

Vysoká škola báňská – Technická univerzita

Ostrava Fakulta strojní

Katedra mechanické technologie (345)

**Optimalizace postupu plazmového svařování
austenitické oceli.**

**Optimization of Plasma Arc Welding
Stainless Steel**

Student: Michael Novotný

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Vladislav Ochodek

Studijní obor: Strojírenská technologie

Datum zadání bakalářské práce: 17.12. 2010

Termín odevzdání bakalářské práce: 23.05. 2011

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta strojní
Katedra mechanické technologie

Zadání bakalářské práce

Student: **Michael Novotný**
Studijní program: B2341 Strojírenství
Studijní obor: 2303R002 Strojírenská technologie
Specializace: 70 Strojírenská technologie
Téma: **Optimalizace postupu plazmového svařování austenitické oceli**
Optimization of Plasma Arc Welding Stainless Steel

Zásady pro vypracování:

1. Provedte studii technologie svařování plazmou austenitických ocelí.
2. Provedte hodnocení svažitelnosti austenitické oceli X5CrNi18-10 a rozbor příčin vzniku možných vad svarového spoje.
3. Navrhněte a realizujte program optimalizace plazmového svařování oceli X5CrNi18-10 tl. 0,6 mm.
4. Navrhněte kritéria a metody pro kvalitativní hodnocení svarových spojů a proveďte diskusi dosažených výsledků.

Seznam doporučené odborné literatury:


HRIVŇÁK, I. *Teoria zvariteľnosti kovov a zliatin*. Veda 1989.
ASM. Handbook vol. 6, *Welding, Brazing, Soldering*. ASM 2001.
KOU, S. *Welding Metallurgy*, John Wiley & Sons, 1987.


Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Vladislav Ochodek**

Datum zadání: 17.12.2010
Datum odevzdání: 23.05.2011




prof. Ing. Jiří Hrubý, CSc.
vedoucí katedry


prof. Ing. Radim Farana, CSc.
děkan fakulty

Prohlášení studenta:

Místopřísežně prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením mého vedoucího bakalářské práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě dne 23.5.2011



.....

podpis studenta

Prohlašuji, že

- jsem byl seznámen s tím, že na moji diplomovou (bakalářskou) práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě diplomovou (bakalářskou) práci užít (§ 35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že diplomová (bakalářská) práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB-TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího diplomové (bakalářské) práce. Souhlasím s tím, že údaje o kvalifikační práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – diplomovou (bakalářskou) práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- beru na vědomí, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě : 23.5.2011



.....
podpis

Jméno a příjmení autora práce: Michael Novotný

Adresa trvalého pobytu autora práce: Šumvald 311, 78385 Šumvald

Poděkování:

Rád bych poděkoval vedoucímu bakalářské práce Ing. Vladislavovi Ochodkovi a Ing. Vladimírovi Stehlíkovi za vstřícnost, ochotu a odborné vedení, které mi poskytli v průběhu zpracování mé práce.

Anotace

NOVOTNÝ MICHAEL: Optimalizace postupu plazmového svařování austenitické oceli.

Bakalářská práce. Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava,

Fakulta strojní, 2010, s. 50.

Vedoucí práce Ing. Vladislav Ochodek.

Klíčová slova: svařování plazmou, svařitelnost korozivzdorné austenitické oceli, vady ve svarových spojích, optimalizace svařovacích parametrů, zkoušky svarů,

ANOTACE BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

NOVOTNÝ, M. *Optimalizace postupu plazmového svařování astenické oceli: bakalářská práce*. Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra strojírenské technologie, 2011, 35 s. Vedoucí práce: Ing. Vladislav Ochodek.

Bakalářská práce se zabývá rozborem technologie výroby svařované součásti. V úvodu je práce zaměřena na technologii svařování plazmou, popisuje stávající zařízení a problematiku svařitelnosti austenitické oceli. Dále jsou popsány vzniklé vady při procesu svařování. Byla určena jejich příčina vzniku a následně byla stanovena nápravná opatření. Byly optimalizovány svařovací parametry pro nově dodaný materiál a provedeny zkoušky svaru. V práci jsou uvedeny technologické a materiálové kritéria a jejich limitní hodnoty. V případě jejich překročení může dojít k nárůstu zmetkovitosti. Výsledky jsou použitelné pro další zkoumání této problematiky.

ANNOTATION OF MASTER THESIS

NOVOTNÝ, M. *Optimization of Plasma Arc Welding Stainless Steel: Bachelor Thesis*. Ostrava: VŠB – Technical University of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Department of , 2011, 35 s. Thesis head: Ochodek, V.

This thesis deals with analysis of welded components of production technology. In introduction of work focused on plasma welding technology, describes current Equipment problems and weldability of austenitic steel. Furthermore, as described

defects arising during the welding process. Was determined by their causes and was subsequently determined corrective action. Were optimized welding parameters for the newly supplied material and weld test performed. The paper the technological and material criteria and limit values. In crossing them can increase scrap. The results are usable for further examination of this issue.

Obsah

1	Úvod.....	10
2	Studie technologie svařování plazmou	11
2.1	Obecná studie svařování plazmou.....	11
2.2	Popis stávajícího plazmového zařízení.	14
2.3	Popis stávající svařovací komory.....	20
3	Svařitelnost vysokolegovaných austenitických ocelí.....	22
3.1	Svařitelnost austenitických ocelí obecně	22
3.2	Svařitelnost oceli 1.4301	24
4	Rozbor vad plazmových spojů austenitické oceli.	27
4.1	Identifikace vad v plazmových svarových spojích.	28
5	Navržený program pro optimalizaci.....	30
5.1	Návrh experimentu.....	30
5.2	Výsledky experimentu.	30
5.3	Zhodnocení experimentu.....	42
6	Kritéria kvality svaru.....	43
6.1	Úprava střižných ploch.	43
6.2	Svařovací mezera.	45
6.3	Nastavení plazmového hořáku.	46
7	Diskuze dosažených výsledků.....	47
	Seznam použité literatury.....	49
	Seznam příloh.....	51

Seznam použitých symbolů a zkratk:

Označení	Legenda	Jednotky
I	Proud	[A]
I_s	Startovací proud	[A]
\emptyset	Průměr	[mm]
U	Napětí	[V]
t	Čas	[s]
tl.	Tloušťka	[mm]
v_s	Svařovací rychlost	[m/s]
Z	Hloubka vniknutí střížných hran	[mm]
ξ	Úhel roviny odtržení	[mm]
FN	Feritové číslo.	
GTAW-141	Gas tungsten arc welding – svařování v plynové atmosféře Wolframovou elektrodou.	
ΔH	Parametr praskavosti na vznik trhlin za horka.	
HF	Vysokofrekvenční zapalování.	
HV	Měření tvrdosti dle Vickerse.	
PAW-15	Plasma arc welding – plazmové svařování.	
TIG - 131	Tungsten inert gas – svařování v plynové atmosféře wolframovou elektrodou.	
TOO	Tepelně ovlivněná oblast.	
WIG-141	Wolfram inert gas – svařování v plynové atmosféře wolframovou elektrodou.	
2-2-1	Leptadlo 2-2-1 je složeno z 2mlHF, 2ml glycerinu 1ml HNO ₃ .	

1 Úvod

Správně vybrané a nainstalované parametry zařízení přispívají ke snížení zmetkovitosti obecně, zvýšení produktivity práce a zvýšení kvality výroby součástí. Důležité je také pravidelně informovat obsluhu daného zařízení a přinášet nově dosažené poznatky do výroby.

Použití vysokolegovaných ocelí má ve výrobě význam dobré svařitelnosti, korozivzdornosti, vysoké tažnosti (záloha plasticity). I přes vysokou kvalitu výroby a její 100% automatizované řízení zde dochází při procesu svařování k vadám. Téma je aktuální, jelikož chceme snížit variabilitu procesu a to v části přípravy vstupního materiálu a nastavení svařovacích parametrů.

V první, teoretické části je práce zaměřena na obecnou studii plazmového svařování s ohledem na stávající zařízení a na vlastnosti vstupního materiálu zejména na svařitelnost austenitické oceli. Na základě teoretických znalostí a praktických výsledků se zaměřuji na správnou volbu svařovacích parametrů a přípravu vstupního materiálu pro výrobu svařence. Vady jsou klasifikovány dle ČSN EN ISO 6520-1,2 a přiřazeny do skupin. U vad je určena jejich příčina vzniku a jsou stanoveny nápravná opatření.

Dalším předmětem této práce je optimalizace svařovacích parametrů s ohledem na aktuální problém. Při různých dodávkách materiálů vznikají nepřijatelné vady i za splnění všech vstupních parametrů. Z ekonomického hlediska chci snížit četnost nepřijatelných vad a navrhuji analyzovat stávající technologii svařování, udělat některé zkoušky a ověřit svařovací parametry.

Nově dodaný materiál stejného označení se nedal při předchozích svařovacích parametrech svařit. Proto se navrhlo postupně zvyšovat svařovací křivku po dobu, než byl svar dle normy přípustný. Svar ale dále neprošel dalším výrobním cyklem tváření, proto se navrhla udělat chemická analýza, tahová zkouška, metalografické rozbory svaru a mikrotvrdomost. Zkoušky jsou srovnány s materiálem, který výrobním cyklem prošel. Srovnání je provedeno pro ověření svařovacích podmínek a vlivu dodávaného materiálu.

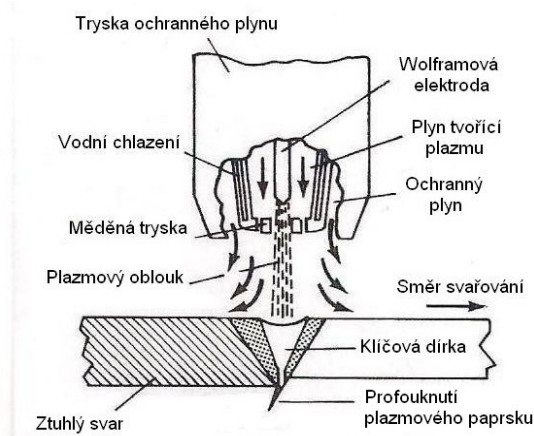
2 Studie technologie svařování plazmou

Ve fyzice a v chemii se plazma popisuje jako ionizovaný plyn složený z iontů, elektronů (také z neutrálních atomů a molekul), který vzniká odtržením elektronů z elektronového obalu atomů plynu, nebo roztržením molekul (ionizací). O plazmatu se hodně mluví jako o čtvrtém skupenství hmoty. [8] Využití tohoto zdroje energie při svařování má výhody vysoce koncentrovaného paprsku energie, vysoké rychlosti svařování, vysoké produktivity, min. teplem ovlivněné oblasti a také minimální deformace.

2.1 Obecná studie svařování plazmou

Plazmové svařování (dále PAW-15) lze definovat jako svařování plazmovým paprskem v ochranné atmosféře, kde proces tavení kovů je dosažen prostřednictvím tepla předávaného do oblouku, který je vytvořen mezi wolframovou elektrodou a obrobkem podobně jako u WIG svařování. Wolframová elektroda je uložena ve vodou chlazené měděné trysce, kterou protéká plazmový plyn a tím vzniká kontrakce elektrického oblouku. Plazmový oblouk je usměrněn v trysce, z důvodu dosažení energeticky silného proudu plazmy, který dosahuje teploty v rozpětí 10000 až 20000°C. Plazma je tvořena prostřednictvím ionizace části plazmy v trysce. Keramickou vložkou protéká ochranný plyn, který chrání taveninu před kontaminací plyny z okolní atmosféry zejména kyslíku a dusíku a zabraňuje oxidaci svaru.. Tento proces může být prováděn s nebo bez přídavku svařovacího drátu. [4,9]

Zásady provozu. Jakmile je zařízení nastaveno a svařovací sekvence je zahájena, plazma s ochranným plynem je zapnuta. Pilotní oblouk je stažen mezi wolframovou elektrodou a tryskou ze slitiny mědi v hořáku (režim bez převodu oblouku) obvykle aplikací vysokofrekvenčního napětí v otevřeném obvodu. Když je hořák přisunut do těsné blízkosti obrobku, oblouk je převeden od elektrody k obrobku přes otvor v trysce (režim s převodem oblouku), na místo kde se tvoří svarová lázeň.



Obr 2.1 Proces plazmového svařování zobrazuje sevření oblouku (fokusaci) v měděné trysece a průchod paprsku („klíčovou dírkou“) přes plech. [4]

Proces PAW lze použít ve dvou odlišných metodách.

Režim taveniny se odkazuje na tavné lázně podobné tomu, které obvykle tvoří v procesu plynu-wolframového obloukového svařování (GTAW), kde je roztavena část materiálu obrobku, který je pod obloukem.

Efekt klíčové dírky - nárůstem svařovacího proudu a průtokem plazmového plynu se vytváří velice výkonný plazmový paprsek. Takto se dá docílit úplného průvaru svaru. V průběhu svařování proniká postupně plazmový oblouk tloušťkou stěny materiálu, při posuvu svařovací hubice dojde ke slévání roztaveného kovu (dochází k tvorbě svaru) v místě za „klíčovou dírkou“ působením povrchového napětí.

Aktuální a provozní režimy. Proces PAW používá tři aktuální módy:

- mikroplazmové (režim taveniny) - od 0,1 do 15A,
- středněplazmové (režim taveniny) - od 15 do 100A,
- techniku tzv. klíčové dírky - vyšší než 100 A.

K dispozici je určitá míra překrývání těchto proudových rozsahů a jejich kategorizace je založena zejména na velikosti svařovacího proudu. Zásadou značné výstupní rychlosti plazmového paprsku a jeho divergenci je dosaženo dvojího účinku:

- vysoké koncentrace energie v blízkosti osy paprsku tak i charakteristického tvaru závaru,
- klidného a stabilního hoření poměrně dlouhého přeneseného oblouku, porovnáním s metodou WIG se může délka oblouku několikrát zvětšit a plazmový oblouk zasáhne i do míst, kde metoda WIG nedosáhne.

Čím je delší délka oblouku, tím je sledování svarové lázně lepší, což je podstatné pro ruční svařování.

