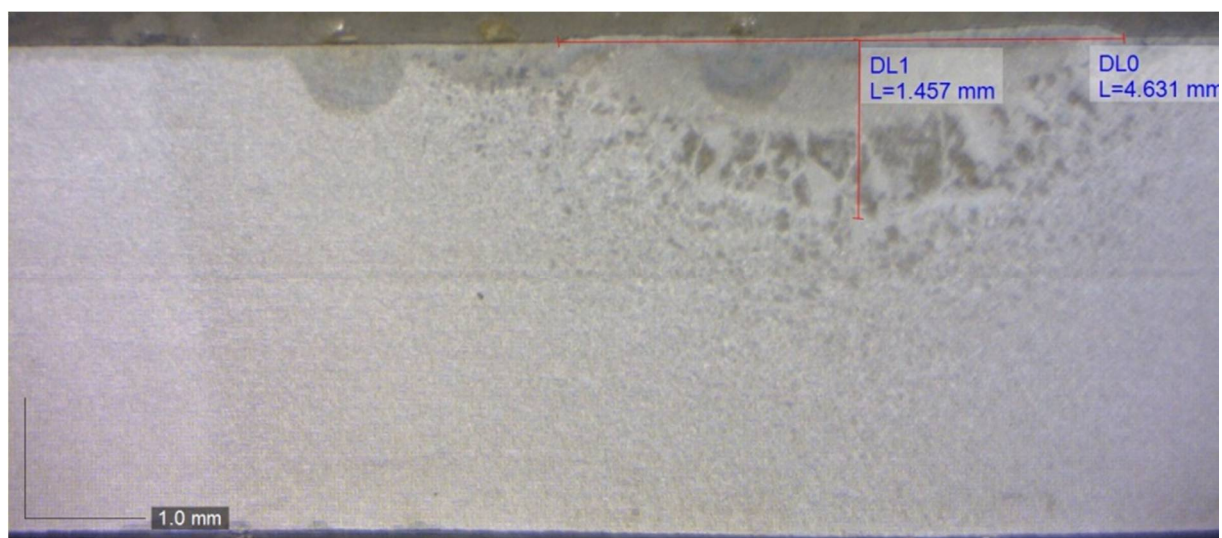
Obr. 39 S235JR svar 1 [vlastní tvorba]



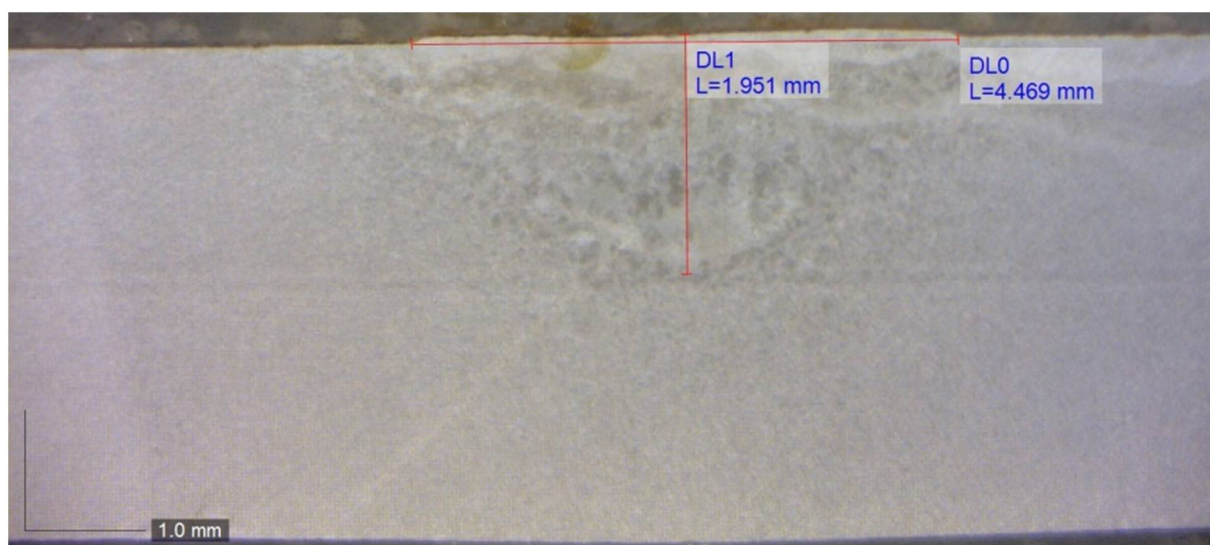
Obr. 40 S235JR svar 2 [vlastní tvorba]



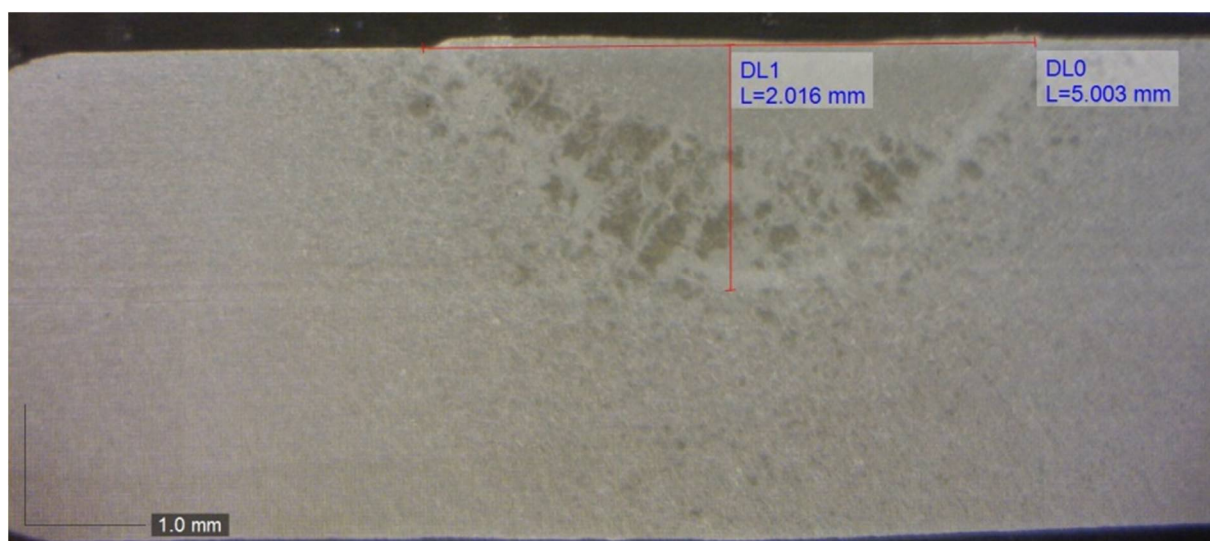
Obr. 41 S235JR svar 3 [vlastní tvorba]



Obr. 42 S235JR svar 4 [vlastní tvorba]



Obr. 43 S235JR svar 5 [vlastní tvorba]



Obr. 44 S235JR svar 6 [vlastní tvorba]

3.8 Vyhodnocení

Pro vyhodnocení je zkonstruována tabulka s výpisem hloubek a šířek pro každý úhel a oba materiály. Tyto hodnoty jsou v tabulce 13 a 14.