Plyny pro svařování plazmou dělíme na plasmové a ochranné. Vnitřní proud plynu okolo wolframové elektrody je nazýván plasmovým (pilotním) plynem. Často se jedná o argon, který pomocí své nízké ionizační energie dosáhne vysokého ionizačního stupně. Při svařování CrNi ocelí nebo slitin na bázi niklu se používá směs argonu a vodíku. Vzhledem k vyšší tepelné entalpii vodíku, a při stejné délce oblouku vyšší energie lze zvýšit rychlost svařování v porovnání s použitím čistého argonu. Vodík tak přispívá k ještě lepší tepelné vodivosti. Podobného efektu dosáhneme při svařování titanu nebo zirkonu, a to přimísením helia do plasmového plynu.

Vlastnosti základního materiálu nesmí negativně ovlivňovat ochranný plyn. Výběr ochranného plynu se stanovuje v první řadě podle základního materiálu. S ohledem na wolframovou elektrodu se jako ochranný plyn používá varigon H. Tento plyn je optimalizován k použití pro vysokolegované oceli.

Zpravidla směs argon/vodík je používána jako svařovací plyn jak u nelegovaných, tak i u nízkolegovaných ocelí a také i pro austenitické oceli a slitiny na bázi niklu. Pro svařování nelegovaných a nízkolegovaných ocelí lze použít i směs argon-CO₂ nebo argon-O₂. Pro svařování hliníku je vhodné použít směs argon-helium.

Fokusační plyny pak můžou obsahovat příměsi, jako např. argon/helium nebo argon/vodík. Tato směs je vedena separátním okruhem ochranného plynu mezi plasmovým a ochranným plynem.

Množství plasmového (pilotního) plynu je pro mikroplazmové svařování 0,2 až 1 l/min. Pro svařování tenkých plechů podle velikosti proudu 1 až 6 l/min. Množství ochranného plynu je mezi 5 až 10 l/min popř. 15 až 25 l/min. Pro svařování korozivzdorných ocelí se používá argon s 2 až 7% vodíku.

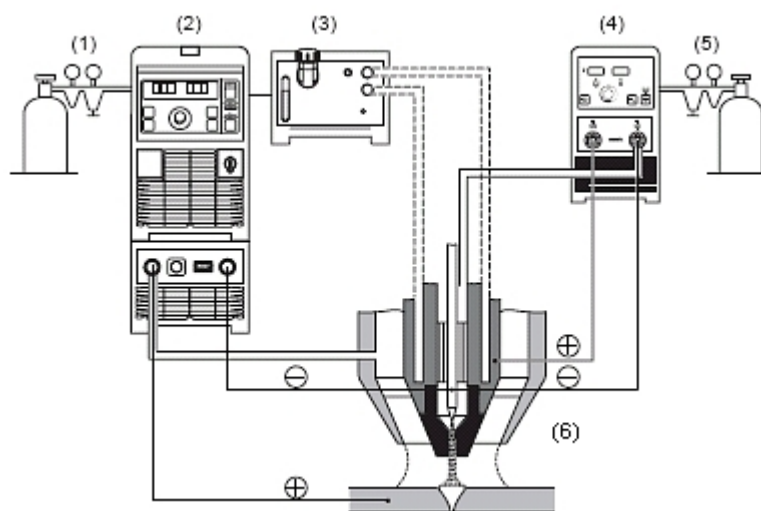
Typy materiálů. Proces PAW se běžně používá ke svařování nerezových ocelí v širokém rozmezí tloušťek. Tento proces může být také použit na uhlík a legované oceli, hliníkové slitiny, slitiny titanu, mědi a slitin niklu a dalších speciálních materiálů, jako je zirkon a tantal. Tloušťky, které lze svařovat mikroplazmou na jeden průchod v rozmezí od 0.025 mm do 12,5 mm. [4]

2.2 Popis stávajícího plazmového zařízení.

Provozy, které svařují korozivzdorné oceli mají povinnost, aby byly odděleny od jiných provozů a aby byla vyloučena přítomnost veškerých možných znečišťujících materiálů, jako je olovo, zinek, měď, hliník, slitiny mědi nebo uhlíkové oceli.[2]

Základní PAW systém se skládá ze zdroje, z plazmové ovládací konzoly, z vodního chladiče, ze svařovacího hořáku a plynového systému pro plazmu a ochranný plyn (obr.2.2). Zdroj energie je doplněn sekvenčním regulátorem a ovládací konzolou. Sekvenční regulátor slouží pro načasování toku plynu, pro zahájení oblouku, řídí hlavní svařovací proud a také sklony svařovací křivky. V jeho podstatě ovládací konzola řídí tok plynu pro plazmu a ochranný plyn ze samostatného měřiče průtoku a umožňuje vysokofrekvenční zahájení pilotního oblouku v obvodu. Hořák je mechanizovaný a je chlazený vodou, aby se zabránilo přehřátí hořáku a tak je zaručena maximalizace životnosti komponentů.

Ve většině PAW zařízení jsou plazmy a ochranné plyny dodávány z odloučených plynových lahví. Dodávky plynu jsou směřovány přes plazmovou ovládací konzolu, kde jsou jednotlivé průtoky stanovené provozovatelem pomocí systému řízení Siemens. [4]



Obr. 2.2 Schéma zapojení. [12]

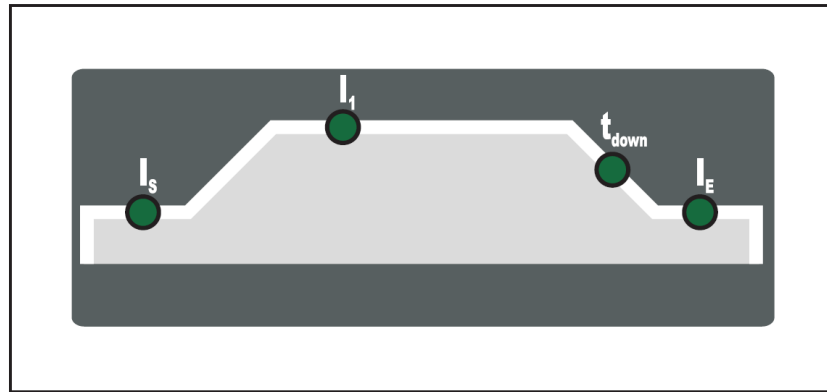
1. Redukční ventil ochranného plynu varigon 6.

2. **Trans Tig 2600** patří do plně digitalizované, mikroprocesorem řízené řady invertorových svařovacích zdrojů. Tento zdroj je propojen s centrální řídicí a regulační jednotkou a s digitálním signálním procesorem. Centrální řídicí a regulační jednotka a

signální procesor řídí kompletní svařovací proces. Aktuální parametry se průběžně měří a na kterékoli změny přístroj okamžitě reaguje. Řídící algoritmy zabezpečují udržení požadovaných hodnot. Výsledkem je přesný svařovací proces, precizní reprodukovatelnost všech výsledků a výborné svařovací vlastnosti.

Osobitým znakem ovládacího panelu je logické rozmístění ovládacích prvků, které jsou znázorněny v příloze D a jsou popsány následovně:

1. Levý digitální displej. Během svařování je zde vyznačena velikost svařovacího proudu.
2. Kontrolka hold - po ukončení každého svaru se uloží do paměti aktuální hodnoty svařovacího proudu a napětí a rozsvítí se kontrolka HOLD. Tato kontrolka se vztahuje na poslední dosažený hlavní proud I_1 . Jsou-li zvoleny jiné parametry, kontrolka HOLD zhasne. Hodnoty Hold jsou přesto při opětovné volbě parametru I_1 nadále k dispozici.
3. Pravý digitální displej. Během svařování je zde vyznačena velikost svařovacího proudu.
4. Displej svařovacího napětí svítí v případě zvoleného parametru I_1 .
5. Kontrolky jednotek
6. Tlačítko provozního režimu slouží k nastavení na 2-takt, 4-takt nebo na režim obalované elektrody.
7. Pravé tlačítko volby parametru je určeno pro volbu svařovacích parametrů.
8. Tlačítko zkoušky plynu slouží pro nastavení požadovaného množství plynu na redukčním ventilu. Po stisknutí tohoto tlačítka se otevře na dobu 30s průtok plynu. Opakovaným stisknutím tlačítka lze průtok plynu předčasně uzavřít.
9. Přehled svařovacích parametrů obsahuje nejdůležitější svařovací parametry pro svařovací provoz. Pořadí svařovacích parametrů je řazeno v rámci struktury podnabídek. Navigace v přehledu svařovacích parametrů se provádí pravým a levým tlačítkem volby parametru. I_s – startovací proud, I_1 – hlavní proud, t_{down} - doba, během které dojde při svařování ke snížení z hlavního proudu I_1 na zadaný závěrný proud I_E .



Obr. 2.3 Průběh svařovací křivky v závislosti na pozici hořáku.[11]

10. Zadávací kolečko slouží pro změnu parametrů. Svítí-li na zadávacím kolečku kontrolka, lze měnit navolený parametr.

11. Kontrolka svařovacího proudu před počátkem svařování zobrazuje levý displej požadovanou hodnotu. Pravý digitální displej navíc hodnotu proudu v % ze svařovacího proudu I_1 . Po začátku svařování se automaticky navolí parametr I_1 .

12. Levé tlačítko volby parametru

13. Kontrolka zapalování HF (vysokofrekvenční zapalování) svítí v případě, že parametr Setup „HFt“ je nastaven na interval pro vysokofrekvenční impulzy.

14. Kontrolka přehřátí se rozsvítí v případě silného zahřátí zdroje (např. kvůli překročené době zapnutí).

15. Hlavní vypínač. [11]

3. Chladicí jednotka.

4. Plazma Modul 10 digitálně ovládá plazmový plyn a slouží jako doplněk pro všechny TIG zdroje. Ve spojení s odpovídajícím zdrojem energie, také s chladicím zařízením a vodou chlazeným plazmovým hořákem je možné začít svařovat. Vzhledem k jeho modulární koncepci mohou být tímto modulem doplněna i stávající zařízení. Mezi hlavní funkce patří nastavení množství průtoku plazmového plynu a také možnost nastavení pilotního oblouku [12]. Zdroj i plazmamodul jsou od firmy FRONIUS.

5.Redukční ventil plazmového plynu argon + 4% vodíku.

6.Plazmový hořák PlaTo 100. Při vývoji těchto plazmových svařovacích hořáků, byly dosaženy následující cíle:

- značné zlepšení hospodárnosti provozu svařování,

- vhodnou přístupnost hořáku u různých obrobků,
- nejvyšší možnou hustotu výkonu pro minus a plus pólové svařování,
- použitelnost v oblasti ručního, strojního a robotového svařování s přívodem studeného drátu a bez přívodu studeného drátu.

Pro všechny hořáky Plato 100 platí, že mají plasmové svařovací trysky bez závitů, které jsou vytvořené jako dvojité kužely. Velkoplošný kónus zasahující do hořáku zároveň vede procesní teplo na vnitřní chladicí systém a to přes jiný kužel, který je obrácený ke špičce trysky. Přes jiný kužel se odvádí teplo na přímo přiléhající masivní a tepelně vodivou plynovou čočku. Většina tohoto tepla se převede z ochranného plynu, který proudí plynovou čočkou a je vypuštěn z hořáku. Zbylé teplo se přivádí také přes tepelně vodivou trysku ochranného plynu do vnitřního chladicího systému hořáku.

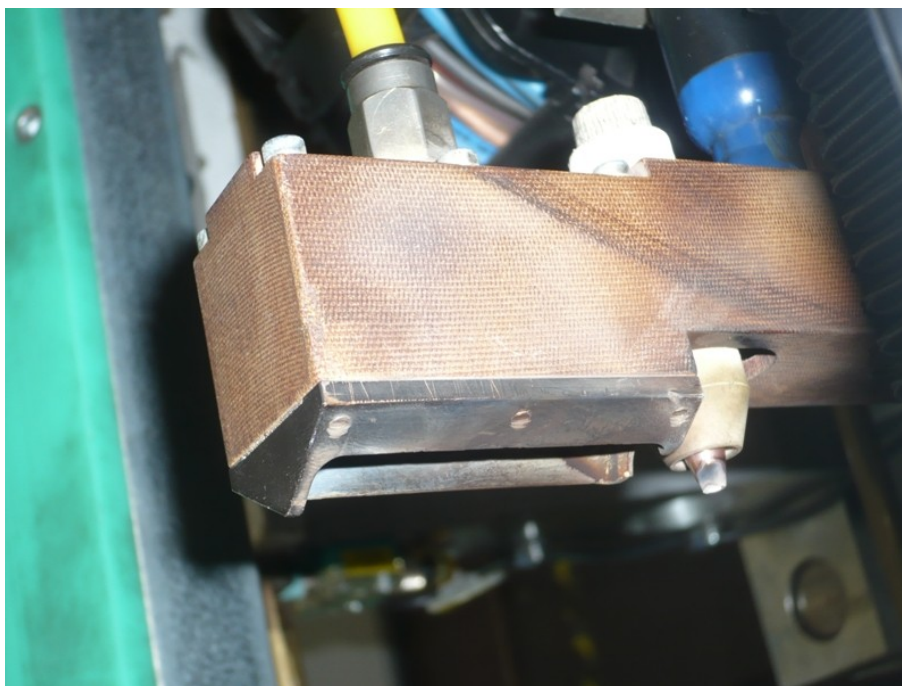
Kuželové plochy, které odvádí teplo slouží také jako upínací plochy a středící usazení pro uchycení plasmatických trysek hořáku, kde přebírá tryska ochranného plynu se složenou plynovou čočkou mechanicky úlohu převlečené, resp. plní roli upínací matice. Kromě standardních a dlouhých plasmových trysek jsou ještě k dispozici úhlové trysky vhodné ke svařování na špatně přístupných místech. Trysky jsou upevněny bez závitů, a tím mohou být použity úhlové trysky v kterékoliv libovolné pozici hořáku. Změny postavení hořáku po výměně trysek, stejně jako u úhlových trysek s upínacím závitem, nejsou u hořáku PlaTo 100 potřebné.

Plynovou čočku lze vyměnit při jejím znečištění, resp. přizpůsobit dle svařovací úlohy na její poréznost. Její umístění v hořáku, které je ve spojení s příslušnými tryskami ochranného plynu dává možnost pokrytí ochranným plynem u taveniny už při velice malém množství plynu. Elektroda je držena tažnou kleštinou, která je vybavena zvláště silným kuželem, který je umístěn v pouzdře kleštin. Toto pouzdro se rozepré při utažení kleštiny elektrody a zároveň se přiměřeně utáhne s dílem katody hořáku. V tomto stádiu dosáhne kleština v pouzdře kleštin samosvornosti. Pouzdro je otáčivé díky velkoplošnému upnutí hořáku a tím je nastavitelné přes svůj závit v podélném směru. Nastavení umístění špičky elektrody tak může být kdykoliv optimalizována bez problému.

Tento upínací systém je schopen umožnit přes velké dosedací plochy optimum proudového přechodu a chlazení elektrod. Pomocí kleštin daleko zasahujících do hořáku umožňuje upínací systém také dlouhou životnost elektrod. Charakteristickým znakem

uvedeného upínacího systému elektrod je, že špička elektrody je při sevření trochu zatažena do hořáku, a tím se před použitím nepoškodí dorazem nastavovací šablony, zašroubované běžně do hořáku. Diference od požadovaných pozic elektrod se nastavuje na optimální hodnotu po sevření pomocí otáčení pouzdra kleští. Speciálně pro mechanizované svařování, kde není umístění špičky elektrody často opticky rozpoznatelné, proto byl zkonstruován akustický přístroj pro hořák strojního svařování PlaTo 10-M a PlaTo-G, který umožňuje nastavování elektrod. Správná pozice elektrody v trysce má vliv na vlastnosti paprsku plazmatu. Pomocí tohoto přístroje je možné nastavit pozici elektrod i za špatné přístupnosti absolutně reprodukovatelně.

Častým problémem u plasmového svařování bývá start s poruchami a následná delší fáze stabilizace pilotního světelného oblouku a to na základě vlhkosti vzduchu pronikající otvorem hořáku do balíku hadic. Vlhkost vzduchu se snižuje pomalu proudícím plazmovým plynem. Několikadenní provozní přestávky za nepříznivých klimatických podmínek mohou být zdohány bez poruch použitím vlastní uzavírací krytky hořáku, která je vyvinuta k tomuto účelu.



Obr.2.4 Plynová vlečka s plasmovým hořákem. [16]

Dodatečně zavedená plynová vlečka viz. obr. 2.4 chrání horkou taveninu (300°C) před kyslíkovou atmosférou. Tato vlečka nemá žádný vliv na kvalitu sváru, avšak zabraňuje pozdějšímu zabarvení svaru.

Plynová vlečka s plazmovým hořákem je poháněna pomocí svařovací hřídele, která zaručuje konstantní svařovací rychlost. Svařovací hřídel je nastavena k vnitřnímu rameni s paralelní tolerancí $\pm 0,15\text{mm}$. Pozice posuvu hořáku je kontrolována senzorem.

Svařovací provoz. Před prvním zapálením hořáku je vhodné nechat pilotní plyn proudit několik málo minut hořákem k tomu, aby se v hadici plynu eliminovala právě existující vlhkost vzduchu vedoucí k znečištění trysky a elektrody. Abychom po ukončení svařovacích prací zabránili dalšímu proniknutí vlhkosti do hadic, musí být otvor hořáku vždy uzavřen uzavírací krytkou hořáku, zvláště před delším přerušením práce.

Při výběru průměru elektrody (1,5 nebo 2, mm) se musí brát zřetel na to, že průměry elektrod a trysek není možné libovolně kombinovat. Elektrody s průměrem 1,5mm je možné kombinovat jak se standardními a dlouhými plazmovými tryskami. Použití elektrod 2,4 mm je vhodné až při vyšších svařovacích proudech a vede v kombinaci s malými plazmovými tryskami ke zkratu v trysce.

Po zažehnutí pilotního oblouku lze začít se svařováním až po krátké fázi stabilizace. Nepřesně středěný výstup pilotního paprsku z trysky nemá význam, protože v této chvíli hoří světelný oblouk mezi špičkou elektrody a bodem, který leží mimo střed u vnitřní hrany trysek.

Při odzkoušení nového svařovacího postupu je vhodné zjistit pro daný případ použití optimální pozici elektrody v hořáku. Po přeskočení plazmového paprsku na obrobek, může být nalezena nejvhodnější pozice elektrody a to pomocí otáčení nastavovacího kroužku u kleštinového pouzdra. Tímto způsobem se dá elektroda v hořáku zašroubovat nebo vyšroubovat, jakmile je plazmový paprsek v klidu a stabilně hoří v žádaném tvaru. Tuto pozici je možné přenést pomocí nastavitelné šablony elektrod. Šablonu lze opět použít pro stejné úkoly.

K dosažení dlouhé životnosti trysek, je dobré nezatěžovat trysky nad jejich doporučenou hodnotu, tj. maximální proud zatížitelnosti. V případě pochybnosti zvolíme následující velikost trysky. Životnost trysek je silně ovlivněna používaným množstvím

plasmového plynu. Pro stanovenou velikost trysek platí obecně: *„čím menší je množství plasmového plynu, tím je kratší životnost.“* Změna hodnoty množství plasmového plynu nad uvedené meze viz. příloha F zapříčiňuje změnu vlastnosti plasmového paprsku a to:

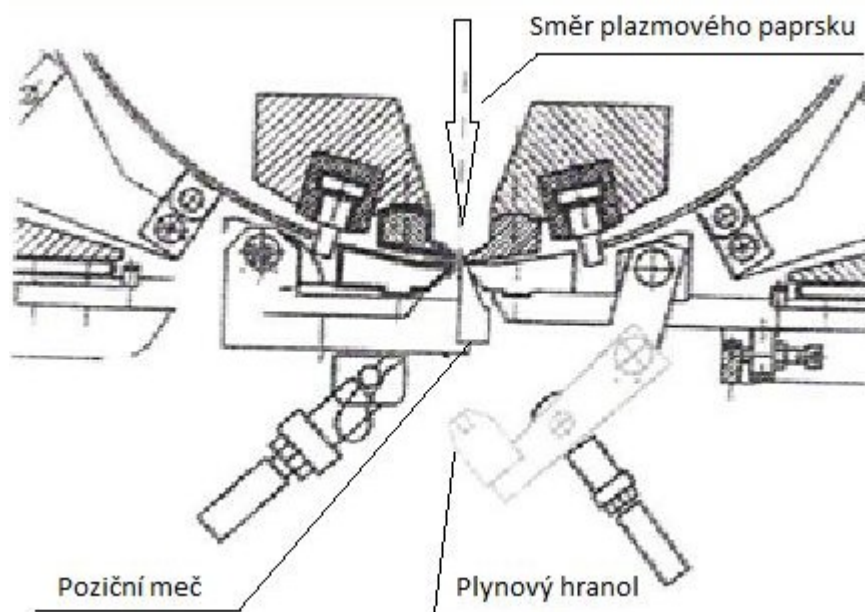
- nízký obsah plasmového plynu značí „měkký“ plasmový paprsek,
- vysoké množství plasmového plynu značí „tvrdý“ plasmový paprsek a to zaručuje velkou hloubku průniku. [13]

Podrobnosti svařování jsou popsány v příslušné specifikaci postupu svařování (WPS) v souladu s EN 288-2 viz příloha C. V příloze G jsou uvedeny obecné konfigurace svarových spojů pro svařování plazmou.

2.3 Popis stávající svařovací komory.

Zařízení bylo konstruováno a postaveno pro účely:

- skládání plechů, jejich dělení a přepravě ke svařovacímu přístroji,
- zakružování plechu a přeprava uvnitř svařovací zóny,
- svařování trubních hran zakružených plechů jako styk na tupo
- zařízení je dimenzováno pro materiál 1.4301 tloušťky 0,4-0,6 mm.



Obr.2.5 Řez svařovací komorou. [16]

Pomocí upínacího nástroje jsou hrany plechu tlačeny proti pozičnímu meči. Poziční meč má jednu pevnou stranu, která slouží k definování a stanovení velikosti svařovací mezery. Na volné straně je hrana plechu přidržována. Také se musí dbát na to, aby byl poziční meč dostatečně zasunut, jinak hrozí nebezpečí překrytého svaru.

Po upínacím procesu se plynový hranol vykloní do pozice, kde byl před tím poziční meč. Přes drážku fouká na spodní stranu svaru ochranný plyn, a tím se vytlačuje kyslík ze svařovacího prostoru. Tento proces zabraňuje zabarvení plechu ale neovlivňuje kvalitu svaru.

3 Svařitelnost vysokolegovaných austenitických ocelí

Svařitelnost je definice, která zahrnuje vliv materiálu, zvolenou technologii svařování a konstrukci. Kritériem svařitelnosti jsou dle ISO přípustné vlastnosti svarových spojů pro daný svařenec.

„Kovový materiál se považuje za svařitelný do určitého stupně při daném způsobu svařování a pro daný účel, lze-li odpovídajícím technologickým postupem svařování dosahovat kovové celistvosti svarových spojů tak, že tyto spoje vyhovují technickým požadavkům, jež se týkají jak vlastností svarových spojů tak, že tyto spoje vyhovují technickým požadavkům, jež se týkají jak vlastností samostatných spojů, tak i vlivu těchto spojů a konstrukční celek, jehož součástí tyto spoje jsou“ [5].

3.1 Svařitelnost austenitických ocelí obecně

Austenitické nerezavějící oceli lze svařovat téměř veškerými známými způsoby. Je kladen důraz hlavně na nezbytnost užití ochrany svařovacího oblouku, aby nedošlo k oxidaci slitinových prvků, a také aby se nezvyšoval obsah příměsí, které mají nepříznivý dopad na celistvost a vlastnosti (např. korozní odolnost) svarového spoje. Je třeba se soustředit hlavně na faktor zvyšující obsah uhlíku a dále věnovat pozornost plynům, které by mohly být příčinou pórovitosti svaru. Je třeba vzít na vědomí také i malou tepelnou vodivost austenitických ocelí a vysoký koeficient teplotní roztažnosti. Snadno mohou vzniknout deformace svarového spoje, proto z tohoto důvodu svařujeme tenké plechy na chladicí podložce. [6]

Austenitické CrNi oceli s 8% Ni se vyznačují především příznivou kombinací zpracovatelnosti, mechanických vlastností a odolností proti korozi. Jsou vhodné pro mnoho účelů použití (např. v chemickém průmyslu, potravinářství) a jsou významnou skupinou korozivzdorných ocelí. Nejpodstatnější vlastností této skupiny ocelí je jejich vysoká korozní odolnost, která se s rostoucím obsahem legur zvyšuje. Jejím zvyšování pomáhají především chrom a molybden. Nezbytná jemnozrnná struktura je nutná pro dosažení dobrých technologických vlastností, jak u feritických, tak i u austenitických ocelí.

Jako konečné tepelné zpracování je použito rozpouštěcí žíhání při teplotách mezi 1000 až 1150°C s následným ochlazením ve vodě nebo na vzduchu. Austenitické oceli

na rozdíl od martenzitických ocelí nejsou kalitelné. Pro některé oblasti použití se vyžadují austenitické oceli s vyšší pevností. Zvýšení meze průtažnosti lze dosahovat například tvářením za studena. V souvislosti na stupni přetváření lze dosahovat různých stupňů zpevnění. Při tvářením za studena dochází k doplňkové tvorbě deformačního martenzitu. Další možností je zpevňování tuhého roztoku pomocí opatření v oblasti legovací techniky.

Největší účinek mají prvky uhlík (C) a dusík (N). Avšak se zříkáme přidávání uhlíku z korozně-chemických důvodů. Dolegovávání dusíkem má ve srovnání s uhlíkem tu výhodu, že se současně zlepšuje pevnost a také i korozní odolnost. Austenitické oceli které obsahují dusík a mají vyšší hodnoty pevnosti jsou například 1.4311, 1.4318, 1.4406 nebo 1.4439. Pečlivým sladěním obsahu legur lze dosáhnout zvýšení meze 0,2 až na hodnoty, které převyšují 400 N/mm (1.4565).

Vysoké poměrné prodloužení při přetržení – hodnoty tažnosti austenitických ocelí jsou téměř dvojnásobné než u feritických ocelí (viz obr.3.1). Jsou velmi dobře tvařitelné za studena. Z toho vyplývá příznivá hlubokotažnost a nebo schopnost přetahování, tak i dobrá schopnost ohýbání. Výjimečný význam mají rovněž vyšší hodnoty při rázové zkoušce, které jsou vysoké i při velmi nízkých teplotách. Proto mohou být nerezavějící oceli tažené za studena na zařízení, která fungují při teplotách až – 269°C. Austenitické oceli jsou nemagnetické a nepodléhají fázovým přeměnám.

Vliv na vlastnosti základních a doprovodných prvků lze popsat následovně:

- celková korozní odolnost (Cr, Mo, Cu, Si, Ni),
- mechanické vlastnosti (N),
- obrobitelnost (S, Se, P, Pb, Cu),
- odolnost proti bodové a štěrbinové korozi (Mo, Si, N). [7]

Předběžně lze strukturu austenitických ocelí určit pomocí výpočtu ekvivalentů Cr a Ni s následným zobrazením v Schaefflerově (viz. příloha B) nebo W.R.C. diagramech na internetové stránce <http://www.migweld.de>.

3.2 Svařitelnost oceli 1.4301

Svařovaným materiálem je plech o tloušťce 0,6mm, který je vyroben z austenitické korozi-vzdorné oceli, které jsou zařazené dle ČSN 05 0323 (resp. CR ISO 15608) do skupiny 8 a podskupiny 3 jelikož platí vztah $Cr \geq 19\%$. Značka je X5CrNi18-10 a číselné značení je 1.4301. Na konci popisu má označení +2B, tzn. zpracovaný (tvářený) za studena, (loupáno a mechanicky hlazeno). V příloze A je zobrazen typický příklad struktury austenitické oceli.