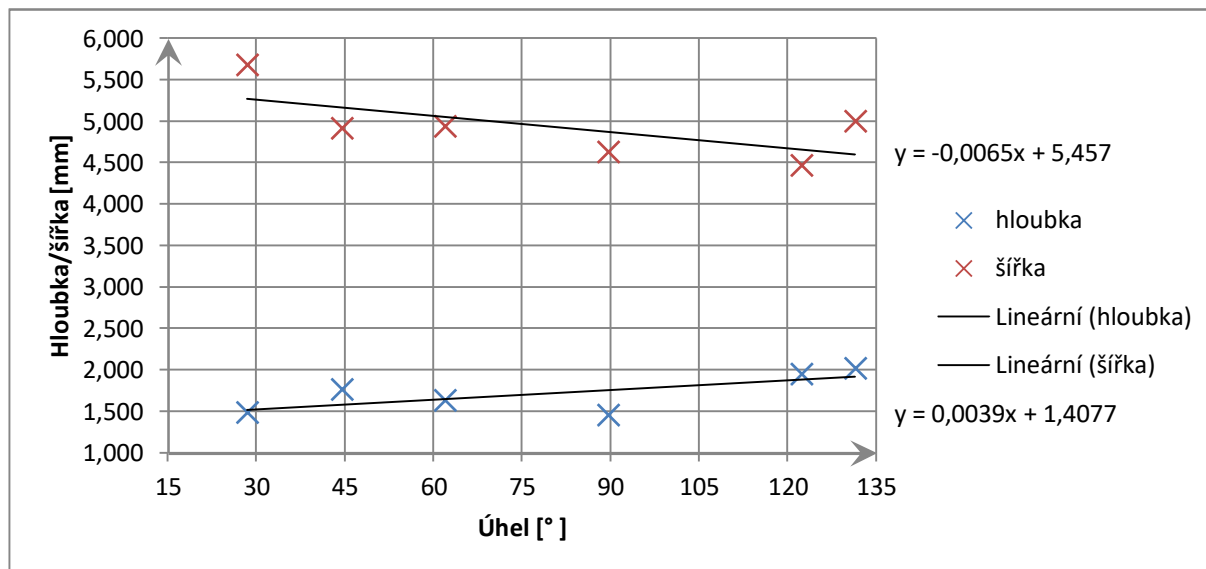
Tab. 13 Hodnoty pro ocel S235JR [vlastní tvorba]

Svar	Úhel [°]	Hloubka [mm]	Šířka [mm]
1	28,444	1,490	5,683
2	44,462	1,765	4,914
3	61,848	1,635	4,938
4	89,536	1,457	4,631
5	122,294	1,951	4,469
6	131,415	2,016	5,003

Tab. 14 Hodnoty pro ocel x5CrNi1810 [vlastní tvorba]

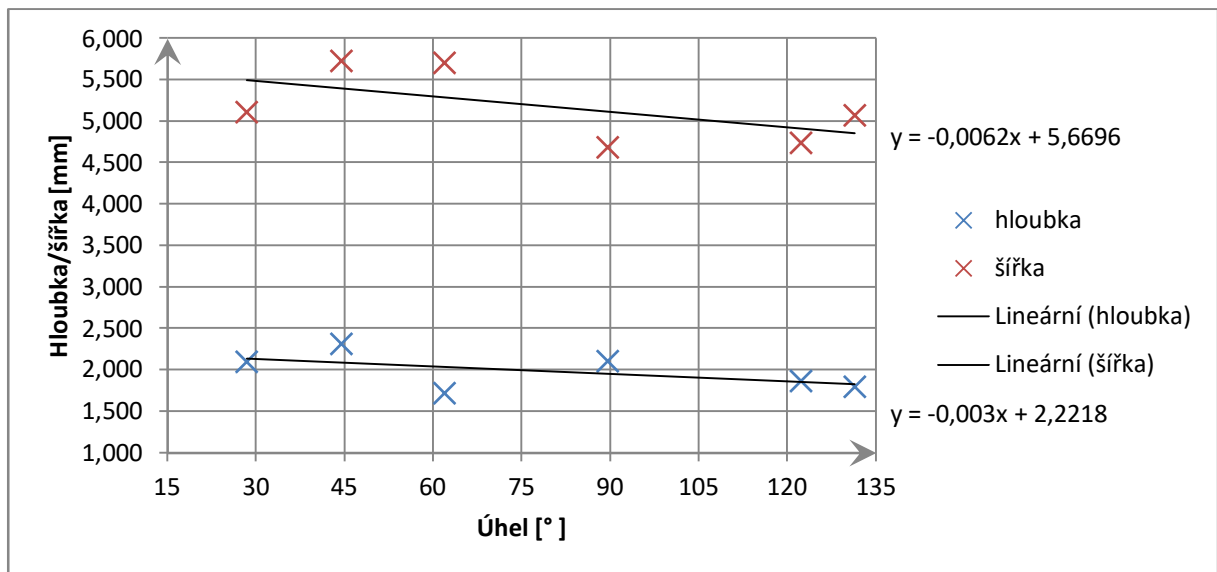
Svar	Úhel [°]	Hloubka [mm]	Šířka [mm]
1	28,444	2,099	5,112
2	44,462	2,313	5,731
3	61,848	1,717	5,708
4	89,536	2,105	4,685
5	122,294	1,868	4,742
6	131,415	1,793	5,072

Protože od pohledu není výsledek zřejmý, bude pro vyhodnocení použit graf, kterým bude pomocí lineární regrese proložena přímka. Pomocí přímky budeme moci lépe stanovit výsledky.