Tabulka 3.1. Fyzikální vlastnosti materiálu dle EN 10088. [7]

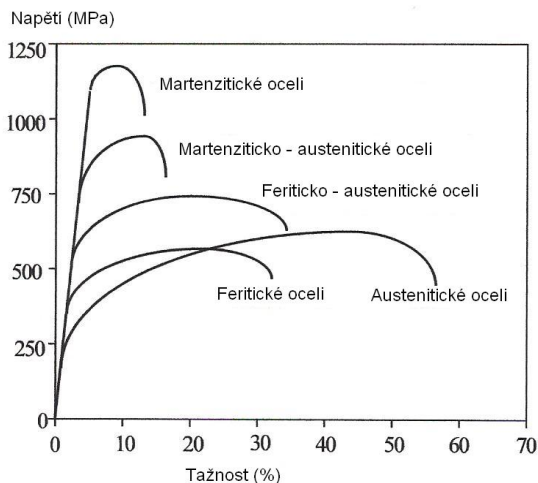
Značka	Číselné označení	Měrná hmotnost	Tepelná roztažnost mezi		Tepelná vodivost při 20°C	Měrná tepelná kapacita při 20°C	Elektrický odpor při 20°C
			100°C	400°C			
X5CrNi18-10	1.4301	kg/dm ³	10 K ⁻¹		W/(m x K)	J/(kg x K)	W x mm ² /m
		7,9	16	17,5	15	500	0,73

Tabulka 3.2. Chemické složení materiálu dle EN 10088. [7]

Značka	Číselné označení	C	Si max.	Mn max.	P max.	S	N	Cr	Cu	Mo	Nb	Ni	Ti
X5CrNi18-10	1.4301	≤0,07	≤1,00	≤2,00	0,045	≤0,030	≤0,11	17,00–19,50	–	–	–	8,00–10,50	–

Tabulka 3.3. Mechanické vlastnosti materiálu dle EN 10088. [7]

Značka	Číselné označení	Mez 0,2%		Pevnost	Tažnost	Tvrдость	Modul pružnosti
		podélně	napříč	v tahu	%	HB	N/mm ²
X5CrNi18-10	1.4301	230	260	540/750	45	215	1.9e+011 N/m ²



Obr 3.1. Křivky napětí v závislosti na deformaci pro některé nerezové oceli. [15]

Pevnost do meze lomu svarových spojů za vysokých teplot je v podstatě stejná jako pevnost do meze lomu základního materiálu. Pouze při velice dlouhých časech (do 300 000 h) je možné, že pevnost a tažnost svaru bude nižší jak u základního materiálu.

Při svařování austenitických, hlavně s nízkým obsahem intersticiál, je možné zjevení zhrubnutí zrn v tepelné ovlivněné oblasti (TOO), což může být příčinou poklesu houževnatosti a tažnosti. Tento efekt se ve stabilizovaných ocelích děje zřídka. [6]

Pro svařování jsou zvoleny oceli, které jsou tepelně zpracované pomocí rozpouštěcího žíhání (1050°C – s následným prudkým ochlazením). U stabilizovaných austenitických ocelí (např. 1.4550) jsou tepelně zpracované stabilizačním žíháním za teploty 850 °C. Austenitické korozivzdorné oceli jsou svařovány v podstatě bez předehřevu za účelem vyloučení vzniku *trhlin za horka* v TOO (tepelně ovlivněné oblasti) a také ve svarovém kovu. Trhliny vznikají vlivem tahové napjatosti při výskytu *nízkotavitelných eutektických směsí*. Vznikají fázi v dendritických oblastech svarového kovu a po hranicích zrn v TOO. Z tohoto důvodu se u normálních korozivzdorných austenitických ocelí a svarových kovů doporučuje 3 max. 15 obj.% feritu delta. Svařuje se s malým vneseným teplem, tzn. s minimálním teplem příkonem, tj. do hodnoty 1,5 kJ.mm⁻¹.

Pro svařování plně austenitických ocelí je možné použít elektrody se zvýšeným obsahem Mn a s nízkým obsahem nečistot (S a P). Interpass teplota nesmí přesáhnout 150 °C, poměr mezi šířkou a hloubkou svarové lázně (koeficient svaru) musí být nejvýše 1,5. U ocelí, které mají vyšší obsah Cr, Mo a Si je nezbytné upozornit na pravděpodobný výskyt intermetalických fází, zejména *fáze sigma*. Náchylnost k tvorbě karbidů po hranicích zrn je možné snížit prostřednictvím redukce obsahu uhlíku (max. 0,03 hm.%) a také stabilizací struktury (Ti, Nb, Ta). Z důvodu potlačení nahličení je možné doporučit používání ochranných plynů s obsahem CO₂ do 2,5 obj.%. Je potřeba upozornit na vysokou teplotní roztažnost austenitických ocelí ve srovnání s feritickými oceli. Austenitické oceli se doporučují svařovat metodou TIG (metoda 141) stejnosměrným proudem s mínus pólem na wolframové elektrodě pulzním proudem s dostačujícím odvodem tepla z místa spoje. Vzhledem k propalu prvků jsou používány

chrómem a molybdenem výše legované přídavné materiály ve srovnání se svařovanou korozivzdornou ocelí.

Austenitické korozivzdorné oceli krystalizují v souvislosti na chemickém složení jako směs fází feritu a austenitu. Důsledkem feritické krystalizace je nižší senzibilita na vznik trhlin za horka. Standardní austenitické oceli proto obsahují k potlačení vzniku trhlin za horka obsah feritu ≥ 3 FN (měřeno podle EN ISO 8249). Pro svařování standardních korozivzdorných ocelí je dobré použít svařovací materiály s podílem feritu ve svarovém kovu mezi 3 a 15 FN a zajistit tak minimální tuhost upnutí spoje. Po svařování se austenitické korozivzdorné oceli tepelně nezpracovávají.

Tendence k trhlinám za horka korozivzdorných austenitických ocelí je možné kontrolovat dle rovnice č.

$$\Delta H = -700.C + 17.Cr - 37.Ni + 29.Mo + 188 \quad (1)$$

V případě že $\Delta H \leq 100$, tak má ocel sklon k tvorbě trhlin za horka.

Austenitické korozivzdorné oceli se svařují lépe, jak oceli feritické, ale i tak je nutné respektovat několik zvláštností:

- koeficient tepelné roztažnosti je cca o 50 % vyšší, což podporuje vznik deformací a zbytkových napětí,
- tepelná vodivost je cca o 60 % nižší, tím se teplo soustřeďuje do okolí svařovací zóny. Toto teplo musí být účinně odváděno např. měděnými podložkami. [10]

Austenitické korozivzdorné oceli se svařují elektronovým paprskem, laserovým paprskem, plazmovým paprskem, metodou TIG, metodou WIG a také obalovanou elektrodou.

4 Rozbor vad plazmových spojů austenitické oceli.

Vady ve svarech je nezbytné považovat za ohrožující koncentrátoři napětí, které mohou nepříznivě ovlivňovat velikost meze únavy. Vady jsou iniciátory lomu a způsobují tak vyřazení součásti z provozu, ztrátu kapacity a poškození strojního zařízení. K zavedení do provozu se můžou připustit jedině svary bez vad, nebo jen s vadami, o kterých víme, že při daném provozním zatížení nebudou ohrožovat bezpečnost svařovaných konstrukcí nebo nebudou respektovat přání zákazníka. Přípustné vady musí být definované, v našem případě to jsou vady, které nejdou detekovat vizuální kontrolou a vady, které nejsou příčinou roztržení svaru při přetváření.

Dle tvaru rozlišujeme ve svarech vady:

- a) bodové - do této skupiny řadíme mikropóry, příp. malé sférické vměstky,
- b) plošné – jsou to především trhliny, mikrotrhliny, studené spoje, příp. neprůvary, nespojitosti návaru se základním materiálem (neprůvar v rovině souběžné s povrchem),
- c) prostorové – zde patří plynové dutiny (bubliny, póry), vměstky (struskové, tavidlové, lidické, kovové), staženiny (mezidentrické, kráterové).

Podle polohy vad ve svaru rozlišujeme vady:

- a) povrchové - například trhliny, mikrotrhliny, studené spoje, případně neprůvary, neprovařený kořen, póry,
- b) vnitřní – například plynové dutiny, staženiny, vměstky, studený spoj (mezi vrstvami housenek, ale i mezi základním materiálem a svarovým kovem), neprůvar v kořeni (u oboustranného nebo koutového svaru)

Vady ve svarových spojích a příčiny jejich vzniku závisí na druhu svařovaného materiálu a metodě svařování. Klasifikaci vad, které se mohou vyskytovat ve svarových spojích během tavného svařování kovů, uvádějí normy: ČSN EN ISO 6520-1,2 a ČSN EN ISO 5817. Tyto normy zařazují vady do šesti skupin (viz příloha H). V našem případě se vady určují metodou nedestruktivního zkoušení, a to vizuální kontrolou.

Přípustnost vad ve výrobcích je všeobecně stanovena druhem, velikostí a četností objevujících se vad v souvislosti na typ výrobku (svaru) nebo konstrukce a druhem jejich namáhání. Vada, která působí maximálně vrubovým účinkem, nebo-li u které existuje nebezpečí, že se z ní vytvoří při namáhání svaru trhlina je rozhodující pro

bezpečnost svaru. Další vady, které neleží v rovině šířící se trhliny, v podstatě nebudou přispívat ke snížení bezpečnosti svařovaných konstrukcí. Přípustnost vad určuje konstruktér výrobku na podstatě předpokládaného provozního namáhání, nebo jaký má svar vzhled s ohledem na design. Jestliže výrobek (svar) splňuje stanovená kritéria jakosti a spolehlivosti, ověřuje za použití daných kontrolních metod pracovník nedestruktivní kontroly. [5]

4.1 Identifikace vad v plazmových svarových spojích.

Vady jsou nafoceny na konkrétním materiálu, a následně byly optimalizovány.

Zařazení vad dle ČSN EN ISO 6520-1,2 (viz příloha I):

a) vada kombinace typu Ab,F – propad ve svaru + póry + zabarvení (nepřípustné pro zákazníka). Propad ve svaru může být zapříčiněn špatně ustřiženým plechem, nebo vlivem přesazení plechu. Zabarvení svaru a póry jsou důsledkem nedostatečné ochrany ochranným plynem vlivem zanesením rozptylovací clony nečistotami (nedostatečná údržba).

b) vada typu F – zápal (průpal), mezi tryskou a plechem došlo ke kontaktu (zkratu),
Vzdálenost svařovaného plechu od trysky plazmového hořáku byla menší vlivem nedostatečného skladování nebo vlivem přepravy materiálu. Tato vada se projevuje v místě na začátku svařování, proto nějak neovlivňuje proces expandování, ale je iniciátorem vzniku nečistot ve svařovací komoře.

c) vada typu Různé vady – plazmový paprsek svařoval mimo osu svaru,
Příčinou vychýlení osy svaru od osy plazmového paprsku je nedostatečně seřízený stáčecí stroj (přítlačné segmenty), které se během provozu rozladí.

d) vada kombinace typu Ba, Ea – ve středu svaru je podélná trhlina, struskový vměstek
Přítomnost mosazi z podávacích náběhů může být častou příčinou vměstků.

e) vada typu Eb – příčná trhlina ve svaru. Nečastěji se vyskytuje v místě největšího přetváření, kde tažnost je vyčerpána ve všech 3 osách. Zde dochází k součtu uvedených vad, proto nelze stanovit nějaká ekonomická opatření.

f) vada kombinace typu Ba,C,F – vměstky ve svaru, nezlití dělicí roviny, propad ve středu svaru. Vměstky ve svaru jsou zapříčiněny znečištěním plechu vlivem provozu, nebo vlivem skladování (nebyla dodržena ochrana svarových ploch). Vada vznikla původem od základního materiálu.

g) vada typu roztržení – roztržení svaru po přetváření plechu za studena. Generováno vadami Ba,C,F. Zde došlo ke zpevnění svaru (ke zhrubnutí zrna, ztrátě tažnosti). Možnou příčinou jsou otřepy svařované hrany, která znemožní nastavení svařovací mezery. Mohou tam být také naválcovány ferity. Z vad Ba,C,F je generována trhlina G.

Při plazmovém svařování austenitických ocelí může docházet k silné tvorbě pórů vlivem působení oxidu uhlíku. Kyslík, který se i přes všechny opatření dostane do tavné lázně se může sloučit s uhlíkem v oceli, což může vést k silné tvorbě plynů což také vede k tvorbě pórů. Je třeba dbát na čistotu plazmového a ochranného plynu.

Při manipulaci s materiálem, nebo vlivem dopravy může docházet k porušení střížné hrany nebo se mohou vyskytovat zbytky ochranné fólie, proto je třeba před použitím provádět kontrolu střížných hran. Je doporučeno stříhat jeden druh materiálu na jednom střížném stroji pro vyloučení nečistot z předchozího materiálu.



Obr 4.1 Zbytky fólie v dodávaném materiálu. [16]

5 Navržený program pro optimalizaci

Program byl navržen s ohledem na aktuální problém, který vznikl při svařování šarže plechů 408799. Tato šarže při předchozích svařovacích parametrech pro šarži 408434 nedala svařit, zmetkovitost byla 100%. Zvláštní je, že obě tyto tavby spadají pod stejné označení materiálu 1.4301.

5.1 Návrh experimentu.

Pro optimalizaci technologie svařování byly provedeny zkušební vzorky a navrhlo se:

- a) optimalizovat svařovací parametry,
- b) porovnat šarži 408799 vůči šarži 408434 s ohledem na chemické složení,
- c) porovnat šarži 408799 vůči šarži 408434 s ohledem na zkoušku tahu,
- d) porovnat makro a mikrostruktury svaru obou šarží
- e) porovnat šarži 408799 vůči šarži 408434 s ohledem na mikrotvrdost.