Graf 1 Hloubka a šířka svaru v závislosti na úhlu pro materiál S235JR

Tento graf potvrzuje názor, že s tupějším úhlem vybroušení elektrody se zmenšuje šířka svaru a zvětšuje se jeho hloubka.



Graf 2 Hloubka a šířka svaru v závislosti na úhlu pro materiál x5CrNi1810

Z druhého grafu nejsme schopni posoudit jak se svarová lázeň s rostoucím nebo klesajícím úhlem chová, protože obě přímky klesají. Z tohoto důvodu jsem ke každé přímce přidělil rovnici, na které je pomocí směrnice vidět jak moc přímka stoupá nebo klesá (tangens úhlu je roven směrnici přímky). I přes to, že obě přímky klesají, je přímka se směrnici $-0,003$ takřka rovnoběžná s osou x . Oproti tomu směrnice druhé přímky naznačuje mnohem větší pokles při zvětšujícím se úhlu elektrody. Z tohoto grafu výsledek není jednoznačný, ale převážně se přiklání k názoru, že se zvětšujícím se úhlem nabroušení elektrody hloubka roste a šířka se zmenšuje.

4 Závěr

Různé literatury uvažují dva protichůdné názory na to, jak úhel vybroušení elektrody ovlivňuje hloubku a šířku svarové lázně. V tomto výzkumu bylo základem rozhodnout, jak to doopravdy je. Bylo vybroušeno 6 různých úhlu elektrod, které se běžně pro svařování metodou TIG používají. Následně byly zvoleny dva druhy materiálů, na kterých experiment probíhal. Oba materiály jsou pro tuto metodu vhodné. Je důležité zachovat stejné podmínky pro svařování, aby byl výzkum platný. Z těchto důvodů byl pro všechny svary zachován stejný průtok plynu, vzdálenost elektrody od svařovaného materiálu, nastavený posuv elektrody a nastavený proud. Napětí je podle volt ampérové charakteristiky zdroje zjištěno přístrojem. Z těchto hodnot byl vypočítán efektivní tepelný příkon na jednotku délky. Tento příkon má veliký vliv na hloubku a šířku svarové lázně. Po samotném změření jednotlivých vzorků je u jednoho materiálu jednoznačné potvrzení jedné myšlenky literatur. Druhý materiál bohužel tak jednoznačně nevyšel, ale i přesto se přibližuje spíše stejnému výsledku jako materiál první. Nejednoznačnost ovlivňuje především rozdílná hodnota efektivního tepelného příkonu i přes to, že rozdíl těchto hodnot není nijak veliký. Zdroj literatur, který uvádí fakt, že čím je úhel elektrody ostřejší a tím je menší hloubka a větší šířka svarové lázně je pravdivý. Opačný názor je špatně.

Seznam zdrojů:

- [1] BALEJ, Zdeněk, Vladimír KUDĚLKA a Jan OPLETAL. *Učebnice pro základní kurz svařování ZK 141 8: obloukové svařování wolframovou elektrodou v inertním plynu vysokolegovaných austenitických ocelí : (TIG, WIG, GTAW)*. 3. aktualizované vydání. Ostrava: ZEROSS - svářečské nakladatelství, [2013]. Svařování. ISBN 978-80-85771-03-9.
- [2] Obr 1 - [Orbitální svařování hliníku]. In: gasworld.com [online]. 25. září 2017 [cit. 2019-04-08]. Dostupné z: <https://www.gasworld.com/searchresults?qkeyword=Linde+technology+increases+efficiency+of+aluminium+welding&cmd=ChangeSortOrder&SortOrder=2>
- [3] Obr. 3 - COLLIER, Jody. [Ukázka svaru zhotoveného metodou TIG]. In: weldingtipsandtricks.com [online]. [cit. 2019-04-08]. Dostupné z: <http://www.weldingtipsandtricks.com/tig-welding-cast-iron-409.html>
- [4] KUBÍČEK, Jaroslav. *Technologie svařování: Studijní opory pro výuku v kurzech 5TE, ETV, ETV-K, ÚST, Odbor svařování a PÚ*. 42 s. Dostupné z: http://ust.fme.vutbr.cz/svarovani/img/opory/technologie_svarovani_5te_etv_etv-k_kubicek.pdf
- [5] SIGMUND, Marián. *1 Princip vzniku svarového spoje, termíny a definice*. Brno, 2016, 15 s. Pdf dostupné pouze po absolvování kurzu ETV na VUT-FSI.
- [6] Obr. 4 - SIGMUND, Marián. [Rozdělení metod svařování]. In: *2 rozdělení metod svařování, normy, polohy svařování* [Pdf]. Brno, 2016, 2016 [cit. 2019-05-18]. Pdf dostupné pouze po absolvování kurzu ETV na VUT-FSI.
- [7] Obr. 5 - SIGMUND, Marián. *Struktura svarového spoje*. In: *1 Princip vzniku svarového spoje, termíny a definice* [Pdf]. Brno, 2016, 2016 [cit. 2019-05-18]. Pdf dostupné pouze po absolvování kurzu ETV na VUT-FSI.
- [8] Obr. 6 - SIGMUND, Marián. *Popis svarového spoje*. In: *1 Princip vzniku svarového spoje, termíny a definice* [Pdf]. Brno, 2016, 2016 [cit. 2019-05-18]. Pdf dostupné pouze po absolvování kurzu ETV na VUT-FSI.
- [9] Obr. 7 SIGMUND, Marián. *Struktura tavného svaru*. In: *1 Princip vzniku svarového spoje, termíny a definice* [Pdf]. Brno, 2016, 2016 [cit. 2019-05-18]. Pdf dostupné pouze po absolvování kurzu ETV na VUT-FSI.
- [10] ORSZÁGH, Viktor a Peter ORSZÁGH. *Zváranie TIG ocelí a neželezných kovov*. Bratislava: Polygrafia SAV, 1998, 300 s. ISBN 80-88780-21-7.
- [11] Obr. 8 SIGMUND, Marián. [Princip metody TIG]. In: *5 Svařování TIG - MIG - MAG* [Pdf]. Brno, 2016, 2016 [cit. 2019-05-18]. Pdf dostupné pouze po absolvování kurzu ETV na VUT-FSI.