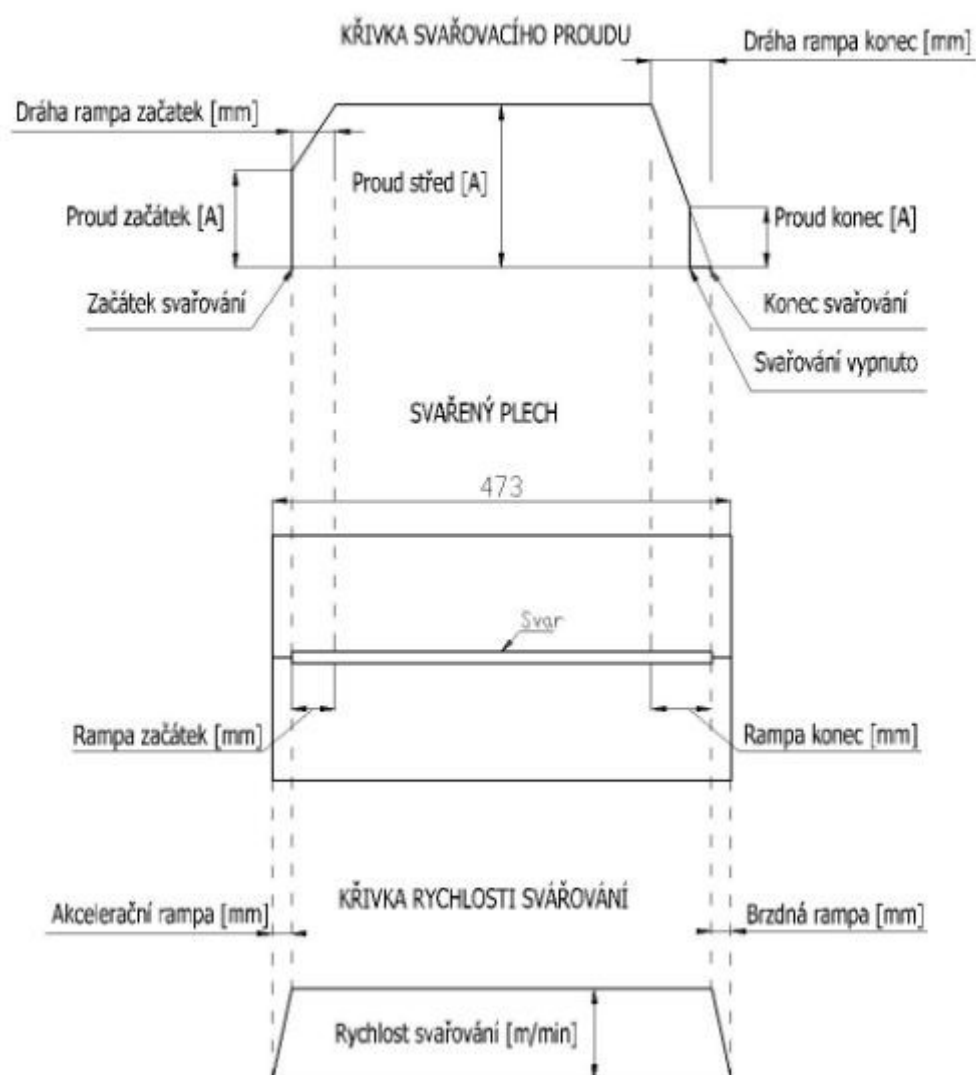
5.2 Výsledky experimentu.

5.2.1 Svařovací parametry

Tab.5.1 Optimalizované parametry šarže 408799.

Parametr stáčení	Šarže 408434	Šarže 408799
Délka roury	473±2 mm	473±2 mm
Pozice přednastavení válce	11,2±0,5 mm	11,2±0,5 mm
Parametry nastavení křivky svařovacího proudu		
Začátek svařování	27±0,3 mm	27±0,3
Svařování vypnuto	491±0,3 mm	491±0,3
Konec svařování	522±3 mm	522±3
Akcelerační rampa	2 mm	2 mm
Brzdná rampa	7 mm	8 mm
Proud začátek	28±0,3 A	36±0,3 A
Proud střed	30±0,2 A	38±0,2 A
Proud konec	0	0
Parametry rychlosti svařování		
Dráha - rampa začátek	2 mm	3 mm
Dráha - rampa konec	3 mm	4 mm
Rychlost svařování	1,2 m/min	1,2 m/min

Svařovací proud šarže 408434 se experimentálně zvyšoval po 0,5A, také se měnila svařovací rychlost, až se dospělo k závěru, že střední proud 38A a svařovací rychlost 1,2m/min je optimální. Se změnou proudu svařovací křivky se měnila dráha rampa začátek a konec viz obr.5.1. Akcelerační rampa je zde použita místo doporučené podložky, jinak by došlo k průpalu svaru.



Obr. 5.1 Křivka svařovacího proudu v závislosti na rychlosti svařování a poloze.

5.2.2 Chemické složení

Tab.5.2 Chemické složení v %, poznámka: ^N neakreditovaná zkouška

Typ šarže	C	S	Mn	Si ^N	P ^N	Cu	Ni	Cr	Mo	V	Ti	N _{TRÍSKY}
408434	0,04	0	1,09	0,34	0,03	0,21	9,5	18,8	0,17	0,12	0,01	0,045
408799	0,05	0	1,25	0,36	0,03	0,42	8,1	17,9	0,18	0,11	0,01	0,060

Po chemické stránce se u vzorku B spojilo několik vlivů, vyšší uhlík, vyšší mangan a vyšší úroveň znečištění mědí, to vše přispívá ke zpevnění tuhého roztoku a tedy k horší tvařitelnosti. Jednotlivé hodnoty jsou však v limitech normy. Chemické hodnoty jednotlivých taveb se pak odrážejí v úrovních mechanických vlastností.

5.2.3 Tahová zkouška dle ČSN EN ISO 6892-1

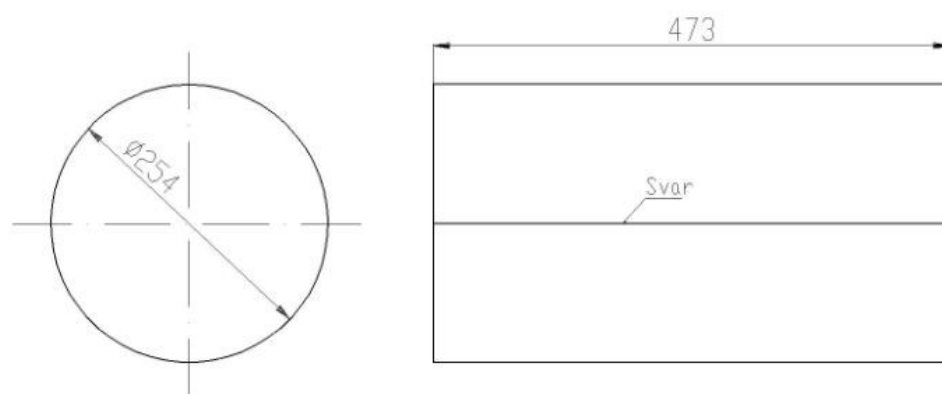
Tab.5.3 Výsledky tahové zkoušky.

Typ šarže	Mez kluzu Rp0,2	Mez kluzu Rp1,0	Mez pevnosti Rm	Tažnost
408434	240-243 MPa	273-274 MPa	615-624 MPa	60-67%
408799	267-271 MPa	303-307 MPa	648-663 MPa	43,-57 %

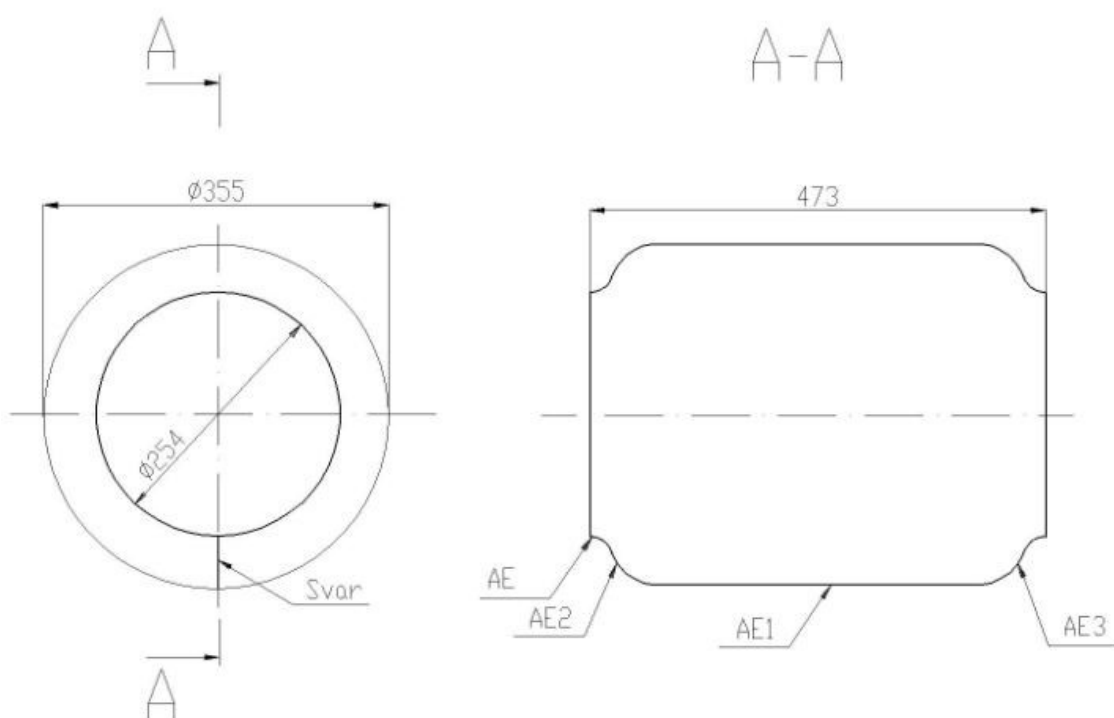
Materiál 408799 vykazuje vyšší mez kluzu a mez pevnosti. Úroveň vyšších vlastností a přítomnost výše zmíněných prvků pak způsobuje to, že materiál rychleji zpevňuje a rychleji vyčerpává svou plasticitu. To je velmi dobře vidět na hodnotě meze kluzu Rp1,0 (tj. pro % plastické deformace, a také na hodnotách tažnosti). U hodnot tažnosti se jedná o tažnost hodnocenou na vzorku o délce 80 mm.

5.2.4 Makrostruktura svaru.

Z kontrolních spojů byly zhotovené metalografické vzorky:
vzorek B – typ šarže 408799, svar bez přetváření stočeného plechu viz obr.5.2,
vzorek A – typ šarže 408434, svar bez přetváření stočeného plechu viz obr.5.2
vzorky AE, AE1, AE2- svar po přetváření stočeného plechu v místě viz obr.5.3
vzorek AE3- svar po přetváření stočeného plechu v místě příčné trhliny.

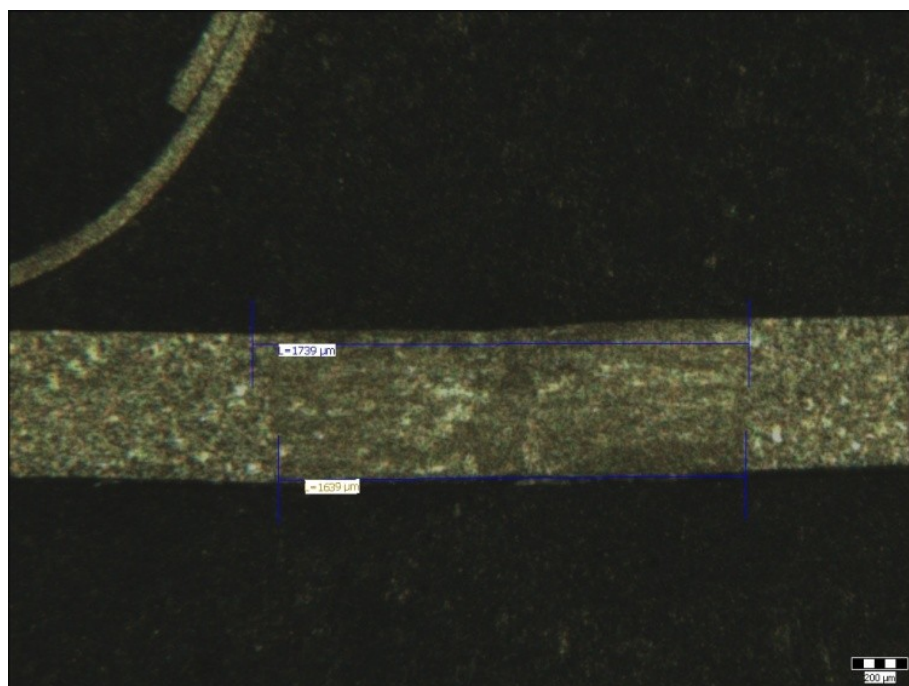


Obr.5.2 Výkres svařeného plechu před expanzí (bez přetváření).

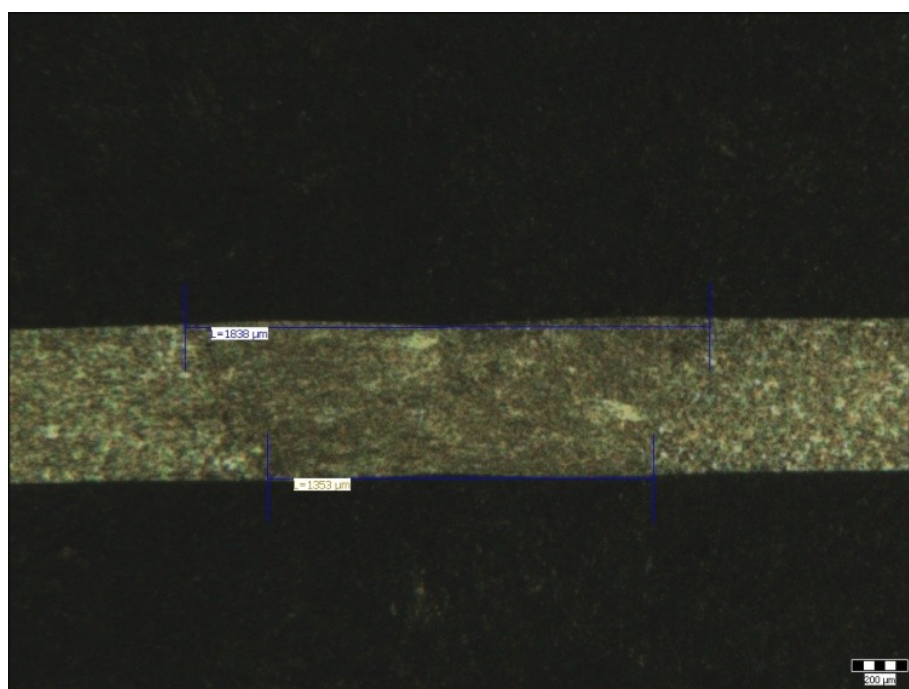


Obr.5.3 Výkres svařeného plechu po expanzi(přetváření) a umístění vzorků.

Všechny vzorky byly vyřezány z daných míst (viz obr.5.3) a následně tepelně pod tlakem zality do Multi Fastu Green. Dále byly vzorky vybroušeny brusnými kotouči, vyleštěny a naleptány. Následně byla provedena fotodokumentace.



Obr.5.4 Makrostruktura vzorku A ve zvětšení 20x. Leptáno Adlerem.