[12] Obr 9 - Vliv polarity na tvar a rozměry svaru. In: BALEJ, Zdeněk, Vladimír KUDĚLKA a Jan OPLETAL. *Učebnice pro základní kurz svařování ZK 141 8: obloukové svařování wolframovou elektrodou v inertním plynu vysokolegovaných austenitických ocelí : (TIG, WIG, GTAW)*. 3. aktualizované vydání. Ostrava: ZEROSS - svářečské nakladatelství, [2013]. Svařování. ISBN 978-80-85771-03-9.

[13] AMBROŽ, Oldřich, Bohumil KANDUS a Jaroslav KUBÍČEK. *Technologie svařování a zařízení: učební texty pro kurzy svářečských inženýrů a technologů*. Ostrava: Zeross, 2001, 395 s. : il. ISBN 80-85771-81-0.

[14] Obr. 10 - Zařízení na svařování střídavým proudem. In: AMBROŽ, Oldřich, Bohumil KANDUS a Jaroslav KUBÍČEK. *Technologie svařování a zařízení: učební texty pro kurzy svářečských inženýrů a technologů*. Ostrava: Zeross, 2001, 395 s. : il. ISBN 80-85771-81-0.

[15] Obr. 11 - Základní sestava zařízení pro svařování WIG stejnosměrným proudem. In: AMBROŽ, Oldřich, Bohumil KANDUS a Jaroslav KUBÍČEK. *Technologie svařování a zařízení: učební texty pro kurzy svářečských inženýrů a technologů*. Ostrava: Zeross, 2001, 395 s. : il. ISBN 80-85771-81-0.

[16] Obr 12 - Popis vzduchem chlazeného hořáku. In: BALEJ, Zdeněk, Vladimír KUDĚLKA a Jan OPLETAL. *Učebnice pro základní kurz svařování ZK 141 8: obloukové svařování wolframovou elektrodou v inertním plynu vysokolegovaných austenitických ocelí : (TIG, WIG, GTAW)*. 3. aktualizované vydání. Ostrava: ZEROSS - svářečské nakladatelství, [2013]. Svařování. ISBN 978-80-85771-03-9.

[17] Tab. 1 - [Doporučené průměry plynových trysek]. In: BALEJ, Zdeněk, Vladimír KUDĚLKA a Jan OPLETAL. *Učebnice pro základní kurz svařování ZK 141 8: obloukové svařování wolframovou elektrodou v inertním plynu vysokolegovaných austenitických ocelí : (TIG, WIG, GTAW)*. 3. aktualizované vydání. Ostrava: ZEROSS - svářečské nakladatelství, [2013]. Svařování. ISBN 978-80-85771-03-9.

[18] Obr. 13 - [Plynové sítko]. In: AMBROŽ, Oldřich, Bohumil KANDUS a Jaroslav KUBÍČEK. *Technologie svařování a zařízení: učební texty pro kurzy svářečských inženýrů a technologů*. Ostrava: Zeross, 2001, 395 s. : il. ISBN 80-85771-81-0.

[19] Obr. 14 - [VA charakteristiky oblouku]. In: KUBÍČEK, Jaroslav. *Technologie svařování: Studijní opory pro výuku v kurzech 5TE, ETV, ETV-K, ÚST, Odbor svařování a PÚ*. 42 s. Dostupné z: http://ust.fme.vutbr.cz/svarovani/img/opory/technologie_svarovani_5te_etv_etv-k_kubicek.pdf

[20] Obr. 15 - [Druhy statických VA charakteristik zdrojů]. In: BALEJ, Zdeněk, Vladimír KUDĚLKA a Jan OPLETAL. *Učebnice pro základní kurz svařování ZK 141 8: obloukové svařování wolframovou elektrodou v inertním plynu vysokolegovaných austenitických ocelí : (TIG, WIG, GTAW)*. 3. aktualizované vydání. Ostrava: ZEROSS - svářečské nakladatelství, [2013]. Svařování. ISBN 978-80-85771-03-9.

- [21] WIRPO s.r.o.: wolframové elektrody. *Www.wirpo.cz* [online]. Brno, 1996 [cit. 2019-05-18]. Dostupné z: <https://www.wirpo.cz/pridavne-materialy/wolframove-elektrody>
- [22] Obr. 16 – [W-elektroda s oxidy thoria]. In: *Welding: Quality welding electrodes*. Reutte: PLANSEE
- [23] Obr. 17 – [W-elek. s oxidy lanthanu]. In: *Welding: Quality welding electrodes*. Reutte: PLANSEE
- [24] Tab. 2 - [Označení elektrod]. In: WIRPO s.r.o.: wolframové elektrody. *Www.wirpo.cz* [online]. Brno, 1996 [cit. 2019-05-18]. Dostupné z: <https://www.wirpo.cz/pridavne-materialy/wolframove-elektrody>
- [25] Tab. 3 - Výstupní práce elektronů základních oxidických příměsí a wolframu. In: AMBROŽ, Oldřich, Bohumil KANDUS a Jaroslav KUBÍČEK. *Technologie svařování a zařízení: učební texty pro kurzy svářečských inženýrů a technologů*. Ostrava: Zeross, 2001, 395 s. : il. ISBN 80-85771-81-0.
- [26] Příloha č. 1 - [Různé druhy elektrod při zatížení 80 A stejnosměrným proudem]. In: *Wolfram electroder*. [Fjerritslev]: Migatronic. s12
- [27] Příloha č. 2 - [Různé druhy elektrod při zatížení 100 A stejnosměrným proudem]. In: *Wolfram electroder*. [Fjerritslev]: Migatronic. s14
- [28] Tabulka 4 - [Volba vhodných elektrod podle druhu materiálu]. In: WIRPO s.r.o.: wolframové elektrody. *Www.wirpo.cz* [online]. Brno, 1996 [cit. 2019-05-18]. Dostupné z: <https://www.wirpo.cz/pridavne-materialy/wolframove-elektrody>
- [29] Tabulka 5 - [Doporučené proudové zatížení wolframových elektrod]. In: ORSZÁGH, Viktor a Peter ORSZÁGH. *Zváranie TIG ocelí a neželezných kovov*. Bratislava: Polygrafia SAV, 1998, 300 s. ISBN 80-88780-21-7.
- [30] Obr. 18 - [Ukázka broušení]. In: ORSZÁGH, Viktor a Peter ORSZÁGH. *Zváranie TIG ocelí a neželezných kovov*. Bratislava: Polygrafia SAV, 1998, 300 s. ISBN 80-88780-21-7.
- [31] Obr. 19 - [Vliv broušení na svařování]. In: ORSZÁGH, Viktor a Peter ORSZÁGH. *Zváranie TIG ocelí a neželezných kovov*. Bratislava: Polygrafia SAV, 1998, 300 s. ISBN 80-88780-21-7.
- [32] Obr. příloha 3 - [1]. In: OLSON D.L. a kolektiv autorů. *ASM Handbook. Welding, brazing, and soldering Volume 6*,: vyd. Materials Park, Ohio, 2011. ISBN-13978-1-61503-133-7.
- [33] Obr. příloha 3 - [2]. In: Goedkope mini hoek wolfram elektrode grinder. *Alibaba* [online]. 1999 [cit. 2019-05-18]. Dostupné z: <https://dutch.alibaba.com/product-detail/cheap-mini-angle-tungsten-electrode-grinder-60453887998.html>

- [34] Obr. příloha 3 - [3]. In: Wolframové elektrody pro TIG svařování. *Svarweb: portál vašeho svařování* [online]. phpRS, 2005 [cit. 2019-05-18]. Dostupné z: <https://www.svarbazar.cz/phprs/view.php?cislocclanku=2006111201>
- [35] Obr. příloha 3 – [4]. In: ORSZÁGH, Viktor a Peter ORSZÁGH. *Zváranie TIG ocelí a neželezných kovov*. Bratislava: Polygrafia SAV, 1998, 300 s. ISBN 80-88780-21-7.
- [36] Obr. příloha 3 - [5]. In: AMBROŽ, Oldřich, Bohumil KANDUS a Jaroslav KUBÍČEK. *Technologie svařování a zařízení: učební texty pro kurzy svářečských inženýrů a technologů*. Ostrava: Zeross, 2001, 395 s. : il. ISBN 80-85771-81-0.
- [37] Obr. 20 – [Závislost napětí na délce oblouku]. In: AMBROŽ, Oldřich, Bohumil KANDUS a Jaroslav KUBÍČEK. *Technologie svařování a zařízení: učební texty pro kurzy svářečských inženýrů a technologů*. Ostrava: Zeross, 2001, 395 s. : il. ISBN 80-85771-81-0.
- [38] FOLDYNA, Václav, Karel HENNHOFFER, Věra OLŠANOVÁ, Ivo HLAVATÝ, Jaroslav KOUKAL, František KRISTOFORY, Vladislav OCHODEK, Václav PILOUS, Jaroslav PURMENSKÝ, Drahomír, SCHWARZ a Július VESELKO. *Materiály a jejich svařitelnost*. 2 vyd. Ostrava: ZEROSS, 2001, 292 s. ISBN 80-857-7185-3.
- [39] DORAZIL, Eduard. *Nauka o materiálu III*. Vyd. 2., nezměn. Brno: Vysoké učení technické v Brně, 1975, 174 s.
- [40] Tab.6 - [Vlastnosti oceli S235JR]. In: Technická příručka: Přehled vlastností oceli S235JR. *Bohdan Bolzano* [online]. Kladno, 1995 [cit. 2019-05-18]. Dostupné z: <https://www.bolzano.cz/cz/technicka-podpora/technicka-prirucka/tycove-oceli-uhlikove-konstrukcni-a-legovane/nelegovane-konstrukcni-oceli-podle-en-10025/prehled-vlastnosti-oceli-s235jrdrive-s235jrg2>
- [41] Tab. 7 - [Vlastnosti oceli x5CrNi1810]. In: Technická příručka: Austenitická korozivzdorná ocel. *Bohdan Bolzano* [online]. Kladno, 1995 [cit. 2019-05-18]. Dostupné z: <https://www.bolzano.cz/cz/technicka-podpora/technicka-prirucka/vyrobky-z-korozivzdornych-a-zaruvzdornych-oceli/vyrobky-z-oceli-korozivzdornych/materialove-listy/x6crni18-10-austeniticke>
- [42] Obr. 22 - [Závislost tvrdosti na obsahu uhlíku]. In: FOLDYNA, Václav, Karel HENNHOFFER, Věra OLŠANOVÁ, Ivo HLAVATÝ, Jaroslav KOUKAL, František KRISTOFORY, Vladislav OCHODEK, Václav PILOUS, Jaroslav PURMENSKÝ, Drahomír, SCHWARZ a Július VESELKO. *Materiály a jejich svařitelnost*. 2 vyd. Ostrava: ZEROSS, 2001, 292 s. ISBN 80-857-7185-3.
- [43] Tab. 8 - Vliv chemických prvků na vlastnosti ocelí. In: BALEJ, Zdeněk, Vladimír KUDĚLKA a Jan OPLETAL. *Učebnice pro základní kurz svařování ZK 141 8: obloukové svařování wolframovou elektrodou v inertním plynu vysokolegovaných austenitických ocelí : (TIG, WIG, GTAW)*. 3. aktualizované vydání. Ostrava: ZEROSS - svářečské nakladatelství, [2013]. Svařování. ISBN 978-80-85771-03-9.

[44] Obr. 23 - Diagram anizotermického rozpadu austenitu. In: FOLDYNA, Václav, Karel HENNHOFFER, Věra OLŠANOVÁ, Ivo HLAVATÝ, Jaroslav KOUKAL, František KRISTOFORY, Vladislav OCHODEK, Václav PILOUS, Jaroslav PURMENSKÝ, Drahomír, SCHWARZ a Július VESELKO. Materiály a jejich svařitelnost. 2 vyd. Ostrava: ZEROSS, 2001, 292 s. ISBN 80-857-7185-3.

[45] Obr. 24 - [Diagram Fe-Cr]. In: FOLDYNA, Václav, Karel HENNHOFFER, Věra OLŠANOVÁ, Ivo HLAVATÝ, Jaroslav KOUKAL, František KRISTOFORY, Vladislav OCHODEK, Václav PILOUS, Jaroslav PURMENSKÝ, Drahomír, SCHWARZ a Július VESELKO. Materiály a jejich svařitelnost. 2 vyd. Ostrava: ZEROSS, 2001, 292 s. ISBN 80-857-7185-3.