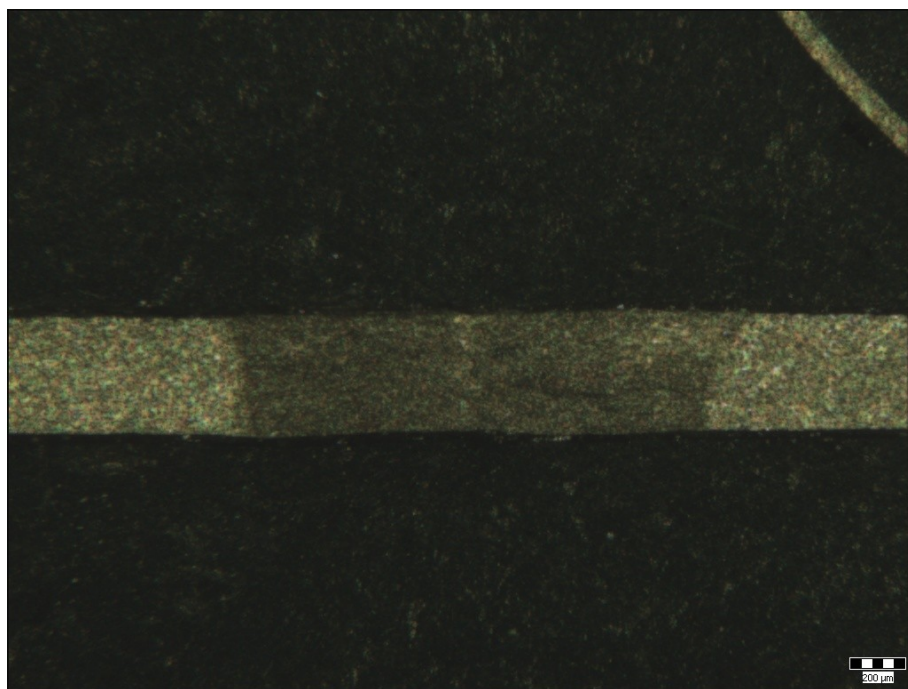


Obr. 5.5 Makrostruktura vzorku B ve zvětšení 20x. Leptáno Adlerem.

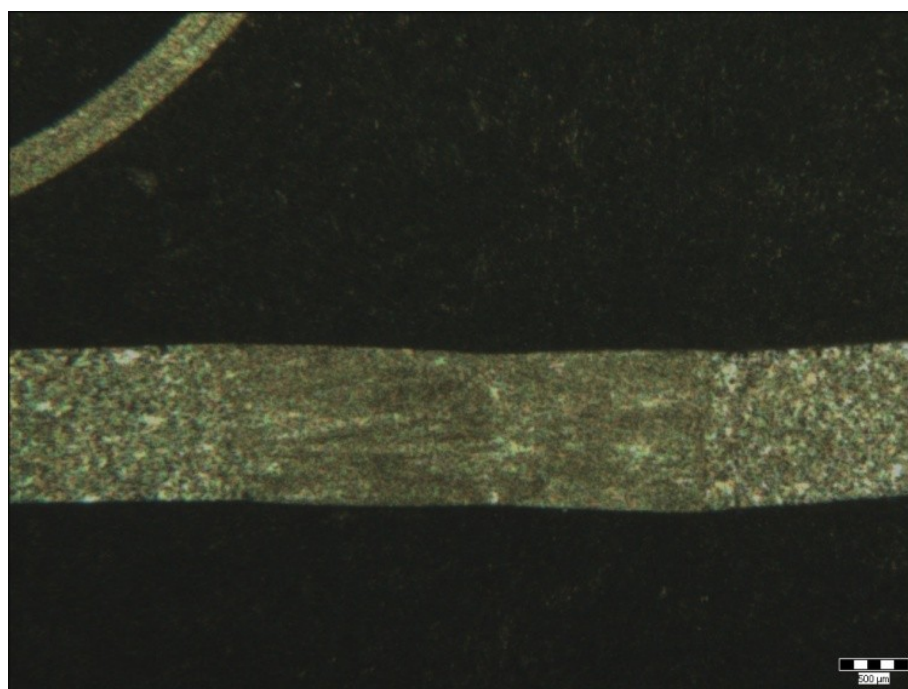
Tab. 5.4 Porovnání rozměrů TOO.

	Horní rozměr TOO	Spodní rozměr TOO
Vzorek A	1,739 mm	1,639 mm
Vzorek B	1,838 mm	1,353 mm

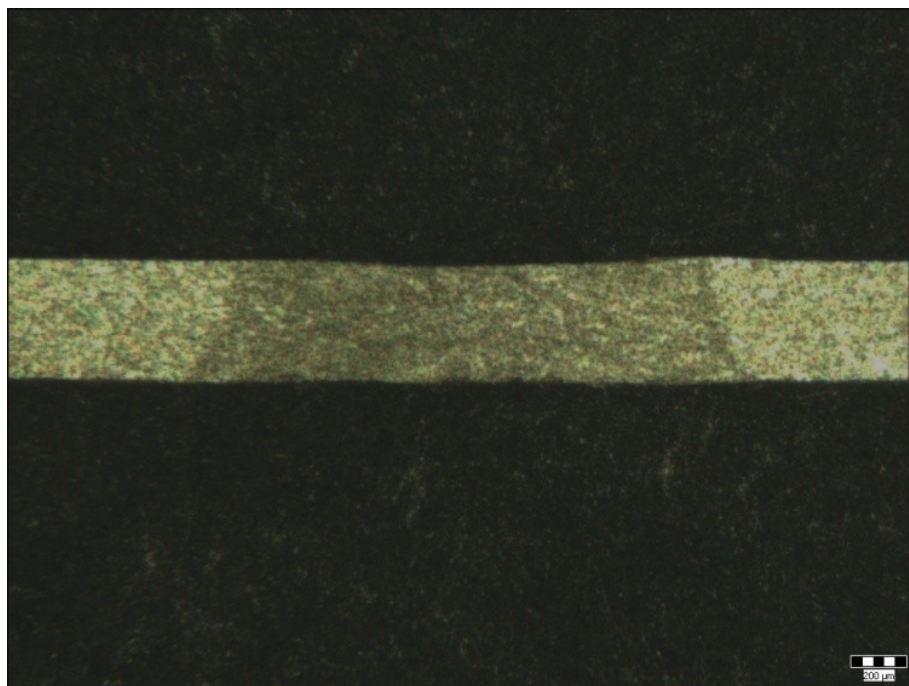
Z tabulky 5.4 je zřejmé, že i při zvýšeném proudu svařování vzorku B je spodní rozměr TOO menší, jak u vzorku A.



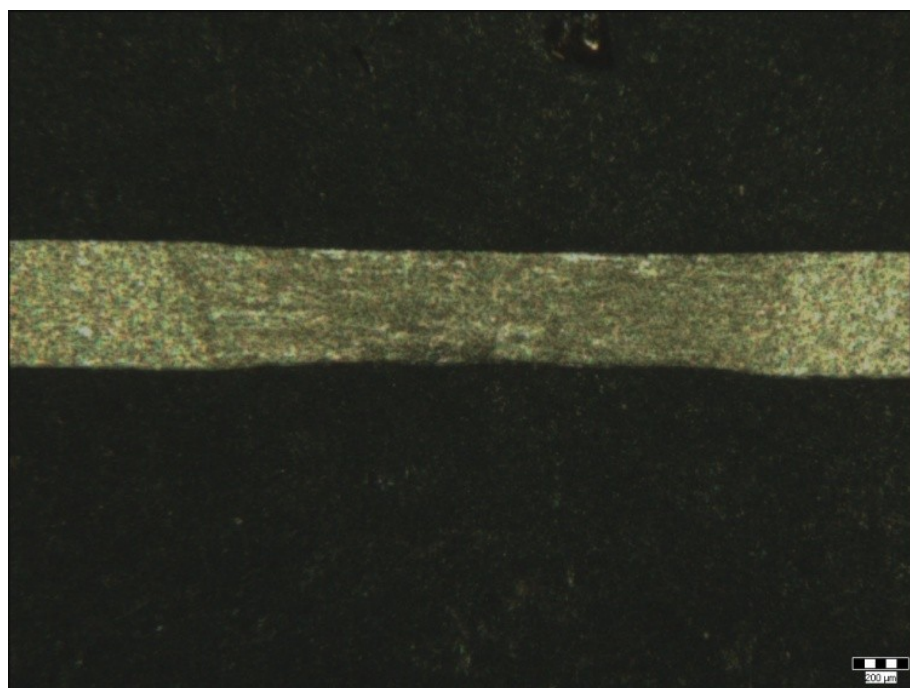
Obr. 5.6 Makrostruktura vzorku AE ve zvětšení 20x. Leptáno Adlerem.



Obr. 5.7 Makrostruktura vzorku AE1 ve zvětšení 20x. Leptáno Adlerem.



Obr. 5.8 Makrostruktura vzorku AE2 ve zvětšení 20x. Leptáno Adlerem.

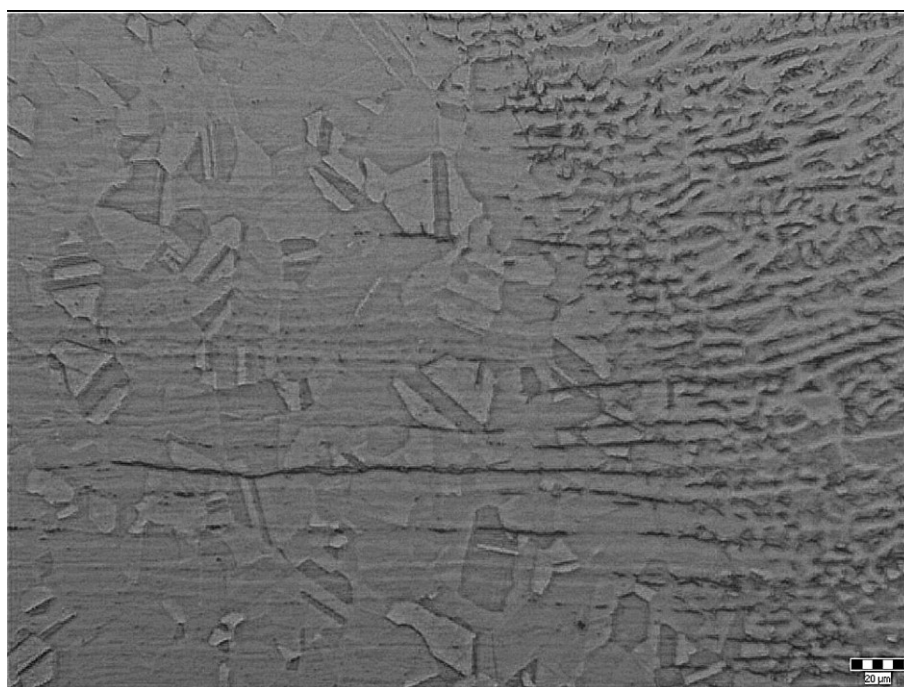


Obr. 5.9 Makrostruktura vzorku AE3 ve zvětšení 20x. Leptáno Adlerem.

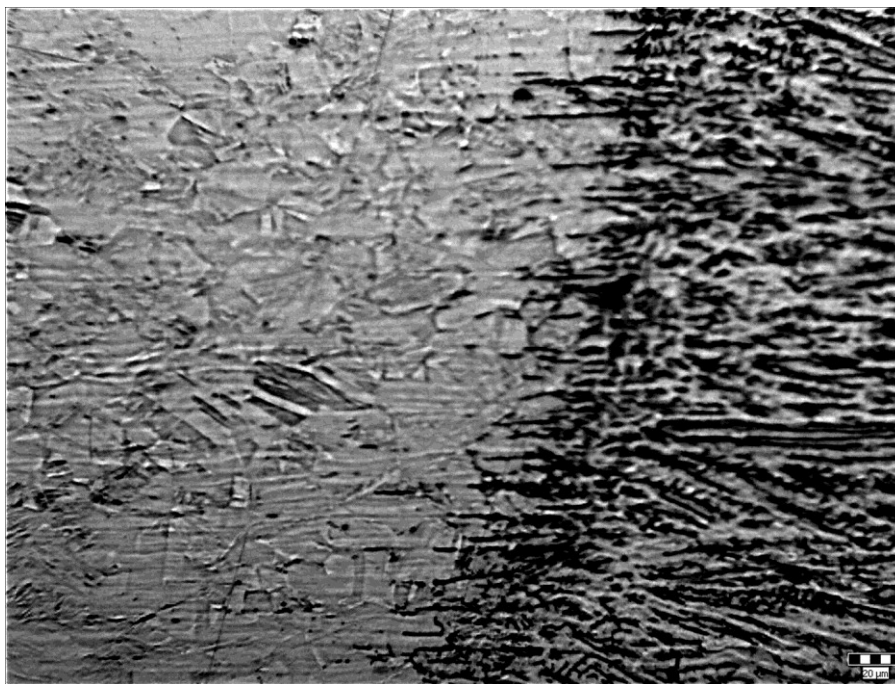
5.2.5 Mikrostruktura vzorků.



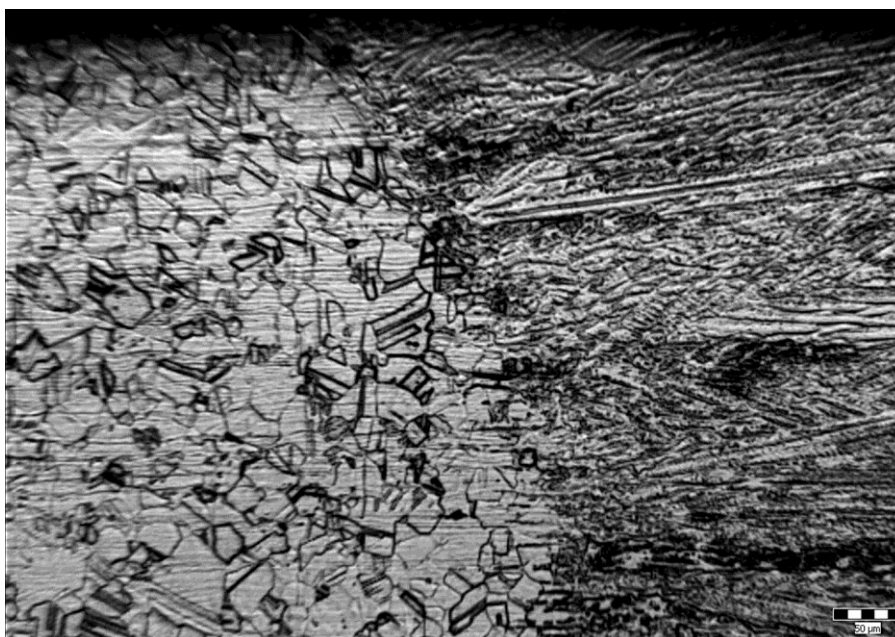
Obr. 5.10 Mikrostruktura vzorku A ve zvětšení 200x. Leptáno 2-2-1.