[46] Obr. 25 - Schaefflerův diagram. In: FOLDYNA, Václav, Karel HENNHOFFER, Věra OLŠANOVÁ, Ivo HLAVATÝ, Jaroslav KOUKAL, František KRISTOFORY, Vladislav OCHODEK, Václav PILOUS, Jaroslav PURMENSKÝ, Drahomír, SCHWARZ a Július VESELKO. Materiály a jejich svařitelnost. 2 vyd. Ostrava: ZEROSS, 2001, 292 s. ISBN 80-857-7185-3.

[47] Tab. 11 - Hodnoty koeficientu η pro jednotlivé technologie. In: FOLDYNA, Václav, Karel HENNHOFFER, Věra OLŠANOVÁ, Ivo HLAVATÝ, Jaroslav KOUKAL, František KRISTOFORY, Vladislav OCHODEK, Václav PILOUS, Jaroslav PURMENSKÝ, Drahomír, SCHWARZ a Július VESELKO. Materiály a jejich svařitelnost. 2 vyd. Ostrava: ZEROSS, 2001, 292 s. ISBN 80-857-7185-3.

Seznam symbolů:

A	Tažnost	[%]
Al	Hliník	[-]
Ar	Argon	[-]
C	Uhlík	[-]
C _e	Uhlíkový ekvivalent	[hm. %]
CeO ₂	Oxid ceričitý	[-]
C _{eS235JR}	Uhlíkový ekvivalent pro ocel S235JR	[hm. %]
Co	Kobalt	[-]
Cr	Chrom	[-]
Cr _E	Chromový ekvivalent	[hm. %]
Cu	Měď	[-]
Fe-Fe ₃ C	Sloučenina železa a karbidu železa	[-]
H	Vodík	[-]
He	Helium	[-]
HRC	Tvrдость podle rockwella	[-]
HV	Tvrдость podle vickerse	[-]
I	Proud	[A]
KV	Vrubová houževnatost	[J]
La ₂ O ₃	Oxid lanthanitý	[-]
Mn	Mangan	[-]
Mo	Molibden	[-]
N	Dusík	[-]
Nb	Niob	[-]
Ni	Nikl	[-]
Ni _E	Niklový ekvivalent	[hm. %]
P	Fosfor	[-]
Q	Měrný tepelný příkon	[kJ·mm ⁻¹]
Q _e	Efektivně využitý měrný tepelný příkon	[kJ·mm ⁻¹]
R _{eH}	Horní mez kluzu	[MPa]
R _m	Mez pevnosti	[MPa]
S	Síra	[-]
Si	Křemík	[-]
T	Teplota	[°C]
t	Teplota	[°C]
Ta	Tantal	[-]
ThO ₂	Oxid thoričitý	[-]
U	Napětí	[V]
V	Vanad	[-]
v _s	Svařovací rychlost	[mm·s ⁻¹]
W	Wolfram	[-]
Y ₂ O ₃	Oxid yttritý	[-]
η_{TIG}	Účinnost pro metodu TIG	[-]
τ	Čas	[s]

Seznam zkratk:

A	Austenit
eV	Elektronvolt
F	Ferit
hm. %	Hmotnostních procent
M	Martenzit
MAG	Metal active gas
MIG	Metal inert gas
Obr	Obrázek
SK	Svarový kov, svarová lázeň
Tab	Tabulka
TIG	Tungsten inert gas
TOO	Tepelně ovlivněná oblast
VA	Volt-amperové
WC	Wolframová elektroda legovaná cerem
WIG	Wolfram inert gas
WL	Wolframová elektroda legovaná lanthanem
WP	Wolframová elektroda čistá
WT	Wolframová elektroda legovaná thoriem
WZ	Wolframová elektroda legovaná zirkonem
ZM	Základní materiál

Seznam obrázků:

Obr. 1 Orbitální svařování hliníku [2].....	9
Obr. 2 TIG svařování [vlastní tvorba].....	9
Obr. 3 Ukázka svaru zhotoveného metodou TIG [3].....	9
Obr. 4 Rozdělení metod svařování [6].....	10
Obr. 5 Struktura sv. spoje [7].....	10
Obr. 6 Popis svarového spoje [8].....	11
Obr. 7 Struktura tavného svaru [9].....	11
Obr. 8 Princip metody TIG [11].....	12
Obr. 9 Vliv polarity na tvar a rozměry svaru [12].....	12
Obr. 10 Zařízení na svařování střídavým proudem [14].....	13
Obr. 11 Základní sestava zařízení pro svařování WIG Stejnoseměrným proudem [15].....	13
Obr. 12 Popis vzduchem chlazeného hořáku [16].....	14
Obr. 13 Plynové sítko [18].....	14
Obr. 14 VA charakteristiky oblouku [19].....	15
Obr. 15 Druhy statických VA charakteristik zdrojů [20].....	15
Obr. 16 W-elektroda s oxidy thoria [22].....	16
Obr. 17 W-elek. s oxidy lanthanu [23].....	16
Obr. 18 Ukázka broušení [30].....	18
Obr. 19 Vliv broušení na svařování [31].....	19
Obr. 20 Závislost napětí na délce oblouku[37].....	19
Obr. 21 Svařovací zdroj [vlastní tvorba].....	23
Obr. 22 Závislost tvrdosti na obsahu uhlíku [42].....	24
Obr. 23 Diagram anizotermického rozpadu austenitu [44].....	26
Obr. 24 Diagram Fe-Cr [45].....	27
Obr. 25 Schaefflerův diagram [46].....	27
Obr. 26 Nabroušené w-elektrody 1 [vlastní tvorba].....	30
Obr. 27 Nabroušené w-elektrody 2 [vlastní tvorba].....	30
Obr. 28 Svary na S235JR [vl. tvorba].....	31
Obr. 29 Svary na x5CrNi1810 [vl. tvorba].....	31
Obr. 30 Vzorky x5CrNi1810 [vl. tvorba].....	33
Obr. 31 Vzorky S235JR [vl. tvorba].....	33
Obr. 32 Ukázka plochy pro broušení [vlastní tvorba].....	33
Obr. 33 x5CrNi1810 svar 1 [vl. tvorba].....	34
Obr. 34 x5CrNi1810 svar 2 [vl. tvorba].....	34
Obr. 35 x5CrNi1810 svar 3 [vl. tvorba].....	34
Obr. 36 x5CrNi1810 svar 4 [vl. tvorba].....	34
Obr. 37 x5CrNi1810 svar 5 [vl. tvorba].....	34
Obr. 38 x5CrNi1810 svar 6 [vl. tvorba].....	34
Obr. 39 S235JR svar 1 [vlastní tvorba].....	35
Obr. 40 S235JR svar 2 [vlastní tvorba].....	35
Obr. 41 S235JR svar 3 [vlastní tvorba].....	35
Obr. 42 S235JR svar 4 [vlastní tvorba].....	36
Obr. 43 S235JR svar 5 [vlastní tvorba].....	36
Obr. 44 S235JR svar 6 [vlastní tvorba].....	36

Seznam tabulek:

Tab. 1 Doporučené průměry plynových trysek [17]	14
Tab. 2 Označení elektrod [24].....	16
Tab. 3 Výstupní práce elektronů základních oxidických příměsí a wolframu [25].....	17
Tab. 4 Volba vhodných elektrod podle druhu materiálu [28].....	18
Tab. 5 Doporučené proudové zatížení wolframových elektrod [29].....	18
Tab. 6 Vlastnosti oceli S235JR [40].....	23
Tab. 7 Vlastnosti oceli x5CrNi1810 [41].....	23
Tab. 8 Vliv chemických prvků na vlastnosti ocelí [43].....	24
Tab. 9 Naměřené hodnoty pro materiál S235JR [vlastní tvorba].....	31
Tab. 10 Naměřené hodnoty pro materiál x5CrNi1810 [vlastní tvorba].....	31
Tab. 11 Hodnoty koeficientu η pro jednotlivé technologie [47].....	32
Tab. 12 Vypočítané hodnoty Q a Q_e [vlastní tvorba].....	32
Tab. 13 Hodnoty pro ocel S235JR [vlastní tvorba].....	37
Tab. 14 Hodnoty pro ocel x5CrNi1810 [vlastní tvorba].....	37

Seznam příloh:

Příloha č. 1 Různé druhy elektrod při zatížení 80 A stejnosměrným proudem.....	50
Příloha č. 2 Různé druhy elektrod při zatížení 100 A stejnosměrným proudem	51
Příloha č. 3 Dva rozdílné názory na vliv tvaru el. na svar. lázeň	52

Svejestrøm: DC÷ 80 A
Beskyttelsesgas: Ar/H₂ 97,3
Grundmat.: Rustfast stål AiSi 304
Belastning: 6 x 5 min. ved 80 A

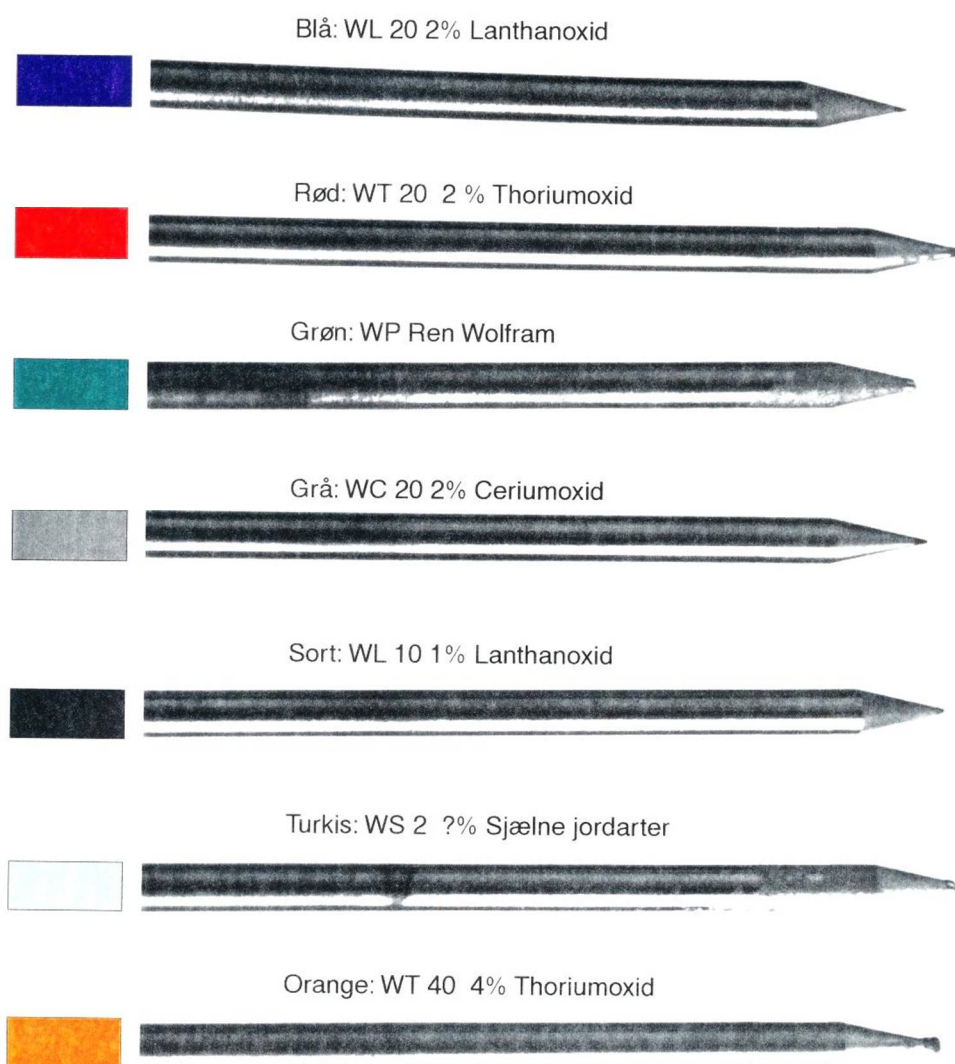


Illustration nr. 5

Svejestrøm: DC÷ 100 A
Beskyttelsesgas: Argon
Grundmat.: Rustfast stål AiSi 304
Belastning: 6 x 5 min. ved 80 A