Obr.5.11 Mikrostruktura vzorku B ve zvětšení 200x. Leptáno 2-2-1.



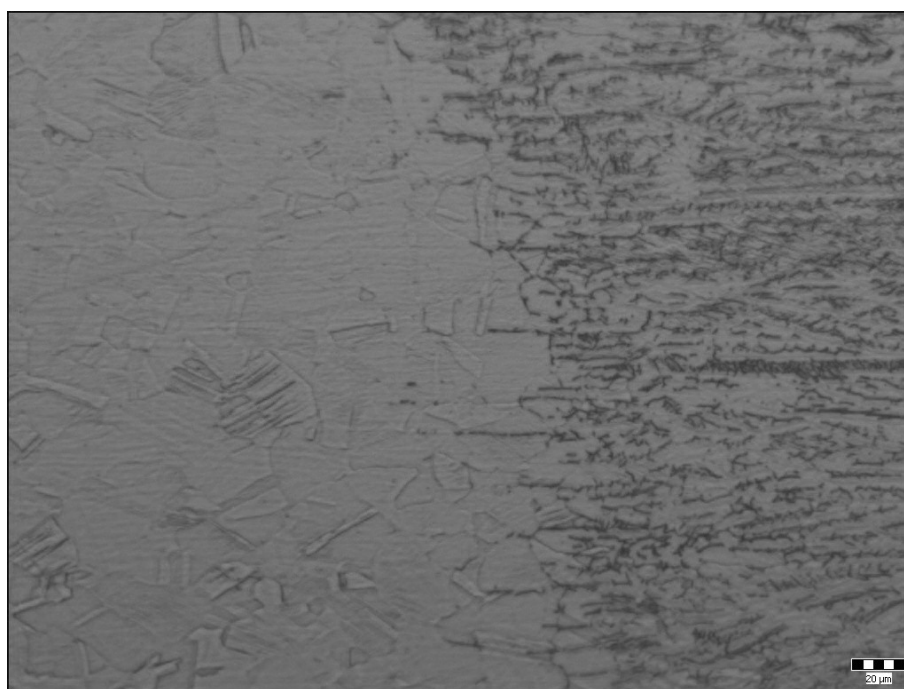
Obr.5.12 Mikrostruktura vzorku AE ve zvětšení 200x. Leptáno 2-2-1.



Obr.5.13 Mikrostruktura vzorku AE1 ve zvětšení 200x. Leptáno 2-2-1.



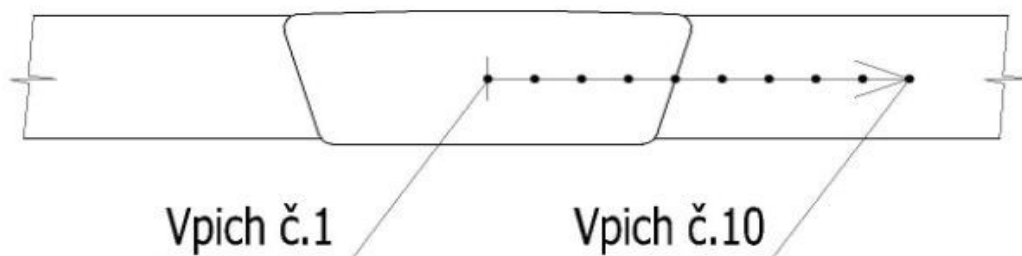
Obr.5.14 Mikrostruktura vzorku AE2 ve zvětšení 200x. Leptáno 2-2-1.



Obr.5.15 Mikrostruktura vzorku AE3 ve zvětšení 200x. Leptáno 2-2-1.

5.2.6 Zkouška mikrotvrlosti svaru

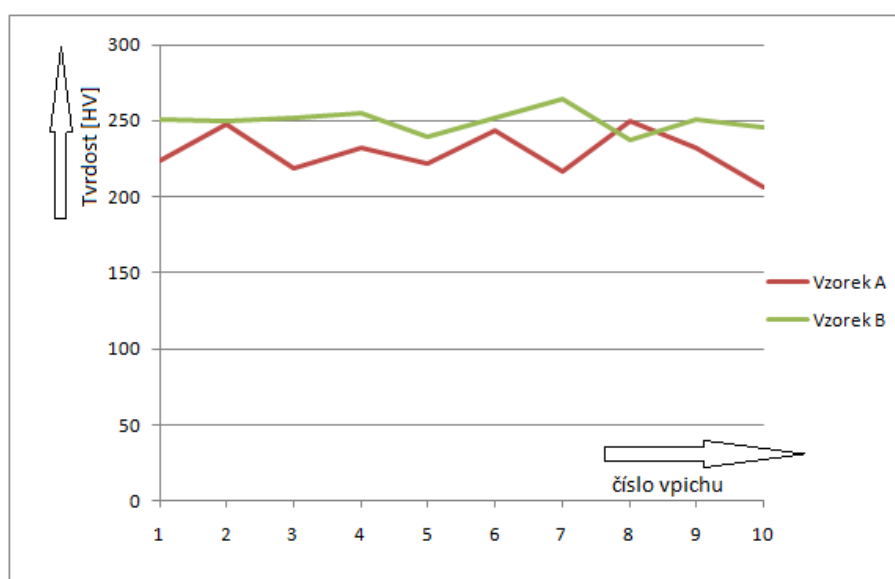
Mikrotvrdot byla měřena mikrotvrdoměrem LM 247 AT v příčném řezu svaru dle Vickerse (HV 1/13), tzn. že zkušební těleso bylo o hmotnosti 1kg a zatížení trvalo 13s. Vpichovat se začalo od středu svaru přes tepelně ovlivněnou oblast až po základní materiál. Vpichů bylo provedeno 10 s roztečí 0,25mm viz obr.5.16.



Obr. 5.16 Označení polohy vpichů.

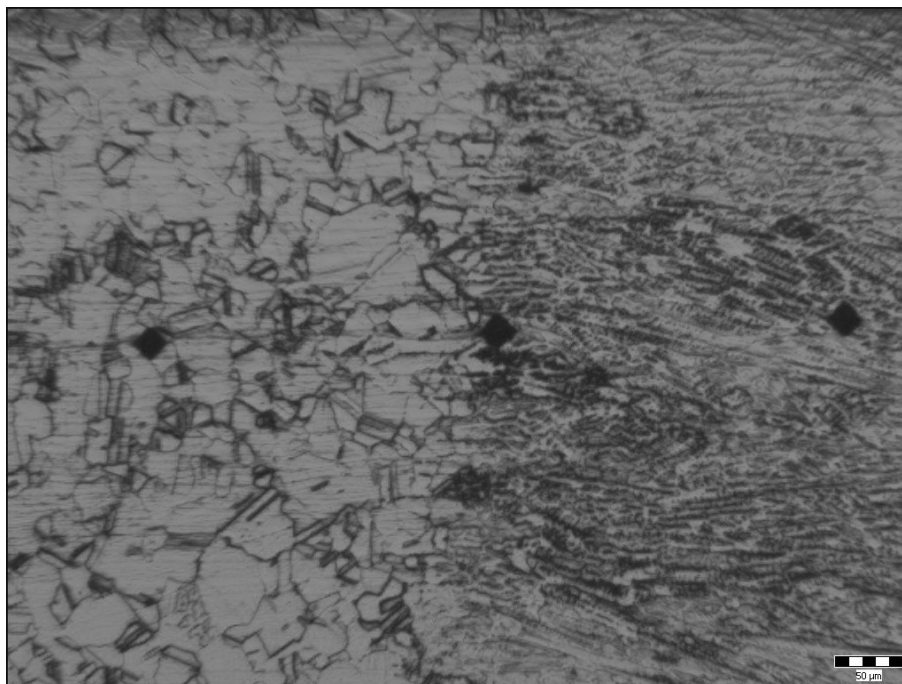
Tab. 5.5 Zhodnocení mikrotvrlosti daných vzorků.

Číslo vpichu	Tepelně ovlivněná oblast				Základní materiál					
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Vzorek A	224	248	219	232	222	244	217	250	232	206
Vzorek B	251	250	252	255	239	252	264	237	251	246
Vzorek AE	457	382	433	418	387	367	396	385	363	363
Vzorek AE1	256	247	262	250	260	258	256	236	258	227
Vzorek AE2	404	342	349	374	347	346	353	349	347	356
Vzorek AE3	442	357	391	330	313	323	273	296	308	301



Graf 5.1 Porovnání mikrotvrlosti vzorku A a vzorku B.

Z tabulky 5.5 a z grafu 5.1 jde vidět, že mikrotvrdot v tepelně ovlivněné oblasti je skoro shodná s mikrotvrdotí základního materiálu, což vyznačuje, že technologie svařování příliš svar nedegraduje. U porovnání vzorků A a B je vidět, že vzorek B je tvrdší, došlo zde ke zkřehnutí tuhých fází a proto má daleko horší šanci projít expanzí, což vyznačuje jeho vyčerpanou plasticitu. Vzorky AE, AE2, AE3 se vyznačují nejvyšší mikrotvrdotí, jelikož v těchto místech je svar nejvíce přetvářen.



Obr.5.17 Měřená mikrotvrdot vzorku AE1 jdoucí od kořene svaru přes TOO až po základní mater. ve zvětšení 100x. Leptáno 2-2-1.



Obr.5.18 Detail vpichu mikrotvrdosti dle Vickerse ve zvětšení 500x. Leptáno 2-2-1.

5.3 Zhodnocení experimentu.

Mikro a makro struktura nejen určila kvalitu provaření svaru a austenitického zrna v daných lokacích ale také četnost delta feritu, karbidů a možný výskyt cementitu. Experiment byl proveden také kvůli ověření svařovacích parametrů.

Obr.5.10 Mikrostruktura vzorku A – zde je vidět rovnoměrné provaření kořene svaru v závislosti na hloubce průvaru. Austenitické zrna je oproti vzorku B výraznější, což dokazuje vyšší obsah dvojčatění.

Obr.5.11 Mikrostruktura vzorku B – zde je vidět, že kořen svaru se zmenšuje v závislosti na hloubce průvaru, tento materiál díky zhrubnutí zrna vylučuje na hranicích zrn nečistoty, což podporuje vyšší tepelný odpor. Navíc je zde vidět vysoký obsah delta feritu a přítomnost dalších nečistot (karbidů) což při expanzi vede k roztržení svaru.

Obr.5.15 Mikrostruktura vzorku AE3 – svar v místě příčné trhliny, není zde vidět materiálová chyba, takže trhlina vznikla zřejmě chybou stříhání plechu.

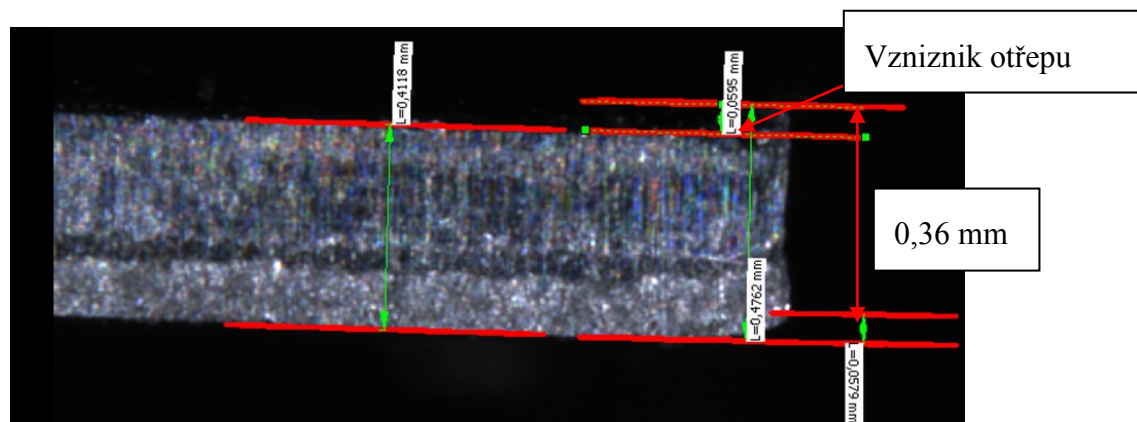
Obr.5.9 Makrostruktura vzorku AE3- propad svaru zapříčinil trhlinu, mezi střížnými hranami, byla zde větší svařovací mezera

6 Kritéria kvality svaru.

Mezi kritéria jsou zařazeny doporučené hodnoty, které zaručují jakost svaru naší požadované tolerance. Klást se musí především důraz na úpravu střížné hrany, nastavení plazmového hořáku a svařovací roviny.

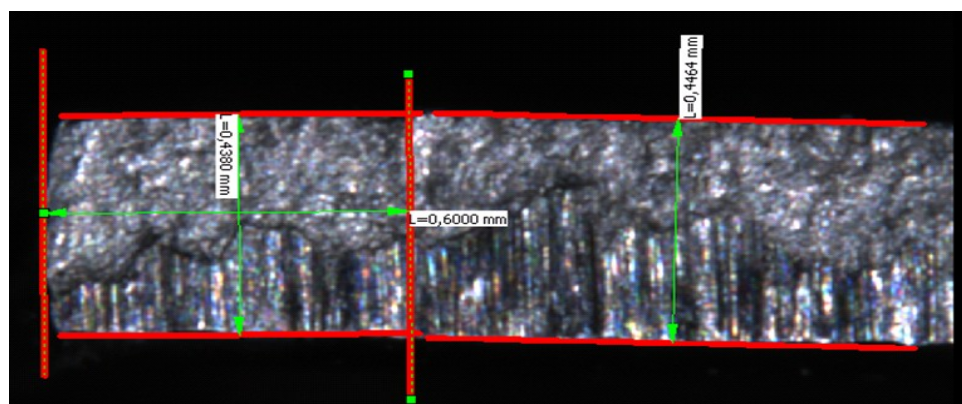
6.1 Úprava střížných ploch.

Geometrie svařovací roviny: střížná plocha je pravidelná = střížná vůle byla nastavena (seřizena) správně. Je zde ale vidět nepřípustný ořep viz obr. 6.1.



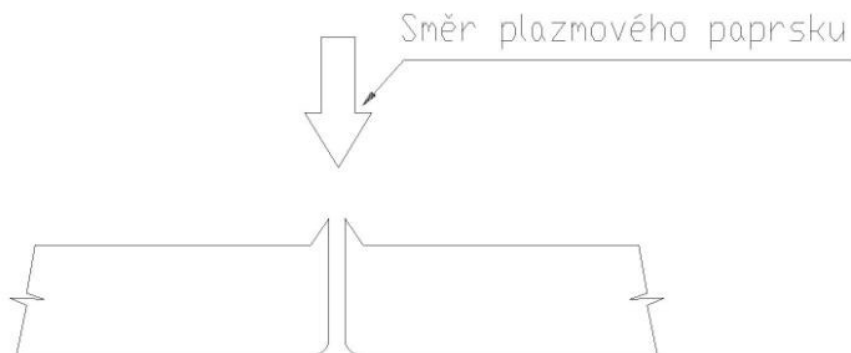
Obr. 6.1 Střížná hrana při správné střížné vůli. [16]

Geometrie svařovací roviny, tržná plocha je nepravidelná = střížná vůle je nastavena nesprávně viz obr. 6.2. Do vzdálenosti 0,6 mm došlo k prohnutí střížné roviny a to má vliv na přesazení sváru.



Obr.6.2 Střížná hrana při nesprávné střížné vůli. [16]

Pokud se při stříhání projeví otřep, musí být při svařování otočen směrem k plazmovému hořáku (viz. obr. 6.3). V opačném případě dochází k propadení svaru a během stáčení plechu dochází k poničení svářecího stroje.



Obr. 6.3 Uložení plechu s otřepem při svařování.

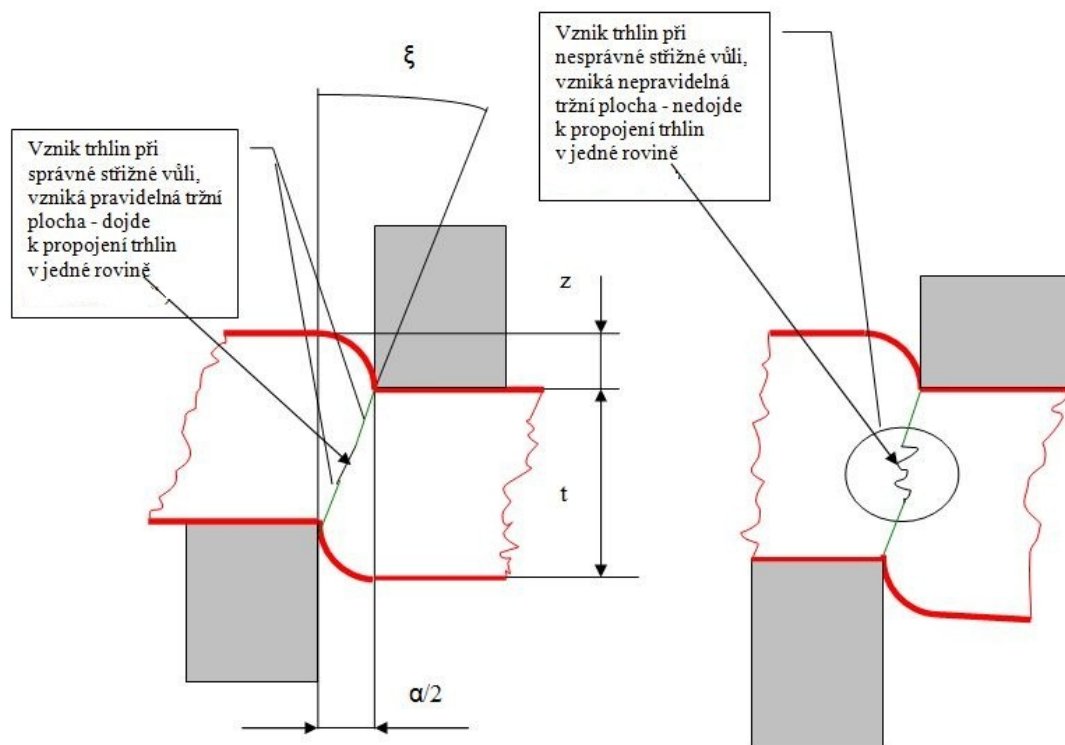
Při nesprávné vůli se střížná práce zvětšuje dodatečným stříháním (trhliny šířící se pod nesprávným úhlem se nespojují). Při větší vůli se více deformují hrany výstřížku, střížná plocha je užší a tržná plocha je více skloněna (prodlužuje se životnost nástroje). Při menší vůli se zvyšuje kvalita střížné plochy a zároveň se zvyšuje střížná síla. U otupeného nástroje se vytváří na hranách výstřížku jehla (do 0,06mm) – jehla při deformaci znemožní doražení plechů před svařováním.

Na průběh stříhání, jakost stříhaných ploch a rovinnost výstřížků mají vliv:

- 1.) Střížná vůle (největší vliv)jak probíhá kontrola nastavení
- 2.) Stav (ostrost) střížných hran.....po kolika cyklech dochází k ostření
- 3.) Tvar (vzájemný sklon) střížných hran....jak často se měří
- 4.) Jakost materiálu.....vliv meze kluzu

Při stříhání dochází ke zpevnění okraje do hloubky $(0,2-0,7) \cdot t$ a při dalším zpracování mohou vznikat trhlinky – výrobek se poškodí. Hloubka vniknutí střížných hran (z), při níž se materiál oddělí závisí na jakosti materiálu a jeho tloušťce:

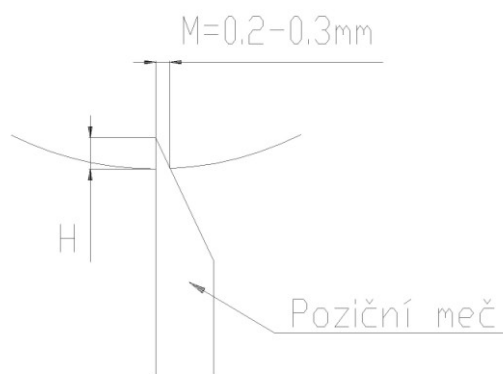
$Z = k_1 \cdot t$, t tloušťka materiálu, k_1součinitel hloubky vniknutí střížných hran (pro středně tvrdé materiály $0,35 \div 0,5$), ξúhel roviny odtržení (pro středně tvrdé mat $3^\circ \div 14^\circ$).



Obr.6.4 Princip nastavení střižné vůli a posuzování tvaru střižné plochy. [16]

6.2 Svařovací mezera.

Svařovací mezera je nastavována pomocí pozičního meče v závislosti na jeho hloubce nastavení dle vztahu: $H=M/\text{tg}40^\circ$ dle obr. 6.2.1.



Obr.6.5 Princip nastavení svařovací mezery.

6.3 Nastavení plazmového hořáku.

Vlivy na kvalitu spoje svaru mají tyto uvedené hodnoty:

- A) Průměr a tvar wolframové elektrody je určen podle svařovacího proudu, v našem případě je to $\varnothing 1,5\text{mm}$. Tvar elektrody je určen. Elektroda by se měla odebírat nabroušená. Špička elektrody se při montáži nesmí dotknout ruky.
- B) Vzdálenost mezi wolframovou elektrodou a špičkou trysky se nastavuje pomocí měrky (20mm). Nepatrná změna ovlivňuje velikost sváru (menší vzdálenost = širší svár a naopak).
- C) Vzdálenost mezi špičkou trysky a plechem by se mělo pohybovat v rozmezí 2 – 2.5 mm. Při větší vzdálenosti je třeba zvýšit svařovací výkon. Při menší vzdálenosti se tryska znečišťuje a plazma má charakter řezání.
- D) Sklon hořáku by měl být nastaven na 80° .

7 Diskuze dosažených výsledků.

Porovnávání dobře svařitelného a tvařitelného materiálu (vzorekA) se vzorkem B nám umožnilo zjistit, co přesně se se svarem děje při dané technologii výroby a jaký je v tom rozdíl. Z výše uvedených nastavených parametrů a zkoušek vznikla doporučení, která snižují četnost výskytu vad při svařování a expandování.

Je třeba se zaměřit zejména na přípravu vstupního materiálu a to:

- atestací mechanických vlastností tak, že si jako zákazník můžete omezit interval mechanických hodnot více než norma. Za zmínku možná stojí zkusit požadovat garantovanou mez kluzu $R_{p1,0}$, která by pravděpodobně snížila variabilitu procesu, ale za cenu zvýšení nákladů za nákup materiálu.
- obsahem delta feritu v dodávaném materiálu.
- dostatečnou úpravou střížných hran

Dalším důležitým prvkem na zvyšování kvality svarového spoje je dostupnost metalografických rozborů a mikrotvrdoti v reálném čase pro snadnější optimalizaci svařovacích parametrů.

Závěr:

V první části jsem se zaměřil na studii technologie svařování plazmou, která popisuje jaké je její využití v průmyslu, pro které materiály je vhodná, jaké plyny se zde používají a následně je specifikováno stávající zařízení, kde jsem optimalizoval svařovací parametry. Byl proveden rozbor vysokolegované austenitické oceli s ohledem na svařitelnost, na mechanické vlastnosti a na legující prvky, které mají vliv na vlastnost materiálu.

Dále byly detekovány nepřijatelné vady, které během svařování vznikají. Tyto vady byly zařazeny do skupin dle ČSN EN ISO 6520-1,2 a byly popsány jejich příčiny vzniku a jejich následná opatření, která tyto iniciátory vylučují.

Svařitelnosti dle normy lze dosáhnout v určitém rozsahu. I když se dosáhlo optimálních svařovacích parametrů a svar byl dle normy přijatelný, tak u šarže 408799 došlo k porušení svaru, jelikož tento svar neprošel dalším výrobním cyklem expandováním. To však není chyba procesu svařování, ale největší podíl na tom mají vady v přípravě vstupního materiálu.

V práci jsou uvedeny kritéria, která mají vliv na kvalitu spoje svaru. Jsou stanoveny doporučené hodnoty pro úpravu střižných, nastavení svařovací mezery a plazmového hořáku, která přispívají ke snížení zmetkovitosti.

Tato práce definuje příčiny variability procesu svařování. Z ekonomického hlediska je to přínos pro optimalizaci budoucích investic, které zabezpečí zvýšení produktivity dané technologie. Abychom mohli efektivněji provádět optimalizaci svaru, je nutné zavést monitorovací zařízení pro parametry svařování. Výsledky nás přesvědčily nás, že se musí zvýšit pozornost na přípravu vstupního materiálu. Výsledkem optimalizace je také definice střižné roviny a stanovení požadavků na údržbu v oblasti nastavování a čistoty svařovací roviny. Abychom snížili riziko jakékoliv degradace vstupního materiálu, je dobré materiál co nejrychleji zpracovat a svařit. Je také nutné průběžně proškolení seřizovače z technologických znalostí procesů svařování. Výsledky jsou použitelné jako základ pro další zkoumání, které ale přesahují rozsah bakalářské práce.

Seznam použité literatury.

- [1] ČSN EN 287-1 - *Svařování-Zkoušky svářečů. Tavné svařování. Část 1: Ocel.* Český normalizační institut 2006
- [2] ČSN EN 1011-3 - *Svařování-Doporučení pro svařování kovových materiálů.. Část 3: Obloukové svařování korozivzdorných ocelí.* Český normalizační institut 2002
- [3] ČSN EN ISO 6520-1, *Svařování a příbuzné procesy – Klasifikace geometrických vad kovových materiálů – Část 1: Tavné svařování*, Praha: Český normalizační institut, září 2000
- [4] ASM. Handbook vol. 6, *Welding, Brazing, Soldering.* ASM 2001.
- [5] Jaroslav Koukal, Tomáš Zmydlený *Svařování I.* Vyd. VŠB – TECHNICKÁ UNIVERZITA OSTRAVA: 2005, 136s. ISBN 80-248-0870-6.
- [6] HRIVŇÁK, I. *Teoria zvaritelnosti kovov a zliatin.* Veda 1989.
- [7] Euro Inox *Vlastnosti korozivzdorných ocelí.* Vyd. Euro Inox 2002, 28s. ISBN 2-87997-082-2.
- [8] *Wikipedia* [online].[cit.201-01-10]. Fyzika plazmatu. Dostupné z WWW: <www.wikipedia.cz>.
- [9] Euro Inox *Svařování korozivzdorných ocelí.* Vyd. Euro Inox 2002, 28s. ISBN 978-2-87997-177-3.
- [10] KUŘELKA, V a kol. autorů *Technická konference Hrotovice 2008 - Bezpečné výrobky a jejich provoz z aspektu systému řízení kvality a systému řízení výroby výrobních firem i provozovatelů dle požadavků technických norem a legislativních předpisů ČR a EU.* Vyd. TDS Brno – SMS, s.r.o: Březen 2008, 528s. ISBN 978-80-87102-00-8.
- [11] Fronius International GmbH. *Digitální svařovací zdroje.* 42,0426,0027,CS 012009
- [12] Fronius International GmbH. *Plazma modul 10.* 42,0410,1283 012006
- [13] Plasmatechnik Markus Colling GmbH. *Plasmový svařovací hořák PlaTo 100.* Vydání 2.11.2007.

- [14] ATLAS SPECIALTY METALS. *Technical Handbook of Stainless*. Vydání květen 2003. Dostupné z WWW: <www.atlasmetals.com.au>.
- [15] STAINLESS - stainless steels and their properties by Béla Leffler
- [16] Interní dokumentace Miele Technika Uničov.

Seznam příloh

Příloha A: Materiál s austenitickou strukturou.

Příloha B: Schafflerův diagram.

Příloha C: Specifikace postupu svařování (WPS).

Příloha D: Ovládací panel Trans tig 2600.

Příloha E: Plazmový svařovací hořák PlaTo.

Příloha F: Zatížitelnost a množství plazmového plynu pro plazmové trysky.

Příloha G: Typy svarových spojů pro svařování plazmou.

Příloha H: Klasifikace vad ve svarových spojích.

Příloha I: Typy vad plazmových spojů vysokolegované austenitické oceli.