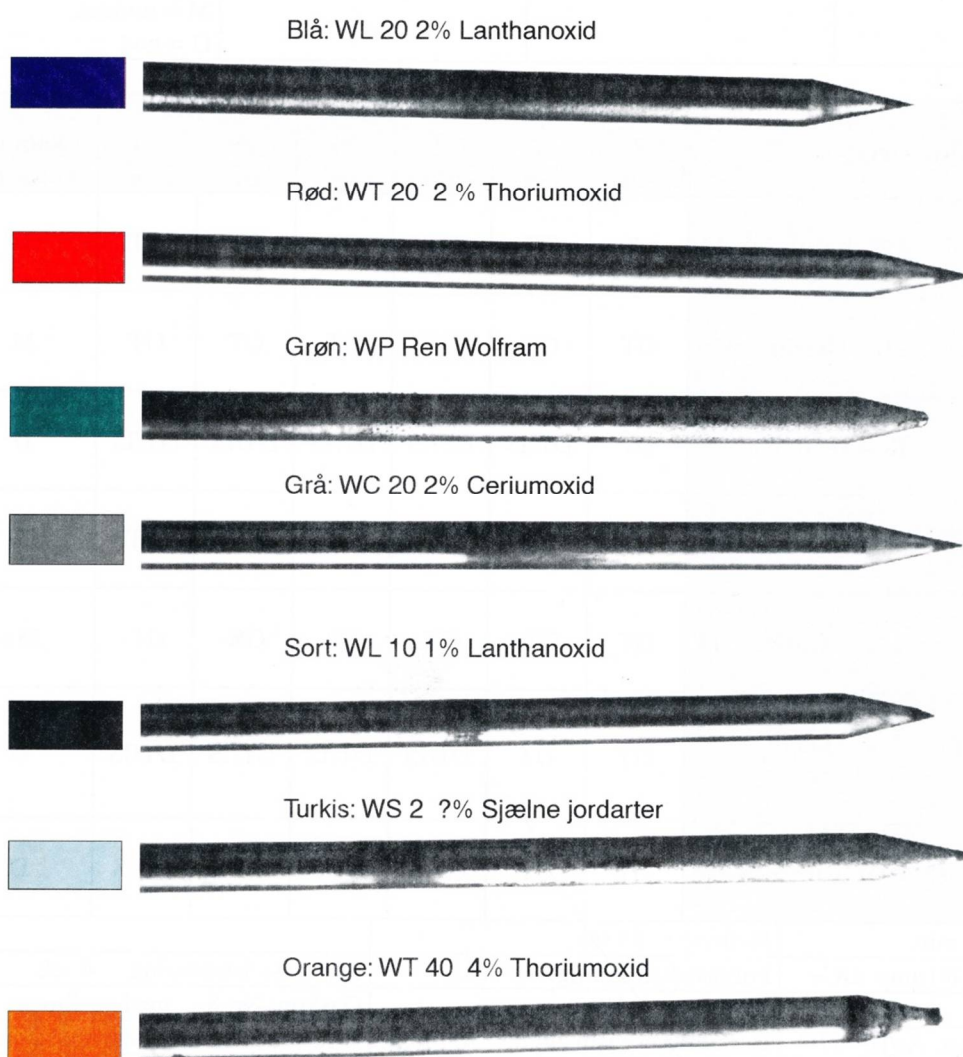
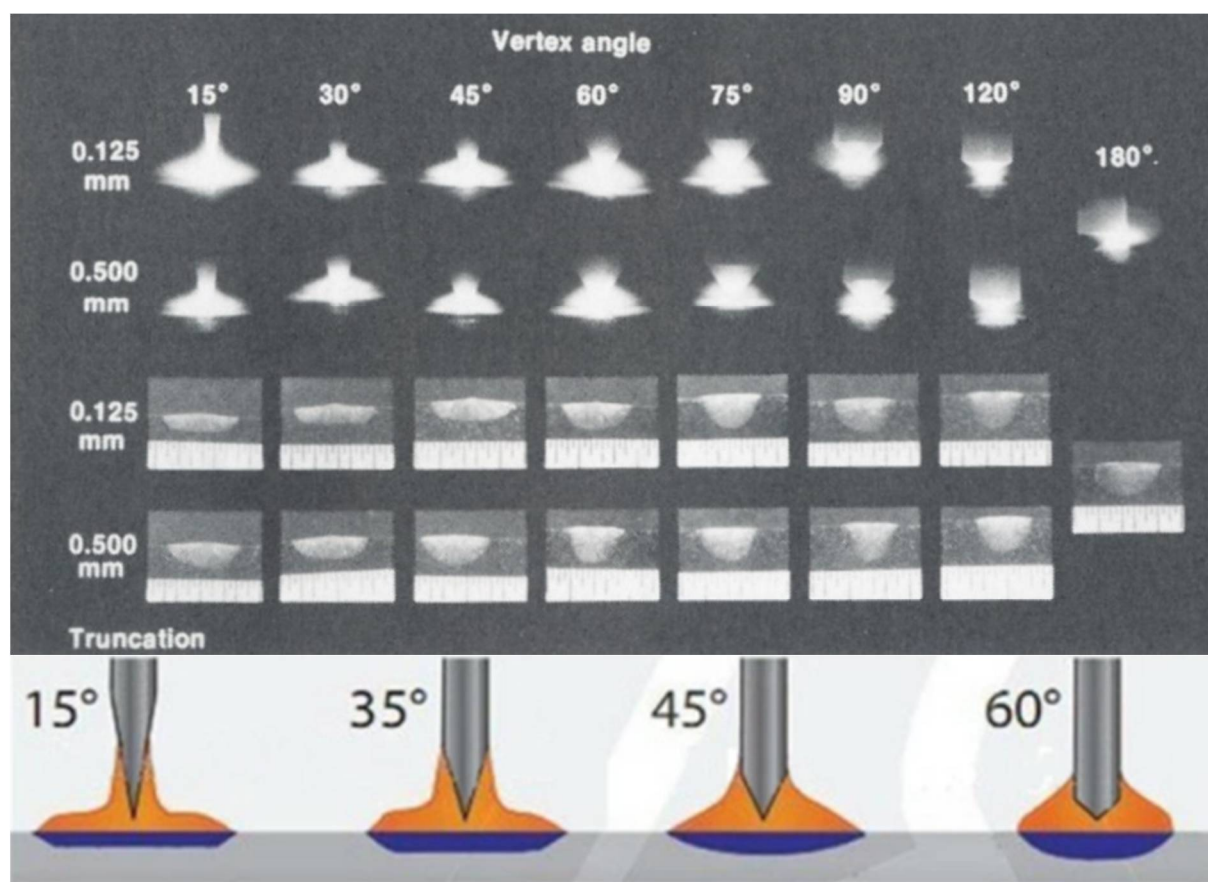


Illustration nr. 6

MIGATRONIC

Tvrzení A:



Tvrzení B:

