

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

SWAŘOVÁNÍ TENKOSTĚNNÝCH TRUBEK

WELDING OF THIN-WALLED PIPE

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. DANIEL KELČA

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. JAROSLAV KUBÍČEK

BRNO 2010

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav strojírenské technologie

Akademický rok: 2009/2010

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

student(ka): Bc. Daniel Kelča

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

obor: **Výrobní technologie a průmyslový management (2303T010)**

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

Svařování tenkostěnných trubek

v anglickém jazyce:

Welding of thin-walled pipe

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Svařování tenkostěnných trubek lze realizovat různými způsoby. V práci je porovnání svařování plazmou a TIG metodou. Důraz je kladen na technickou i ekonomickou stránku procesů.

Cíle diplomové práce:

1. Rozbor současného stavu v daném oboru
2. Literární studie
3. Návrh experimentu a zkoušek
4. Provedení experimentu
5. Diskuze výsledků experimentu
6. Technicko-ekonomické hodnocení

Seznam odborné literatury:

1. DVOŘÁK, M. a kol. Technologie II, 2vyd. CERM Brno, 7/2004, 237s. ISBN 80-214-2683-7
2. BLAŠČÍK, F. a kol. Technológia tvárnenia, zlievárenstva a zvarovania, 1vyd. ALFA Bratislava 1988, 830s. ISBN 063-563-87
3. KOLEKTIV AUTORŮ. Materiály a jejich svařitelnost, 1vyd. Zeross, Ostrava 2001, 292s. ISBN 80-85771-85-3
4. KOLEKTIV AUTORŮ. Technologie svařování a zařízení, 1vyd. Zeross, Ostrava 2001, 395s. ISBN 80-85771-81-0
5. KOLEKTIV AUTORŮ. Navrhování a posuzování svařovaných konstrukcí a tlakových zařízení, 1vyd. Zeross, Ostrava 1999, 249s. ISBN 80-85771-70-5
6. KOLEKTIV AUTORŮ. Výroba a aplikované inženýrství ve svařování, 1vyd. Zeross, Ostrava 2000, 214s. ISBN 80-85771-72-1

Vedoucí diplomové práce: Ing. Jaroslav Kubíček

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2009/2010.

V Brně, dne 19.11.2009

L.S.

prof. Ing. Miroslav Píška, CSc.
Ředitel ústavu

prof. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc.
Děkan fakulty

LICENČNÍ SMLOUVA POSKYTOVANÁ K VÝKONU PRÁVA UŽÍT ŠKOLNÍ DÍLO

uzavřená mezi smluvními stranami:

1. Pan/paní

Jméno a příjmení: Bc. Daniel Kelča

Bytem: Horní Dunajovice 211, 671 34 Horní Dunajovice

Narozen/a (datum a místo): 4.3.1982, Znojmo

(dále jen „autor“)

a

2. Vysoké učení technické v Brně

Fakulta strojního inženýrství

se sídlem Technická 2896/2, 616 69 Brno

jejímž jménem jedná na základě písemného pověření děkanem fakulty:

prof. Ing. Miroslav PÍŠKA, CSc.

(dále jen „nabyvatel“)

Článek 1 Specifikace školního díla

1. Předmětem této smlouvy je vysokoškolská kvalifikační práce (VŠKP):

- disertační práce
 - diplomová práce
 - bakalářská práce
 - jiná práce, jejíž druh je specifikován jako
- (dále jen VŠKP nebo dílo)

Název VŠKP: Svařování tenkostěnných trubek

Vedoucí/ školitel VŠKP: Ing. Jaroslav Kubíček

Ústav: Ústav strojírenské technologie

Datum obhajoby VŠKP:

VŠKP odevzdal autor nabyvateli v*:

- tištěné formě – počet exemplářů 2
- elektronické formě – počet exemplářů 1

* hodící se zaškrtněte

2. Autor prohlašuje, že vytvořil samostatnou vlastní tvůrčí činností dílo shora popsané a specifikované. Autor dále prohlašuje, že při zpracovávání díla se sám nedostal do rozporu s autorským zákonem a předpisy souvisejícími a že je dílo dílem původním.
3. Dílo je chráněno jako dílo dle autorského zákona v platném znění.
4. Autor potvrzuje, že listinná a elektronická verze díla je identická.

Článek 2

Udělení licenčního oprávnění

1. Autor touto smlouvou poskytuje nabyvateli oprávnění (licenci) k výkonu práva uvedené dílo nevýdělečně užít, archivovat a zpřístupnit ke studijním, výukovým a výzkumným účelům včetně pořizování výpisů, opisů a rozmnoženin.
2. Licence je poskytována celosvětově, pro celou dobu trvání autorských a majetkových práv k dílu.
3. Autor souhlasí se zveřejněním díla v databázi přístupné v mezinárodní síti
 - ✓ ihned po uzavření této smlouvy
 - 1 rok po uzavření této smlouvy
 - 3 roky po uzavření této smlouvy
 - 5 let po uzavření této smlouvy
 - 10 let po uzavření této smlouvy(z důvodu utajení v něm obsažených informací)
4. Nevýdělečné zveřejňování díla nabyvatelem v souladu s ustanovením § 47b zákona č. 111/1998 Sb., v platném znění, nevyžaduje licenci a nabyvatel je k němu povinen a oprávněn ze zákona.

Článek 3

Závěrečná ustanovení

1. Smlouva je sepsána ve třech vyhotoveních s platností originálu, přičemž po jednom vyhotovení obdrží autor a nabyvatel, další vyhotovení je vloženo do VŠKP.
2. Vztahy mezi smluvními stranami vzniklé a neupravené touto smlouvou se řídí autorským zákonem, občanským zákoníkem, vysokoškolským zákonem, zákonem o archivnictví, v platném znění a popř. dalšími právními předpisy.
3. Licenční smlouva byla uzavřena na základě svobodné a pravé vůle smluvních stran, s plným porozuměním jejímu textu i důsledkům, nikoliv v tísní a za nápadně nevýhodných podmínek.
4. Licenční smlouva nabývá platnosti a účinnosti dnem jejího podpisu oběma smluvními stranami.

V Brně dne: 22.3.2010

.....
prof. Ing. Miroslav PÍŠKA, CSc.

.....
Autor

ABSTRAKT

KELČA Daniel: Svařování tenkostěnných trubek

Projekt vypracovaný v rámci inženýrského studia oboru M-VTM (Výrobní technologie a průmyslový management) porovnává v praxi svařování tenkostěnných trubek systému Cats. Porovnávány jsou metody svařování TIG (WIG) a mikroplazma. Navrženým základním materiálem je korozivzdorná feritická ocel X2CrMoTi18-2 (1.4521; AISI 444). Svařování probíhá nepřerušovaně a závisí na požadované délce tenkostěnné trubky. Z literární studie byly navrženy zkoušky svarů, které by nám měly pomoci, společně s ekonomickým hodnocením, při hodnocení obou metod.

Klíčová slova: Tenkostěnná trubka, metoda svařování TIG, metoda svařování mikroplazma, ocel X2CrMoTi18-2.

ABSTRACT

KELČA Daniel: Welding of thin-walled pipe

The project, elaborated during the engineering study, field of study M-VTM (Production technology and industrial management) deals with welding of thin-walled pipes Cats in practise. There are methods of WIG and microplasma welding compared. The suggested basic material is corrosion-resistant ferritic steel X2CrMoTi18-2 (1.4521; AISI 444). Welding runs continuously and depends on the demanded length of the thin-walled pipe. The tests of the weld were designed on the basis of a literary study. They should help us together with the economic evaluation to assess the two methods.

Key words: thin-walled pipe, TIG welding method, microplasma welding method, steel X2CrMoTi18-2.

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

KELČA, D. *Svařování tenkostěnných trubek*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2010. 76 s. Vedoucí diplomové práce Ing. Jaroslav Kubíček.

ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

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

V dne

.....

Podpis

PODĚKOVÁNÍ

Tímto děkuji panu Ing. Jaroslavu Kubíčkoví za cenné připomínky a rady týkající se zpracování diplomové práce a firmě AZ - Pokorný, s.r.o., která mi umožnila tuto diplomovou práci zrealizovat.

OBSAH

Zadání

Abstrakt

Bibliografická citace

Čestné prohlášení

Poděkování

Obsah

	Str.
1 ÚVOD	10
2 EXPERIMENTÁLNÍ CÍL PRÁCE	12
3 OBLOUKOVÉ SVAŘOVÁNÍ V OCHRANNÝCH PLYNECH	14
4 SVAŘOVÁNÍ METODOU TIG (WIG)	15
4.1 Princip	15
4.2 Svařování TIG stejnosměrným proudem	16
4.3 Svařování TIG střídavým proudem	18
4.4 Svařovací hořáky	19
4.5 Ochranné plyny	21
4.5.1 Chemické účinky ochranných plynů	22
4.5.2 Ochranné inertní plyny – Argon	22
4.5.3 Ochranné inertní plyny – Helium	23
4.5.4 Ochranné inertní plyny – směsi argonu a vodíku	23
4.6 Netavící se wolframové elektrody	23
4.7 Přídavné materiály	24
4.7.1 Návrh přídavných materiálů	24
4.8 Technika ručního svařování – TIG	25
4.9 Strojní svařování – TIG	25
4.10 Bezpečnost při svařování metodou TIG	26
4.11 Vady při svařování metodou TIG	27
5 PLAZMOVÉ SVAŘOVÁNÍ	28
5.1 Speciální metody tavného svařování	28

5.2	Plazmové svařování	28
5.3	Mikroplazmové svařování	30
6	VYSOKOLEGOVANÉ KOROZIVZDORNÉ OCELI	31
6.1	Struktura vysokolegovaných korozivzdorných ocelí	31
6.2	Svařování feritických korozivzdorných ocelí	33
6.2.1	Přídavné a pomocné materiály pro svařování	35
6.2.2	Důsledky svařování	35
6.3	Deformace a napětí při svařování	36
6.4	Vady svarových spojů	37
6.5	Čištění po svařování	37
6.6	Kontrola jakosti svarových spojů	38
6.6.1	Destruktivní zkoušky	38
6.6.2	Nedestruktivní zkoušky	38
7	KOROZE	39
7.1	Definice koroze	39
7.2	Rozdělení koroze	39
7.2.1	Chemická koroze	40
7.2.2	Elektrochemická koroze	40
7.3	Koroze typická pro korozivzdorné oceli	41
8	ŘEŠENÍ EXPERIMENTU	42
8.1	Analýza a rizika	44
8.2	Popis návrhu postupu experimentu	44
8.2.1	Formovací nástroje	44
8.2.2	Nástroj pro svařování (svařovací náhubek)	45
8.2.3	Výběr materiálu	47
8.2.4	Výroba nástrojů	48
8.3	Experimentální výroba tenkostěnné trubky systému Cats	49
8.3.1	Svařování vlnovcové trubky metodou TIG	49
8.3.2	Svařování vlnovcové trubky metodou mikroplazma	51
8.4	Zkoušky svarů	53

9	VÝSLEDKY ZKOUŠEK	56
9.1	Chemická kvantitativní analýza pásku	56
9.2	Vizuální kontrola	57
9.3	Zkouška těsnosti	59
9.4	Zkouška odolnosti proti mezikrystalové korozi	60
9.5	Zkouška tahem	60
9.6	Metalografické hodnocení	65
10	EKONOMICKÉ HODNOCENÍ	67
10.1	Výpočet nominálního časového fondu	67
10.2	Výpočet hodinové sazby výrobní linky	68
10.2.1	Výpočet hodinové sazby linky TIG	69
10.2.2	Výpočet hodinové sazby linky MP	69
10.3	Kalkulace výroby vlnovcové trubky	70
10.3.1	Kalkulace výroby vlnovcové trubky metodou TIG	70
10.3.2	Kalkulace výroby vlnovcové trubky metodou mikroplazma	71
11	HODNOCENÍ VÝSLEDKŮ EXPERIMENTU.....	72
12	ZÁVĚR	73

Seznam použitých zdrojů

Seznam použitých symbolů a zkratk

1 ÚVOD

Zaměřením a cílem tohoto projektu je ověření vlastností svarového spoje při změně materiálu korozivzdorných tenkostěnných trubek systému Cats. Tyto tenkostěnné vlnovcové trubky jsou svařovány metodami TIG a mikroplazma. Svařování probíhá na výrobních linkách dvou výrobců, každý výrobce použil odlišnou metodu svařování.

Místem experimentu a vypracování je firma AZ - Pokorny, s.r.o., můj současný zaměstnavatel. Tato firma sídlí na jihu Moravy, ca. 8 km jižně od jaderné elektrárny Dukovany. AZ - Pokorny je výrobcem vlnovcových trubek a hadic.

PŘEDSTAVENÍ FIRMY:

Název společnosti:	AZ – Pokorny, s.r.o.
Sídlo společnosti:	Čermákovice 20, 671 73 Tulešice, okres Znojmo
Právní forma:	Společnost s ručením omezeným
Datum vzniku:	30. 5. 1996
Počet zaměstnanců:	128 (ke dni 19. 4. 2010)

Společnost vznikla v roce 1993 pod názvem AZ - Pokorny, zaměřená na prodej průmyslových hadic a příslušenství. Po tříleté spolupráci s německou společností AZ Industrietechnik GmbH byla založena společná firma AZ - Pokorny, s.r.o., s vlastní výrobou plynových hadic.

Dnes je AZ - Pokorny, s.r.o. dynamicky se rozvíjející firmou s vlastním vývojovým pracovištěm. Hlavní nabídka představuje vlastní výrobu nerezových vlnovcových trubek systému Cats a nerezových vlnovcových hadic, které jsou použity pro vlastní produkty na rozvod zemního plynu, vody, solárních systémů nebo tepelných výměníků. Tyto výrobky našly odběratele nejen na tuzemském trhu, ale i v mnoha jiných zemích, kde je jejich použití schváleno národními zkušebními. Jsou to především trhy v Německu, Velké Británii, Rakousku, Holandsku, Itálii, Řecku, Slovensku, Ruské federaci a v mnoha jiných.

AZ – Pokorny, s.r.o. má vybudovaný systém jakosti v souladu s požadavky mezinárodní normy ISO 9001:2000.



Obr. 1.1 - logo firmy



Obr. 1.2 - firma

Vize každého podniku by měla být základní myšlenka, která ve stručnosti vyjadřuje, kde se chce organizace za určité časové období nalézat, její působení v prostředí tržní ekonomiky, vztah k zákazníkovi, životnímu prostředí atd.

Hlavním cílem firmy AZ – Pokorny, s.r.o. je spokojený zákazník. Firma chce být ve svém oboru spolehlivým, důvěryhodným a vyhledávaným partnerem, nejen na území ČR, ale i v ostatních zemích Evropy. Výsledkem snažení AZ – Pokorny, s.r.o. by mělo být udržení image solidní firmy, která je finančně stabilní, má velmi dobré vztahy s dodavateli a zákazníky, zákazníkovi poskytuje veškerý servis a aktivně se podílí na dění v obci a v regionu.

Pro uskutečnění vize je potřeba i realizovat. Proto firma chce vstoupit na trh s novou jakostí materiálu vlnovcové trubky systému Cats. Představa firmy je touto jakostí uspokojit zákazníky s levnější nabídkou kvalitního materiálu v oblasti solárního rozvodu, pitné vody a výměníků tepla.

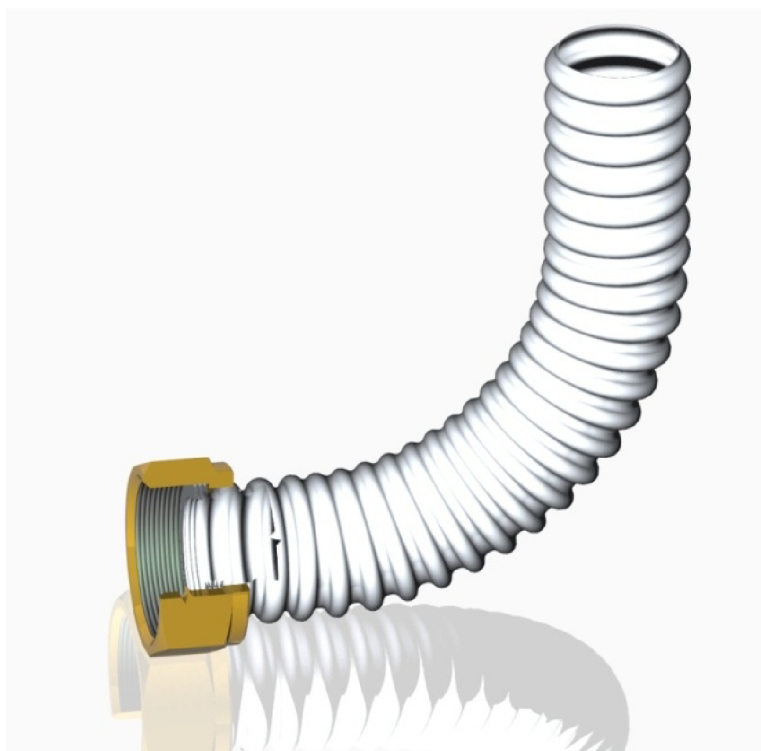
2 EXPERIMENTÁLNÍ CÍL PRÁCE

Tenkostěnná nerezová vlnovcová trubka systému Cats je určena pro vnitřní i venkovní rozvody plyných a kapalných médií, zejména připojování plynových spotřebičů, bojlerů, solárních a klimatizačních systémů, tepelných čerpadel a jiných.



Obr. 1.3 - Cats trubka - 3D-model

Trubky systému Cats se používají podobným způsobem a v podobných aplikacích jako jiné typy potrubí (měděné, ocelové, plastové, atd.). Výhoda u Cats trubky je paralelní zvlnění, které umožňuje snadné ohýbání trubek rukou a tím snadné přizpůsobení zapojení (trubka po ohybu drží tvar).



Obr. 1.4 - ohnutá trubka - 3D-model

Vysoce jakostní materiál trubek zaručuje trvanlivost a spolehlivost celého vedení včetně spojů, které lze snadno a rychle vytvořit kdekoli na místě montáže. Vedení z vlnovcové trubky lze ochránit proti mechanickému a chemickému poškození různými druhy izolací (PVC-povlaky, PE, PES, EPDM).

Materiálová jakost stávajících Cats trubek je vysokolegovaná austenitická ocel X5CrNi18-10 (AISI 304, 1.4301), X2CrNiMo17-12-2 (AISI 316L, 1.4404) a X6CrNiMoTi17-12-2 (AISI 316Ti, 1.4571). Trubky s těmito materiálovými jakostmi byly posouzeny z hlediska požadavků daných vyhláškou č. 409/2005 Sb., o hygienických požadavcích na výrobky přicházející do přímého styku s pitnou vodou.

Provozní podmínky:

- provozní teplota: -20°C až +250°C (+350°C) – záleží na druhu zakončení
- provozní tlak: až 16 bar – záleží na druhu zakončení a médiu
- Požární odolnost: splňuje požadavek ČSN EN 1775:2008 (650°C po dobu min. 30 minut)

Z výše uvedených pracovních podmínek je cílem experimentu ověření mechanických vlastností svarového spoje nově navrženého materiálu tenkostěnných trubek a navrhnout optimalizované podmínky svařování.

3 OBLOUKOVÉ SVAŘOVÁNÍ V OCHRANNÝCH PLYNECH [3]

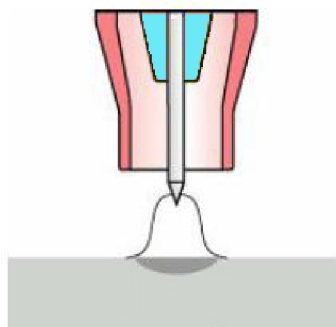
Svařování v ochranných plynech je hlavním impulsem rozvoje svařování. Růst objemu svařovaných konstrukcí vykazuje především metoda MIG/MAG, která nahrazuje ruční svařování obalenou elektrodou (svařování rozměrných hliníkových konstrukcí je doménou MIG svařování pulsním proudem). MIG/MAG metoda je také nejpoužívanější technologie aplikovaná na mechanizovaných a robotizovaných výrobních systémech. Při svařování trubkových systémů, hlavně tepelných a chemických zařízení, je nejpoužívanější technologií metoda TIG (WIG) – ruční svařování, nebo automatická verze orbitálního svařování.

Při obloukovém svařování v ochranných plynech hoří oblouk obklopen ochranným plynem, který chrání elektrodu, oblouk, odtavující se kapky přídavného materiálu a tavnou lázeň proti účinkům vzdušného kyslíku a dusíku. Jednotlivé technologie se rozlišují podle druhu elektrody a ochranného plynu.

4 SVAŘOVÁNÍ METODOU TIG (WIG)

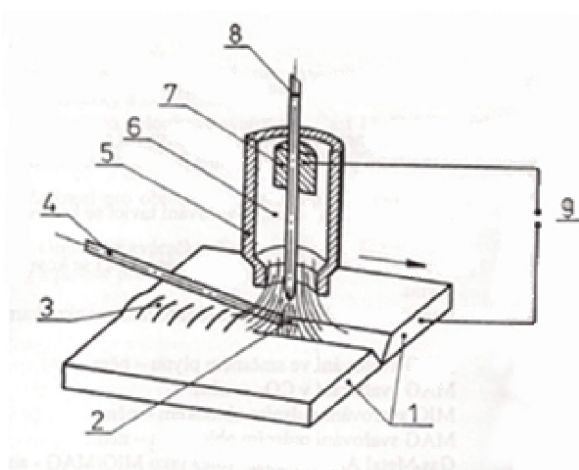
4.1 Princip ^[3]

U metody svařování TIG hoří oblouk mezi netavící se elektrodou a základním materiálem. Ochranou elektrody i tavné lázně před okolní atmosférou je netečný plyn o vysoké čistotě - minimálně 99,995%. Nejčastěji se používá argonu, hélia nebo jejich směsí. Svařování lze uskutečnit s přídavným materiálem ve formě drátu - ruční způsob, nebo s podavačem drátu - automatické svařování.



Obr. 4.1 - TIG (WIG) svařování ^[10]

TIG svařování lze obecně rozdělit dle druhu proudu na svařování střídavým proudem (Al, Mg) a svařování stejnosměrným proudem (středně a vysokolegovaná ocel, Cu, Ti, Ni a další). Metoda TIG se pro svařování uhlíkové oceli používá zřídka z důvodu nebezpečí vzniku pórů ve svaru a z hlediska ekonomického. Svařování TIG se používá i pro spojování obtížně svařitelných materiálů s vysokou afinitou ke kyslíku (např. titan a zirkon). Svařovací metoda TIG má vysoký stupeň automatizace a robotizace.



1. svařovaný materiál
2. elektrický oblouk
3. svar
4. přídavný materiál
5. plynová hubice
6. ochranný plyn
7. kontaktní kleštiny
8. wolframová elektroda
9. zdroj proudu

Obr. 4.2 – Princip svařování – TIG ^[3]

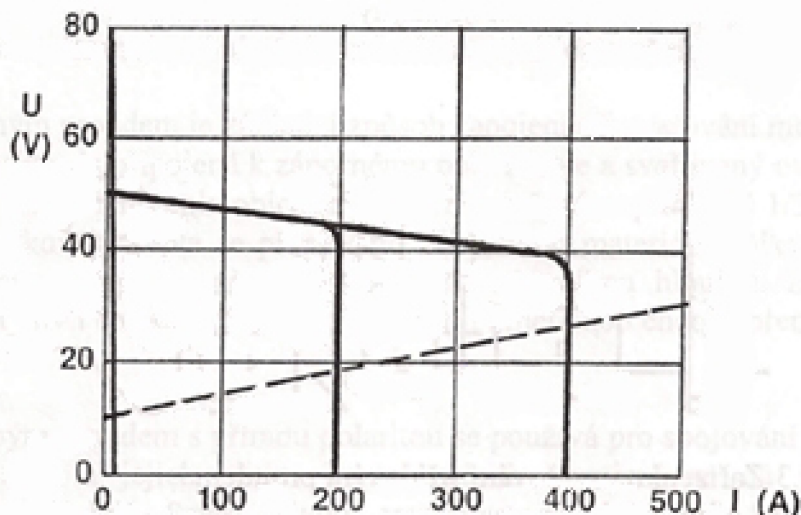
Svařování metodou TIG má proti jiným metodám tavného svařování tyto metalurgické a technologické výhody:

- a) inertní plyn zabezpečuje efektivní ochranu svarové lázně a přehřáté oblasti základního materiálu před účinky vzdušného kyslíku,
- b) inertní plyn zabraňuje propalu a tím i vzniku strusky → čistý povrch svaru,
- c) vytváří příznivé tvarování svarové housenky na straně povrchu i kořene svaru,
- d) tato metoda vykazuje elektrický oblouk vysoké stability v širokém rozsahu svařovacích proudů,
- e) je zajištěna vysoká operativnost při svařování v polohách,
- f) jednoduchá obsluha, přesná regulace parametrů svařování,
- g) vzniklé svary mají malou tepelně ovlivněnou oblast a minimální deformace,
- h) svarová lázeň této metody je viditelná a snadno ovladatelná,
- i) TIG metoda nám umožňuje velmi přesné dávkování vneseného množství tepla do svaru,
- j) svařovací oblouk je velmi flexibilní (jeho tvar i směr lze snadno ovládat magnetickým polem).

4.2 Svařování TIG stejnosměrným proudem ^[3]

Svařování stejnosměrným proudem je základním způsobem zapojení TIG metody. Rozdělení tepla oblouku je nerovnoměrné. Přibližně 1/3 tepla připadá na elektrodu a 2/3 celkového tepla je přeneseno do základního materiálu. Z tohoto důvodu není elektroda tepelně přetěžovaná a naopak svarová lázeň má velkou hloubku závaru.

Zdrojem stejnosměrného proudu je usměrňovač se sítovým transformátorem nebo inverter se strmou statickou charakteristikou. Napětí naprázdno je obvykle nižší než 75 V. Strmá charakteristika zdroje s vyznačenou standardní charakteristikou oblouku je na Obr. 4.3.



Obr. 4.3 – Voltampérová charakteristika zdroje pro TIG svařování ^[3]

Standardní pracovní přímka pro TIG metodu: $U = 10 + 0,04 \times I$ (4.1)

Základní sestava zařízení se stejnosměrným proudem:

- a) zdroj stejnosměrného proudu
- b) řídicí jednotka svařovacího obvodu
- c) zapalovací jednotka
- d) programátor
- e) svařovací hořák
- f) chladicí jednotka
- g) redukční ventil
- h) zásobník plynu

Řídicí jednotka obsahuje prvky k ovládní svařovacího procesu. Patří mezi ně: začátek a ukončení svařování, náběh proudu na začátku procesu a sestup proudu na konci procesu, řízení různých úrovní proudu při svařování složitých svarků s různou tloušťkou materiálu, tzv. minilogika, zapínání a přerušování proudu, pulzní jednotku.

Zapalovací jednotka zaručuje jiskrové bezzkratové zapálení oblouku pomocí vysokofrekvenčního vysokonapětového ionizátoru, nebo zkratem při velmi malém zapalovacím proudu, max. 6 A. Řídicím prvkem je automaticky zvyšován proud na svařovací hodnotu při oddalování elektrody.

Programátor zajišťuje v přímé návaznosti na řídicí jednotku nastavení předfuku a dofuku plynu, zapínání a regulaci okruhu chladicí vody, aktivuje činnost ionizátoru

a řídí veškerý pohyb hořáku při mechanizovaném způsobu svařování, popř. celé svařovací hlavy. V případě robotizovaného svařování je napojen přímo na řídicí systém robota.

Svařovací hořák zajišťuje vlastní svařovací proces (blíže popsán v kapitole 4.4).

Chladicí jednotka zabezpečuje cirkulaci chladicí vody v celém systému. Skládá se ze zásobníku chladicí vody, čerpadla s elektromotorem, ventilátoru na chlazení vody a propojovacích hadic včetně rychlospojek.

Zásobník ochranného plynu zajišťuje spolu s redukčním ventilem požadovaný trvalý tlak plynu s nastaveným průtokem. Nejběžnější jsou tlakové láhve o objemu 10, 40 nebo 50 l. Pro velký odběr inertního plynu jsou ekonomicky výhodné kapalné plyny v mobilních odpařovacích nádobách.

4.3 Svařování TIG střídavým proudem ^[3]

Zařízení na svařování střídavým proudem je v porovnání s předešlým typem složitější, i přes to, že většina komponentů je stejných. Starší zařízení se odlišují hlavně zdrojem. Dále pak jsou všechna zařízení doplněna o stabilizátor oblouku a baterie kondenzátorů.

Základní sestava zařízení se střídavým proudem:

- a) zdroj stejnosměrného proudu
- b) řídicí jednotka svařovacího obvodu
- c) stabilizátor oblouku
- d) zapalovací jednotka
- e) baterie kondenzátorů
- f) svařovací hořák
- g) chladicí jednotka
- h) redukční ventil
- i) zásobník plynu

Zdrojem střídavého proudu je nejčastěji svařovací transformátor upravený pro svařování metodou TIG pomocí výkonových elektronických prvků, které zvyšují strmost statické charakteristiky.

Stabilizátor při svařování střídavým proudem je velmi důležitým prvkem. Je zdrojem vysokonapěťových impulsů s vysokou frekvencí působící pouze v době, kdy svařovací proud má nulovou hodnotu a plní funkci pomocné zapalovací jednotky - ionizátoru. Běžný stabilizátor indukuje do svařovacího obvodu proud o napětí 2500 až 6000 V, o frekvenci 2 až 5 MHz.

Baterie kondenzátorů při svařování plní důležitou úlohu, hlavně při svařování hliníku a hliníkových slitin. Vyrovnává deformovaný sinusový průběh způsobený rozdílným ionizačním potenciálem wolframu a hliníku. Tím se zlepšuje čistící efekt svařovacího oblouku. Moderní svařovací zařízení mají obdélníkový průběh střídavého proudu a jsou vybaveny funkcí „balance“, která umožňuje rozšíření nebo zúžení kladné, případně záporné periody proudu. S touto funkcí je možno posílit buď při kladné periodě čistící efekt v případě zoxidovaného povrchu, nebo zvýraznit hloubku závaru při záporné periodě.

Nejnovější variantou TIG svařování je impulsní svařování, při kterém se intenzita proudu mění pravidelně s časem mezi dvěma proudovými hladinami a to základním proudem I_z a impulsním proudem I_p . Podle charakteru zdroje může být tvar průběhu impulsů proudu pravoúhlý, sinusový, lichoběžníkový nebo jiný.

Výhody impulsního svařování [3]:

- snížení tepelného ovlivnění materiálu a tím i menší deformace
- lepší celistvost, mechanické a plastické vlastnosti svarů
- velmi dobré formování a vzhled svarové housenky
- snížení náchylnosti svarů na vznik mezikrystalické koroze u vysokolegovaných ocelí
- výhodný průřez svaru
- možnost svařování plechů tloušťky 0,5 až 5 mm bez použití podložek
- široká oblast regulace svařovacího proudu

V současnosti je vyvinut i systém dvouimpulsového svařování (Dual Pulse), který nám zaručuje vysoce kvalitní svary v rozmezí tloušťky 0,1 až 6 mm.

4.4 Svařovací hořáky TIG [3]

Svařovací hořáky zabezpečují vlastní svařovací proces, a proto patří mezi nejzatíženější částí svařovacího zařízení. Svařovací hořák zajišťuje přívod

elektrického proudu k elektrodě, přívod a usměrnění ochranného plynu, fixování polohy wolframové elektrody, přívod a odvod chladicí vody.

Hořáky rozdělujeme:

- na chlazené procházejícím plynem do cca 150 A
- vodou chlazené hořáky do 350 až 500 A pro ruční, ale především strojní svařování.

Každý hořák má vyměnitelnou kleštinu, která nám zaručuje pevné upnutí a proudové napájení wolframových elektrod. Dbá se na pevné upnutí, které je důležité z hlediska snížení přechodového odporu mezi kleštinou a wolframovou elektrodou. Kleštiny jsou vtlačovány do kuželového otvoru pomocí ručně šroubované matice s krytem na elektrodu.

Další tepelně zatíženou částí svařovacího hořáku je plynová tryska, která má funkci usměrňování proudícího plynu do místa svařování. Trysky můžeme rozdělit na keramické a kovové. Keramické trysky se používají pro ruční hořáky, které jsou chlazené procházejícím plynem. Kovové, nejčastěji měděné a pochromované, jsou vhodné pro strojní hořáky chlazené vodou.

Jako kontrola správného množství plynu na ochranné plynové trysce se používají trubkové průtokoměry s kuličkou. Ochranný plyn musí dokonale zaručit ochranu proti účinkům okolní atmosféry, aby nedošlo ke kontaminaci svarové lázně kyslíkem nebo dusíkem a wolframová elektroda byla chráněna proti oxidaci.

Optimální průtok plynu je závislý na těchto parametrech ^[3]:

- druh svařovaného materiálu
- typ ochranného plynu
- hodnota proudu
- velikost plynové trysky
- úhel sklonu hořáku
- rychlost proudění okolního vzduchu
- typ spoje
- svařovací plocha

Dokonalé plynové prostředí nám pro zapálení oblouku zajišťuje u svařovacího zařízení funkce předfuk plynu. Zapálení oblouku je zpožděno proti začátku proudění

plynu o 2 – 5 sec. Ochlazení elektrody a svarového kovu na teplotu, kdy nehrozí oxidace, nám zajišťuje funkce dofuku plynu. Tato funkce zajišťuje proudění ochranného plynu 5 – 10 sec. po vypnutí proudu. V případě modrého nebo černého zabarvení elektrody je ochrana nedostatečná a proto je potřeba dobu proudění plynu prodloužit.

4.5 Ochranné plyny ^[3]

Úlohou ochranných plynů je hlavně zamezit přístupu vzduchu do oblasti svařování, tzn. především chránit elektrodu, oblouk i tavnou lázeň, její okolí a kořen svaru před účinky vzdušného kyslíku, který způsobuje oxidaci, naplynění, pórovitost a propal prvků. Ochranné plyny současně vytvářejí příznivé podmínky pro zapálení oblouku a jeho stabilitu, přenos tepla do svaru i jeho tvarování. Ochranné plyny mají také významný vliv na:

- typ přenosu kovu v oblouku,
- přenos tepelné energie do svaru,
- chování tavné lázně,
- hloubku závaru,
- rychlost svařování a další parametry svařování.

Ochranný plyn svým složením a množstvím ovlivňuje tyto charakteristiky svařování:

- vytvoření ionizovaného prostředí pro dobrý start a hoření oblouku
- metalurgické děje v době tvoření kapky, při přenosu kapky obloukem a ve svarové lázni
- síly působící v oblouku
- tvar a rozměry oblouku
- charakter přenosu kovu v oblouku, tvar a rozměry kapek a rychlost jejich přenášení obloukem
- tvar a rozměry průřezu svaru
- hladkost povrchu svaru a jeho přechod na základní materiál
- kvalitu, celistvost a mechanické vlastnosti svarového spoje

V současnosti se používají na ochranu oblouku jednosložkové nebo vícesložkové plyny. Podle charakteru se ochranné plyny projevují neutrálním, oxidačním nebo nauhličujícím vlivem na svarovou lázeň. Při volbě ochranného plynu spolurozhodují technické a ekonomické ukazatele. Dříve se používaly jednosložkové plyny, především ekonomicky výhodný CO_2 , ale v současnosti jsou velmi rozšířené směsi argonu s oxidem uhličitým nebo kyslíkem. Ochranné plyny jsou rozděleny podle chemického účinku na svarový kov na několik skupin - inertní, redukční, oxidační a nereagující.

4.5.1 Chemické účinky ochranných plynů ^[3]

Inertní plyny skupiny „I“: argon, helium a jejich směsi chemicky nereagují se svarovou lázní a propal prvků ve svarovém kovu je minimální. Nemají tedy vliv na výsledné chemické složení svarového kovu. Inertní, případně nereagující plyny používáme pro svařování metodou TIG všech svařitelných materiálů a metodu MIG pro slitiny hliníku, mědi, niklu aj.

4.5.2 Ochranné inertní plyny - Argon ^[3]

Argon (Ar) je jednoatomový plyn, bezbarvý, bez chuti a zápachu, je inertní a se žádným prvkem nevytváří chemické sloučeniny. Je vyroben destilací zkapalněného vzduchu, kde teplota varu argonu při atmosférickém tlaku je $185,8\text{ }^\circ\text{C}$. Ve vzduchu je 0,934 % argonu. Argon má malou tepelnou vodivost a relativně nízký ionizační potenciál 15,8 eV. Z těchto důvodů se oblouk v argonu dobře zapaluje, má vysokou stabilitu i při relativně velké délce. Umožňuje vysokou proudovou zatížitelnost a sloupec oblouku dosahuje vysokých teplot.

Hustota argonu je $1,784\text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ je tedy asi 1,4 krát těžší než vzduch, a to přispívá k efektivnosti a velmi dobré schopnosti plynové ochrany. Má nízkou citlivost na proudění vzduchu.

Dnes vyráběná a běžně nabízená čistota plynu je 99,995 %. Materiály s vysokou afinitou ke kyslíku jako je titan, tantal a zirkon ovšem vyžadují ochranu plynem vyšší čistoty → 99,998 %, nebo 99,999 %.

Ochranu argonu lze použít pro všechny svařitelné materiály a jeho použití je nejběžnější i z cenových důvodů.

4.5.3 Ochranné inertní plyny - Helium ^[3]

Helium (He) je jednoatomový inertní plyn, bez barvy a zápachu. Je vyroben separací z některých druhů zemního plynu, kde je výskyt He v množství kolem 1 %. Hélium je velmi lehký plyn o hustotě 0,178 kg.m³, toto snižuje efektivitu plynové ochrany a vyžaduje pro dokonalou ochranu svaru vyšší průtok plynu. Helium se vyrábí s velmi vysokou čistotou s min. hodnotou 99,996 % a s limitovaným obsahem nečistot kyslíku, dusíku a vodní páry od 5 do 20 ppm.

Helium má podstatně vyšší tepelnou vodivost než argon. Helium má ionizační potenciál 24,6 eV, hodnota je také vyšší než u argonu a proto se oblouk špatně zapaluje a je nestabilní při větší délce hoření.

V heliu je napětí na oblouku značně vyšší než v argonu. Kvůli vysoké tepelné vodivosti je přenos tepla v oblouku velmi vysoký, a proto se směsi s heliem využívají při svařování materiálů s vysokou tepelnou vodivostí větších tloušťek, hlavně hliníku a mědi včetně jejich slitin. Použitím helia ve směsi s argonem je zvýšena hloubka závaru a zvýší se rychlost svařování. Svařování v čistém heliu vyžaduje zdroje s vysokým napětím naprázdno (až 100 V) a zapalování oblouku se provádí v ochraně plynu - argonu. Helium je vhodné taky pro mechanizované způsoby svařování.

4.5.4 Ochranné inertní plyny – směsi argonu a vodíku ^[3]

Při svařování ve směsi argonu s vodíkem se zlepšuje, díky velmi vysoké tepelné vodivosti, energetická bilance oblouku. Přídavkem 5 - 10 % vodíku se zlepšuje také čistota povrchu svaru díky redukci oxidů. Podílem až 10 % vodíku se zlepšuje nejen tvar a hloubka závaru, ale i rychlost svařování o 30 - 50 %.

Směs s vodíkem se nesmí použít pro svařování martenzitických i feritických CrNi ocelí. Tato směs způsobuje u těchto ocelí praskavost za studena.

4.6 Netavící se wolframové elektrody ^[3]

Netavící se elektrody používající se při svařování TIG jsou vyráběny ze spékaného wolframu. Teplota tavení 3380 °C, teplota varu 5700 °C, měrný elektrický odpor 5,36*10⁻⁸ ohmů a hustotu 19,1 g*cm⁻³.

Elektrody jsou vyráběny bez příměsí o čistotě 99,9 % W, nebo legované oxidy kovů - thoria (Th), lanthanu (La), ceru (Ce), zirkonu (Zr) nebo yttria (Y), které jsou v elektrodě rovnoměrně rozptýleny. Přísada oxidů snižuje teplotu ohřevu elektrody o 1000 °C, zvyšuje životnost, zlepšuje se zapalování oblouku a jeho stabilitu díky zvýšené emisi elektronů.

4.7 Přídavné materiály ^[3]

Přídavné materiály plní při svařování metodou TIG několik funkcí:

- doplnit objem svarového kovu a vytvořit svar požadovaného tvaru a průřezu
- legovat svarový kov přísadami zlepšující užité vlastnosti svaru
- dodat do svarového kovu přísady zajišťující desoxidaci, odplynění a příznivě ovlivňují metalurgické děje ve svarovém kovu
- zlepšit formování svaru, smáčení svarových ploch a operativnost při svařování v polohách

Přídavné materiály se rozdělují na svařovací tyčky (pro ruční svařování) a svařovací dráty (pro strojní metody).

4.7.1 Návrh přídavných materiálů ^[3]

Přídavné materiály se navrhují podle těchto zásad:

- a) chemické složení přídavných materiálů má být stejné nebo podobné jako základní materiál
- b) pro dynamicky zatížené konstrukce z oceli je nutno volit přídavné materiály, svarový kov s lepšími mechanickými vlastnostmi než základní materiál
- c) pro svařování materiálů s citlivostí na horké trhliny je nutno použít přídavné materiály snižující tuto praskavost
- d) na svařování materiálů s vysokou odolností proti korozi je třeba použít přídavné materiály stejného chemického složení a stejné čistoty jako základní materiál

- e) pro svařování nerezavějících ocelí stabilizovaných titanem je nutno použít přídatné materiály stabilizované niobem z důvodu nižšího propalu při průchodu elektrickým obloukem.

4.8 Technika ručního svařování - TIG

Ruční svařování metodou TIG se používá především pro spojování vysokolegovaných ocelí a pro velké skupiny neželezných kovů. Má své nenahraditelné místo při svařování složitých prostorových konstrukcí, v kusové a malosériové výrobě a tam, kde je potřeba svar s velmi dobrými vlastnostmi, výborným povrchem a vysokou čistotou.

Technika ručního svařování charakterizuje polohu, pohyb svařovacího hořáku a přídatného materiálu vzhledem ke svarové lázni. Technika svařování metody TIG je podobná metodě svařování plamenem, kde místo tepla plamene se materiál taví teplem oblouku, ale pohyb hořáku a přídatného materiálu je klidnější. Při svařování je důležité, aby přídatný drát při svém pohybu zůstal v oblasti ochranného plynu a nebyl kontaminován vzduchem. Při kontaminaci hrozí nebezpečí oxidace ohřátého konce a zanesení oxidů do svarové lázně.

4.9 Strojní svařování TIG ^[3]

Ve srovnání s ručním svařováním se mechanizované a robotizované svařování metody TIG vyznačuje lepší ekonomičností a kvalitou svarů.

Cílem strojního svařování je:

- zvýšení kvality a užitných vlastností svarového spoje s vyloučením vlivu manuálního vedení hořáku - kolísání délky oblouku, nepřesnosti vedení hořáku ve svarovém úkosu, kolísání rychlosti svařování, nedostatky plynové ochrany atd.
- zlepšení hospodárnosti procesu úsporou plynu a přídatných materiálů
- snížení podílu lidské práce při nedostatku kvalifikovaných svářečů
- zlepšení produktivity svařování zvýšením rychlosti a využitím vysokovýkonných variant svařování (např. metoda horkého drátu nebo vícehořákové svařování)

- rozšíření okruhu aplikací o svařování těžkosvařitelných kovů

Strojní svařování TIG má významné zastoupení v oblasti svařování trubek a kombinace trubka - trubkovnice při výrobě tepelných výměníků, kde kromě ručního svařování se používá tzv. orbitálního způsobu svařování TIG.

4.10 Bezpečnost při svařování metodou TIG ^[3]

Při svařování metodou TIG jako i všeobecně vznikají různé druhy nebezpečí. U svařování metodou TIG je nutno upozornit na velmi intenzivní UV záření vycházející z relativně dlouhého a stabilně hořícího oblouku, který není cloněn, např. struskou z obalu. Důsledné zakrytí všech částí těla je nutnou podmínkou ochrany zdraví při svařování.

Při svařování, hlavně nerezavějících ocelí v argonu je zvýšené nebezpečí vzniku ozónu. Relativně nejméně ozónu vzniká při svařování hliníku v argonu střídavým proudem. Množství ozónu můžeme snížit přidáním oxidu dusnatého (NO), který se intenzivně slučuje s ozónem na oxid dusičitý.

4.11 Vady při svařování metodou TIG

Tab. 4.1 - vady při svařování TIG ^[3]

NÁZEV VADY	PŘÍČINA
Póry a bubliny ve sváru, oxidické vměstky.	Nečistý ochranný plyn, znečištěný materiál, nedostatečná plynová ochrana, nesprávný postup svařování.
Vměstky ve svarovém kovu.	Nelegování elektrody od přídavného materiálu.
Neprůvary v kořenu svaru.	Velká rychlost svařování, malá intenzita proudu, nevyhovující příprava svařovacích ploch.
Vruby ve svarovém spoji.	Velké množství argonu, velká intenzita proudu, přehřátý materiál.
Studený spoj.	Velká rychlost svařování, velký průměr přídavného materiálu, nízký proud, nevhodná příprava ploch.
Nečistý povrch svaru.	Nečistý ochranný plyn, nelegovaná elektroda, nedostatečná ochrana, nečistoty na povrchu materiálu, nestabilní oblouk.
Protečený kořen svaru (krápník).	Velký svařovací proud, pomalá rychlost svařování, velká mezera mezi svařovanými materiály.
Vydutý kořen sváru.	Velký průtok formovacího plynu.
Vyosení sváru.	Předcházející vrstva nesprávně uložena, ztráta orientace.
Nadměrné převýšení svaru.	Malá rychlost svařování, velký průměr přídavného materiálu, nízký svařovací proud.

5 PLAZMOVÉ SVAŘOVÁNÍ ^[3]

5.1 Speciální metody tavného svařování ^[3]

V oblasti tavného svařování jsou obsaženy metody s vysokou koncentrací tepelné energie na jednotku plochy. Patří mezi ně:

- svařování plazmou
- svařování svazkem elektronů
- svařování laserem.

Podstatou těchto metod je snížení spotřeby tepelné energie na jednotkovou délku svaru, kterého se dosahuje vysokou hustotou energie v dopadové ploše.

Uvedené metody jsou zejména vhodné v průmyslových odvětvích (např. klasická a jaderná technika, dopravní technika, elektrotechnika, měřicí a přístrojová technika, letecký a kosmický průmysl, kde se objevují obtížně svařitelné spoje, materiály různorodé nebo s různou tloušťkou).

Hlavní výhody uvedených metod jsou ^[3]:

- vysoká rychlost ohřevu i svařování (to omezuje difúzi tepla do okolí svaru a tím i transformační rozsah změn v materiálu).
- zmenšení šířky TOO a snížení zbytkových napětí a deformací je důsledek vzrůstající hustoty výkonu v dopadové ploše a klesajícího množství vneseného tepla do svaru.

5.2 Plazmové svařování ^[3]

Plazma je někdy označována jako čtvrtý stav hmoty. V roce 1923 zavedl I. Langmuir fyzikální pojem plazma pro speciální stav plynů. Ke vzniku plazmy je nutná ionizace plynu. Při ionizaci plynu dochází k uvolnění nebo k vyražení elektronů z vnějších valenčních orbitů atomů. Tyto uvolněné elektrony mají záporný náboj a jsou v plazmě vodiči elektrického proudu. Ionizované jádro atomu má se zbývajícími elektrony kladný náboj, proto je plazma navenek elektricky neutrální. Pro ionizaci plynů je potřeba značná energie, která je často dodávána elektrickým obloukem. Tudíž princip svařování plazmou je založen na ionizaci plynu při průchodu elektrickým obloukem.

U dvouatomových plynů (dusík, vodík a kyslík) musí nejdříve proběhnout disociace plynu = rozložení molekul plynu na atomy.

Při plazmovém svařování se obecně používají 3 druhy plynů [3]:

- plazmový: Ar, Ar + H₂, Ar + He, s průtoky 0,5 - 9,0 l/min.
- fokusační pro zúžení plazmového paprsku, s průtoky 3 - 18 l/min.
- ochranný plyn pro ochranu svarové lázně proti oxidaci, s průtoky 2 - 20 l/min, u aktivních materiálů Ti, Zr, Ta s průtoky 20 - 30 l/min.

Průměrné teploty plazmy dle použitého prostředí:

- dusíková plazma do 9 000 K
- vodíková plazma 10 000 K
- argonová plazma 16 000 K
- heliová plazma 20 000 K
- plazma stabilizovaná vodou až 35 000 K

Plazmové svařování je odvozeno od svařování metodou TIG (WIG). U plazmového svařování je keramická hubice nahrazena kovovou tryskou, která je chlazená vodou nebo plynem. Existuje dvojí zapojení hořáku:

- a) závislé zapojení (přenesený oblouk) - záporný pól je připojen na wolframovou elektrodu a kladný pól na materiál. Zapojení se používá zejména u svařování, navařování a řezání.
- b) nezávislé zapojení (nepřenesený oblouk) - připojení pólů zdroje pouze na elektrodu a kovovou trysku. Používá se hlavně u žárových nástřiků nebo povrchového kalení.

Tvar plazmového hořáku - pro kontrakci plazmového paprsku má hořák zúženou výstupní trysku.

Svařitelnost materiálů i parametry plazmového svařování jsou podobné jako u metody TIG (WIG). Plazmové svařování oproti TIG dosahuje vyšších svařovacích rychlostí, má výhodnější poměr šířky k hloubce (1:1,5 - 1:2,5) a spolehlivé provaření kořene.

Materiály náchylné na přehřátí se svařují s použitím impulsního proudu.

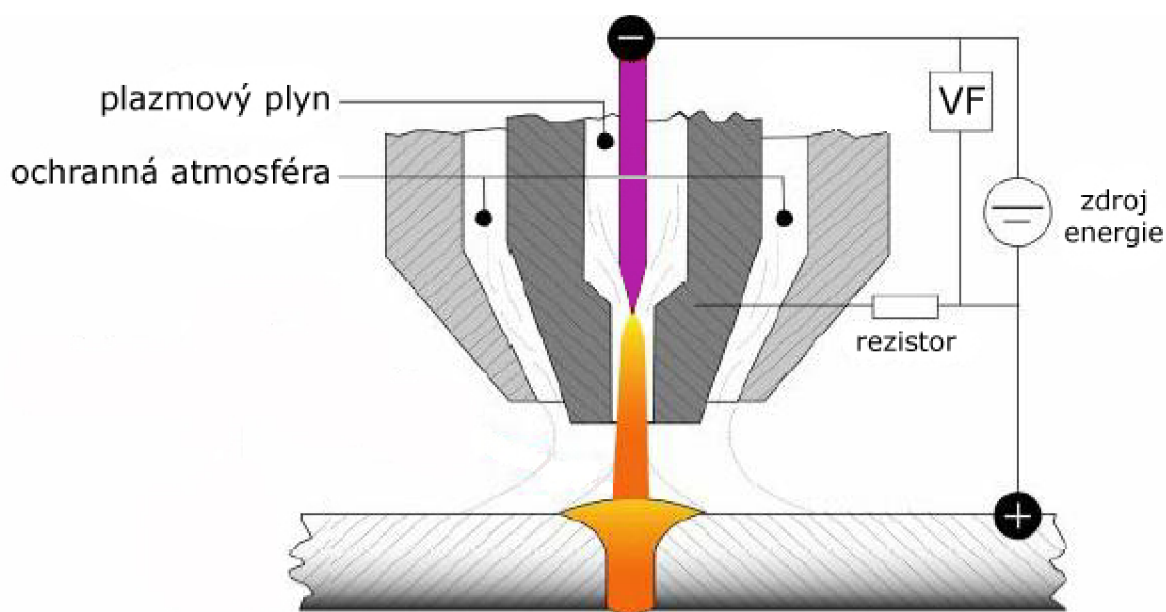
Mezi výhody plazmového svařování patří např. [3]:

- velmi dobrý průvar i tvar svaru
- jednoduchá úprava svarových ploch
- vysoká čistota svaru bez pórů a bublin
- dobré mechanické vlastnosti svarového spoje
- možnost svařování střídavým a impulsním proudem

5.3 Mikroplazmové svařování [3]

Mikroplazmové svařování je druh plazmového svařování, který se používá při svařování materiálů tenkých tlouštěk. U mikroplazmového svařování je totiž vysoká stabilita hoření plazmového oblouku i při nízkých proudech, kdy intenzita proudu se pohybuje v rozsahu 0,05 - 20 A.

Velkým problémem u tohoto svařování je příprava svarové mezery při spojování tenkých materiálů (fólií). Mezera se má pohybovat mezi 10 - 20 % tloušťky materiálu (fólie).



Obr. 5.1 - svařování mikroplazmou [10]

6 VYSOKOLEGOVANÉ KOROZIVZDORNÉ OCELI ^[2]

Vysokolegované korozivzdorné oceli obsahují více než 10% hm. % celkového obsahu legur a podle ČSN jsou zařazeny do třídy 17.

Důvody výroby:

- zlepšení korozních vlastností
- zlepšení žáruvzdorných vlastností
- zlepšení žárovevých vlastností
- dosažení zvláštních elektrických nebo magnetických vlastností
- zvýšení odolnosti proti opotřebení
- zlepšení vlastností za nízkých teplot

Mezi korozivzdorné oceli se řadí oceli schopné pasivace, které odolávají elektrochemické korozi v oxidačním prostředí. Nutnou podmínku pro schopnost pasivace je obsah chromu v tuhém roztoku nad 12 hm. %, v závislosti na obsahu uhlíku. Žáruvzdorné oceli odolávají oxidaci a chemické korozi v plynech při teplotách nad 600 °C. Jsou legovány Cr, Si a Al. Tyto legury vytvářejí na povrchu oceli při vyšších teplotách stabilní vrstvu oxidů odolnou proti opalu. Žárupevné oceli odolávají creepu při vyšších teplotách = vyznačují se vysokými hodnotami meze pevnosti při tečení. Legury žárovevých ocelí jsou Cr, V, Mo, W, Nb, Ti, B a N. Tyto legury zpomalují degradaci mechanických vlastností při zvýšených teplotách a výrazně precipitačně zpevňují tuhý roztok disperzními precipitáty.

Hlavní legury je možno rozdělit na dvě skupiny:

- 1) Feritotvorné - zužují v rovnovážném diagramu oblast γ (Cr, Mo, Si, Al, W, Ti, Nb, V).
- 2) Austenitotvorné - rozšiřují v rovnovážném diagramu oblast γ (C, Ni, Cu, Mn, N)

6.1 Struktura vysokolegovaných korozivzdorných ocelí ^[2]

Struktura vysokolegovaných korozivzdorných ocelí závisí na jejich chemickém složení. Základní informaci o možných strukturách chromových ocelí poskytuje rovnovážný diagram železo - chrom.

Chrom je feritotvorný prvek stabilizující fázi α a zmenšuje oblast γ (diagram železo - chrom). Slitina prodělává transformaci α - γ - α do obsahu chrómu ca. 13 hm. %. Nad obsahem 13 hm. % chrómu je oblast feritu a při ohřevu nad 900 °C bude mít tato jednofázová slitina hrubé zrna a slitina křehne. Regenerace rekrystalizací není možná.

Dolegováním niklu do chromových ocelí se dosahuje větší korozní odolnosti a větší houževnatosti ocelí. Austenit se vyznačuje vyšší rozpustností uhlíku v porovnání s feritem a má lepší plastické vlastnosti než ferit. Vyšší rozpustnost uhlíku v austenitu snižuje nebezpečí precipitace karbidů chrómu.

Vliv všech feritotvorných prvků je vyjádřen tzv. ekvivalentem chromu Cr_E . Vliv všech austenitotvorných prvků tzv. ekvivalent niklu Ni_E . Na základě ekvivalentu chromu a niklu byly zkonstruovány konstituční diagramy, podle kterých se odhadují výsledné struktury Cr - Ni austenitických ocelí -> Schaefferův diagram a De Longův diagram.

Schaefferův diagram je možné použít k odhadům výsledné mikrostruktury Cr - Ni austenitických ocelí s nízkým obsahem dusíku (např. pro oceli typu ASTM 316). De Longův diagram upřesňuje Schaefferův diagram. Do Ni_E De Long zařadil i dusík s koeficientem 30. S dostatečnou přesností určuje mikrostrukturu Cr - Ni austenitických ocelí s obsahem feritu 0 - 15 %. Není vhodné ho použít pro ocel s vysokým obsahem manganu.

Schaefferův ani De Longův diagram není možné použít k odhadům mikrostruktury Cr - Ni ocelí s vyšším podílem feritu ve struktuře. Pro tento účel byl zkonstruován WRC - 1992 diagram, který se od předešlých liší změnou výpočtů chromového a niklového ekvivalentu. Dále diagram WRC -1992 vyjadřuje náchylnost na vznik krystalizačních teplých trhlin v závislosti na způsobu krystalizace.

Všechny uvedené diagramy je možno použít k odhadům obsahu austenitu a feritu jak v základním materiálu, tak i ve svarových kovech. Při odhadech obsahu feritu ve svarovém kovu je nutné počítat se stupněm promísení svarového kovu nataveného z přídatného materiálu se základním svařovaným materiálem, který je závislý na použité technologii a parametrech svařování.

martenzitu se nazývá poloferitická. Podrobné informace a složení se dají získat od dodavatele nebo přímo výrobce oceli.

U klasických feritických ocelí může vzniknout v tepelně ovlivněné oblasti (TOO) svarového spoje martenzit, zatím co základní materiál neovlivněný svařováním je čistě feritický. Feritické chromové oceli klasického typu svařujeme s předeřevem. Úkolem předeřevu je snížit rychlost ochlazování ve svarovém kovu a v TOO.

V pásmu přehřátí TOO při teplotách nad 900 °C můžeme očekávat zhrubnutí zrna, které také způsobí zkřehnutí tohoto pásma. Proto je nutno svařovat s limitovaným tepelným příkonem do svaru (např.: vyšší rychlost svařování, malá svarová lázeň). Další mechanismy způsobující zkřehnutí svarových spojů feritických ocelí je zkřehnutí 475 a vznik σ -fáze. Zkřehnutí 475 je způsobeno precipitačními procesy probíhajícími v rozmezí teplot 450 - 525 °C. Při svařování malých tlouštěk materiálu je doba setrvání na kritické hodnotě velmi krátká a zkřehnutí typu 475 se prakticky neuplatní. Zkřehnutí daného typu je spojené i s následnou ztrátou tažnosti. Odstranit ho lze ohřevem na ca. 540 °C s následným prudkým ochlazením na pokojovou teplotu. Dalším problémem, který se musí řešit při svařování klasických feritických ocelí s obsahem chrómu v tuhém roztoku větším než 13hm.% je možnost vzniku interkrystalické koroze (MKK).

U stabilizovaných feritických korozivzdorných ocelí je růst zrna méně znatelný a nejméně znatelný je u poloferitických korozivzdorných ocelí. Míra růstu zrn je závislá na nejvyšší teplotě, době výdrže při dané teplotě a na počtu svarových housenek při svařování. Z toho důvodu jsou svařené díly z plně feritických korozivzdorných ocelí schopné požadované služby pouze v případě malých tlouštěk stěn (ca. max. 2,5 mm).

Poloforitické korozivzdorné oceli v porovnání s plně feritickými vykazují sváry v tlustostěnných případech vyšší houževnatost. Karbidy chromu i přes rychlé ochlazení z teploty svařování precipitují v základním materiálu i v odpovídajícím svarovém kovu. Tyto precipitáty snižují tažnost a odolnost vůči mezikrystalické korozi místním ochuzením o chróm. Tomuto ochuzení lze předejít, pokud má základní materiál a odpovídající svarový kov velmi nízký obsah uhlíku nebo když je stabilizován titanem, niobem/tantalem nebo zirkonem.

Feritické korozivzdorné oceli lze svařovat těmito způsoby:

- ručním obloukovým svařováním
- obloukovým svařováním tavící se elektrodou v inertním plynu (MIG)
- obloukovým svařováním tavící se elektrodou v aktivním plynu (MAG)
- obloukovým svařováním wolframovou elektrodou v inertním plynu (WIG/TIG)
- plazmovým svařováním
- jiné metody svařování lze použít po dohodě

Během svařování by mělo být nasycení uhlíkem a dusíkem co nejnižší (např. udržení krátkého oblouku, zajištěním čistoty v oblasti svaru).

6.2.1 Přídavné a pomocné materiály pro svařování

S ohledem na korozní odolnost nemá být obsah chrómu ve svarovém kovu menší než v základním materiálu. Přednost se dává austenitickým svařovacím materiálům z důvodu k vyšší tažnosti austenitického svarového kovu. Ovšem pokud existuje během provozu nebezpečí nasycení sírou, měla by být vrstva, která je v kontaktu s tímto prostředím, svařená pomocí feritických korozivzdorných nebo feriticko-austenitických korozivzdorných svařovacích materiálů. Dále se feritické korozivzdorné svařovací materiály volí v případě požadavků na podobné barvy povrchu svaru, podobnou tepelnou roztažnost nebo jsou-li požadovány svary bez přítomnosti niklu.

Při použití metody TIG (WIG) lze provést svar s přídavným materiálem i bez něho.

Jako ochranné plyny by měli být použity směsi na bázi argonu a směsi neobsahující CO₂, vodík, dusík.

6.2.2 Důsledky svařování

Při teplotách nad 900 °C v pásmu přehřátí TOO můžeme očekávat zhrubnutí zrna, které způsobí zkřehnutí tohoto pásma. Proto je nutno svařovat s limitovaným tepelným příkonem do svaru (např.: vyšší rychlost svařování, malá svarová lázeň).

Mechanické vlastnosti - mez kluzu a pevnost v tahu svarového kovu musí odpovídat požadavkům na základní materiál.

Deformace - feritické korozivzdorné oceli mají v porovnání s austenitickou korozivzdornou ocelí vyšší tepelnou vodivost a nižší součinitel tepelné roztažnosti.

Trhliny - feritické korozivzdorné oceli nejsou obvykle náchylné na teplé trhliny.

V opačném případě může být svařenec náchylný na:

- a) studené trhliny (způsobené nízkou houževnatostí)
- b) vodíkové zkřehnutí (mělo by se předejít) => obsah vodíku by měl být co nejmenší.

Korozní odolnost - feritické korozivzdorné oceli jsou náchylné na mezikrystalovou korozi (pokud jim není zamezeno stabilizací, ochuzení o chróm extrémně nízkými obsahy uhlíku a dusíku, nebo žiháním při teplotách 750 °C až 800 °C.

Tepelné zpracování po svařování - žihání po svařování v rozsahu teplot 700 °C až 800 °C všeobecně zlepšuje tažnost a snižuje zbytková napětí. Žihání také obnoví, jak už bylo dříve zmíněno, odolnost proti mezikrystalové korozi nestabilizovaných feritických ocelí.

Pro obnovení korozní odolnosti svařenců je nutné odstranit jakékoliv povrchové nečistoty, které vznikly během svařování = čištění po svařování.

6.3 Deformace a napětí při svařování ^[5]

Svařovací proces lze charakterizovat jako teplotní a deformační účinek na základní materiál. Svarové spoje obecně vznikají bez působení vnějších tlakových sil, nebo za působení vnější tlakové síly.

Deformace a napětí při svařování jsou vyvolány přívodem energie do místa vytváření svarového spoje a sdílením tepla do okolního základního materiálu. Deformace a napětí vznikají ve fázi ohřevu i ochlazování svařovaného materiálu. Svarové deformace a napětí vznikají vždy u každého procesu svařování a jejich vzniku nelze zabránit. Pouze pomocí konstrukčních a technologických zásahů je můžeme účinně ovlivňovat.

Napětí vzniklé během svařovacího procesu mohou být limitujícím faktorem z hlediska svařitelnosti, protože jsou jednou ze základních příčin vzniku necelistvostí ve svarových spojích.

6.4 Vady svarových spojů [4, 6]

Vady svarových spojů se podle polohy dělí na vnitřní a vnější.

Základní druhy vad: trhliny, vměstky, póry, bubliny, studený spoj, neprovařený kořen, přesazený kořen, vruby, zápaly.

Přípustnost vad ve výrobcích je obecně stanovena druhem, velikostí a četností vyskytujících se vad v závislosti na typu výrobku (svaru) nebo konstrukce a způsobu jejich namáhání. Pro bezpečnost svaru je rozhodující vada, u které existuje nebezpečí vývinu trhliny při zatěžování svaru. Přípustnost vad stanovuje konstruktér (projektant) výrobku.

6.5 Čištění po svařování [7]

Korozní odolnost svařených dílů (svařenců) z korozivzdorných ocelí je značně ovlivněna stavem jejich povrchu. Stupeň čištění po svařování je závislé na požadavcích na jakost svaru a měl by splňovat požadavky konstrukční specifikace. Čištění po svařování může být provedeno několika metodami (samostatně nebo v kombinaci):

- **KARTÁČOVÁNÍ:** používají se speciální drátěné kartáče s drátky z korozivzdorné oceli nebo jiného srovnatelného materiálu. Tato technologie by neměla být použita pro odstranění ulpívajících nečistot.
- **TRYSKÁNÍ:** touto technologií se odstraňují ulpívající nečistoty a používá se k vytvoření tlakových napětí na povrchu. Doporučená tryskací média: sklo a broky z korozivzdorné oceli. Tryskací médium by nemělo být znečištěno železem nebo uhlíkovou ocelí.
- **BROUŠENÍ:** tato metoda se používá pro odstranění hrubých povrchových nečistot, pro dosažení hladkého přechodu mezi svarem a základním materiálem. Používají se speciální brusné kotouče, pásy nebo disky bez přítomnosti železa. Nedoporučuje se nadměrné broušení, aby se zabránilo poškození povrchu a ztenčení základního materiálu.
- **MOŘENÍ:** tímto způsobem se odstraňují povrchové oxidy nebo povrchové vrstvy oceli chemickou reakcí. Používají se kyseliny - složení závisí na typu oceli, teplotě moření a době moření. Po ukončení této technologie je nutné provést pečlivé odstranění všech produktů moření.

- **ELEKTROLYTICKÉ LEŠTĚNÍ:** používá u nestabilizovaných korozivzdorných ocelí pro dosažení hladkého povrchu a optimální korozní odolnosti.

6.6 Kontrola jakosti svarových spojů [4, 5, 7]

Kontrola jakosti svarových spojů se provádí destruktivními a nedestruktivními zkouškami.

6.6.1 Destruktivní zkoušky

Destruktivní zkoušky se provádí na zkušebních vzorcích nebo zkušebních tyčích, odebraných zpravidla ze zkušebních kusů.

Metody destruktivních zkoušek:

- příčná zkouška tahem podle ČSN EN 895
- zkouška lámavosti podle ČSN EN 910
- zkouška rázem v ohybu podle ČSN EN 875
- zkouška tvrdosti podle ČSN EN 1043-1
- makroskopická a mikroskopická kontrola svarů podle ČSN EN 1321

6.6.2 Nedestruktivní zkoušky

Pro všechny metody nedestruktivních zkoušek svarů jsou společné dvě základní evropské normy:

- ČSN EN 970 → vizuální kontrola
- ČSN EN 25817 → směrnice pro určování stupňů jakosti.

Mezi nedestruktivní zkoušky zejména patří:

- Vizuální kontrola
- Penetrační kontrola
- Magnetické práškové metody
- Vířivé proudy
- Radiologické (prozařovací) metody
- Ultrazvukové metody
- Zkouška netěsnosti

7 KOROZE [2]

7.1 Definice koroze

Koroze je chemický nebo chemicko - fyzikální samovolný proces interakce kovového materiálu s okolním prostředím za určité teploty a tlaku, který je důsledkem znehodnocování kovů, jehož výsledkem je částečné nebo úplné rozrušení materiálu. Samovolný průběh korozního procesu je způsobován tím, že korozní soustava směřuje do termodynamicky pravděpodobnějšího stavu s nižší volnou entalpií. Některé kovy (např. zlato, platina a částečně i stříbro) se vyskytují a udržují v přírodě neomezeně dlouhou dobu v ryzím stavu = nemají snahu se slučovat s chemickými prvky okolního prostředí), a proto tyto kovy nekorodují. Naopak kovy vyrobené hutnickými pochody z rud (např. železo), mají snahu se vrátit zpět do stavu chemické sloučeniny.

Korozi podléhají téměř všechny materiály, nejen kovy a jejich slitiny, ale i plastické hmoty, silikáty apod. Koroze postupuje směrem od povrchu dovnitř látky.

Čím úspěšněji se podaří korozi zabránit či průběh zpomalit, tím se prodlouží životnost výrobků.

Boj s korozi se dá rozdělit do tří oblastí:

- a) volba vhodného materiálu
- b) úprava korozního prostředí
- c) vytváření ochranných povlaků na materiálu

7.2 Rozdělení koroze

Druhy koroze lze rozdělit:

- podle mechanismu:
 - koroze chemická
 - koroze elektrochemická
- podle vzhledu
 - koroze rovnoměrná
 - koroze nerovnoměrná

- podle rozhodujícího korozního činitele
 - koroze při napětí
 - koroze za únavy materiálu
- podle prostředí
 - koroze v atmosféře
 - koroze ve vodě
 - koroze v plynech
 - koroze v půdě

7.2.1 Chemická koroze

Chemická koroze je to chemická reakce probíhající mezi povrchem součásti a elektricky nevodivým prostředím (plynné, kapalné, pevné) za normálních i vysokých teplot (nad 600 °C – oceli žáruvzdorné).

Vliv na chemické korozi:

- 1) Teplota - koroze se urychluje s rostoucí teplotou
- 2) Způsob ohřevu (přerušovaný, střídavý) - podporuje odlupování ochranné pasivační vrstvy
- 3) Typ prostředí - plynné, kapalné, eventuelně pevné: → oxidace
→ redukce

Oxidace - kov ztrácí valenční elektrony a na povrchu vznikají oxidy.

Redukce - reakce mezi materiálem a např. H_2 , NH_3 – vzniká CH_4 – usazuje se na hranici zrn - praskání.

7.2.2. Elektrochemická koroze

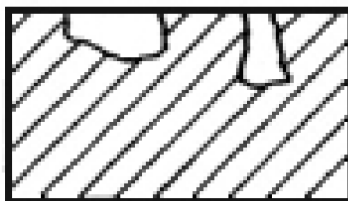
Při této korozi je součástí ve vodivém prostředí → v elektrolytu. Elektrochemická koroze probíhá při normální teplotě. Materiál koroduje, když se vytvoří galvanický článek.

Zbraňujeme jí:

1. anodickou reakcí - oxidační
2. katodickou reakcí – redukční

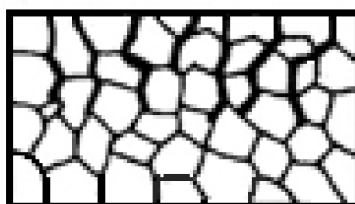
7.3 Koroze typická pro korozivzdorné oceli

Bodová koroze (Obr. 7.1) - je lokalizovaný korozní děj, při kterém vznikají na kovovém povrchu hluboké důlky, a okolní povrch zůstává bez pozorovatelného napadení. Vznik a šíření bodové koroze jsou usnadněny zvýšenou koncentrací agresivního iontu. Dochází tedy k ní v roztocích obsahující chlor, brom nebo jod, jejich soli a další. Ochrana před touto korozí spočívá hlavně ve výběru odolného kovového materiálu. Zvýšené odolnosti korozivzdorných ocelí lze docílit např. legováním molybdenem.



Obr. 7.1 - bodová koroze

Mezikrystalová koroze (Obr. 7.2) - je nerovnoměrná koroze probíhající podél hranic krystalů do hloubky materiálu. Tato koroze se objevuje zvláště po nevhodném tepelném zpracování, při němž na hranicích zrn vznikají oblasti ochuzené o chrom v důsledku tvorby karbidů (např. Cr_{23}C_6) bohatých na chrom. Kovový materiál, korodující mezikrystalově, ztrácí mechanickou pevnost. Nejprve se projevuje praskáním a později i rozpadem materiálu. Nejčastěji je mezikrystalovou korozí napadáno okolí svaru. Příčina vzniku této koroze je snížení obsahu chromu v tuhém roztoku na hranicích zrn.



Obr. 7.2 - mezikrystalová koroze

Proti vzniku mezikrystalové koroze je možná ochrana tzv. stabilizace (přídavkem titanu nebo niobu, který má větší afinitu k uhlíku než chrom).

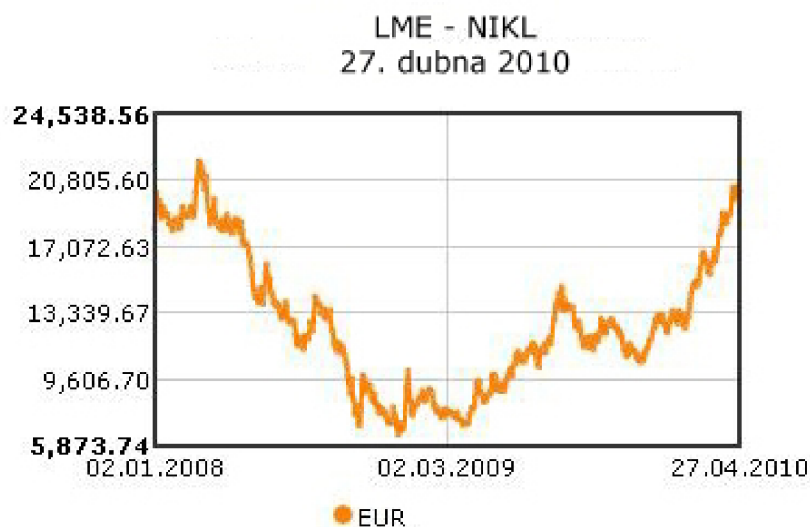
8 ŘEŠENÍ EXPERIMENTU

Vlastní experiment projektu je zaměřený na:

- návrh změny základního materiálu
- změnu stávajících nástrojů
- návrh svařovacích parametrů
- vlastní experiment svařování
- ověření vlastností svarů
- vyhodnocení

Z důvodu současné celosvětové finanční a hospodářské krize, hledá firma nové alternativy, jak zákazníkovi zachovat či ještě lépe zvýšit kvalitu prodávaných produktů a zároveň zlevnit či zachovat stávající ceny.

Jedním z východisek je najít a využít jiný materiál, který plně nahradí stávající jakost materiálu X2CrNiMo17-12-2 (1.4404), která je na zahraničních trzích nejžádanější. Hledaným materiálem by mohla být vysokolegovaná feritická ocel X2CrMoTi18-2 (AISI 444; 1.4521). Tento materiál neobsahuje nikl a proto je méně závislý na vývoji cen surovin. T tohoto důvodu se předpokládána snadnější kalkulace tohoto materiálu na delší časové období, než tomu bylo v případě materiálu obsahující nikl. Na Obr. 8.1 je znázorněn graf vývoje ceny niklu od počátku roku 2008 do konce dubna 2010.

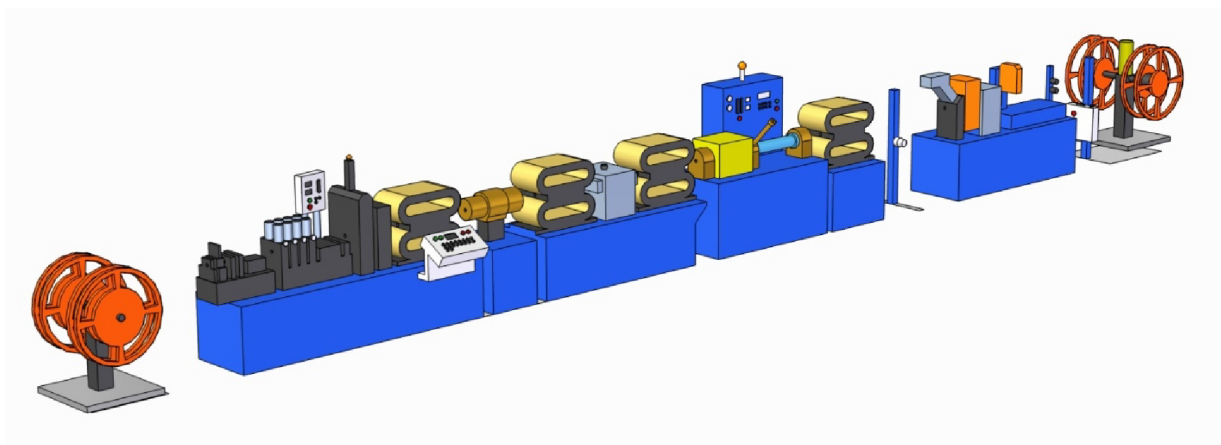


Obr. 8.1 - graf vývoje cen niklu ^[15]

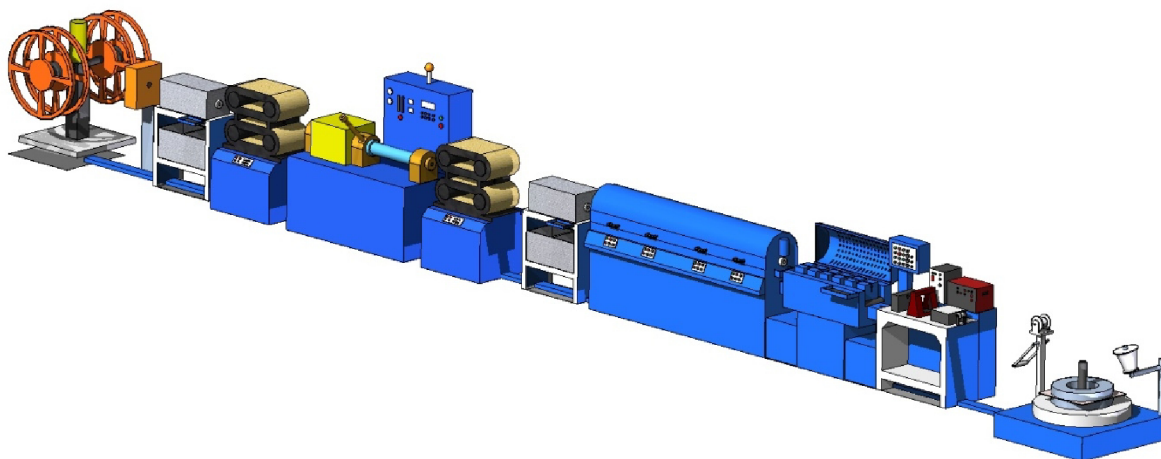
S navrhovaným materiálem 1.4521 nemáme zkušenosti v praxi, proto je nutné ověřit kvalitu přímo při výrobě vlnovcové trubky oběma metodami svařování. Experiment se bude provádět na trubce o světlosti DN20.

Trubka Cats je ve firmě AZ - Pokorný vyráběna na pěti výrobních linkách, dvou různých výrobců. Každý z těchto výrobců využil jinou metodu svařování:

1. svařovací metodu TIG (WIG)
2. svařovací metodu mikroplazma



Obr. 8.2 - 3D-model výrobní linky s TIG metodou



Obr. 8.3 - výrobní linka s mikroplazmou

Názvy linek na přání firmy nebudu zveřejňovat, ale budu je dále nazývat TIG linka (linka s metodou svařování TIG) a MP linka (linka se svařovací metodou mikroplazma).

8.1 Analýza a rizika

Stejně jako u jiných zakázek, je potřeba si před samotným experimentem udělat analýzu výroby, z které je nutno nalézt její rizika a navrhnout opatření proti jejich vzniku.

Tab. 8.1 - stručný návrh postupu experimentu a možný výskyt rizik

	Název	Popis	Rizika
1.	Návrh nástrojů	Využití CAD programů při vytváření výkresů.	Nutno mít aktualizovaný software a hardware (včetně licencí).
2.	Výběr materiálu	Výběr materiálu a dodavatele.	Spolehlivost dodavatele = kvalita dodaného materiálu, rychlost dodávky.
3.	Výroba nástrojů	Obrábění	Přesnost vyrobených nástrojů.
4.	Experimentální výroba Cats trubky	Výroba Cats trubky	Správné nastavení výrobních linek (formování, svařování).

8.2 Popis návrhu postupu experimentu

K návrhu nástrojů byl využit CAD program: 3D - SOLID EDGE s verzí ST2. Tento program se ve firmě používá od roku 2006.

Kromě nástrojů pro korugátory (část výrobní linky, kde vzniká paralelní zvlnění trubky) je pro nás důležitý návrh nástrojů pro formování pásku před svařováním a nástroje pro svařování.

8.2.1 Formovací nástroje

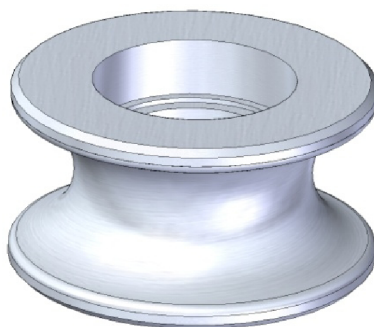
Formovací nástroje slouží k vytvoření svarové mezery. Z rovného pásku je nutno vytvarovat vstupní materiál do požadovaného tvaru. Protože výsledným materiálem je trubka, požadovaný tvar je kružnice se svarovou mezerou.

Pro experiment je nutno změnit geometrii stávajících nástrojů z důvodu odlišných rozměrů vstupního materiálu. Jelikož nástroje pro formování nejsou hlavním bodem tohoto projektu, bude obsah pouze informativní.

Na obou verzích linek je různé formování, proto i nástroje jsou odlišné:

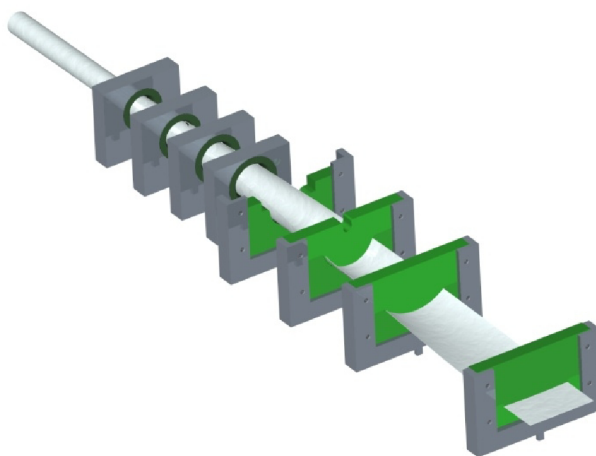
- a) **TIG linka** - využívá nástrojů s odvalováním různě velkých a tvarově odlišných rolen z materiálu 1.2379 (19 573) – nástrojová legovaná ocel pro práci za

studena, a ze speciálního plastu Ertalon PA6 LFX PL GRN16 (druh nylonu 6, který je "samomazný" a je speciálně vyvinut pro pohyblivé součásti, kde není dovoleno mazání).



Obr. 8.4 - 3D-model jedné rolny pro formování - TIG linka

- b) **MP linka** - využívá formovacích (tvářecích) destiček a kroužků z materiálu Ertalon PA6 LFX PL GRN16. Způsob formování je znázorněn na obr. 16.



Obr. 8.5 - ilustrativní sestava formování linky MP

8.2.2. Nástroj pro svařování (svařovací náhubek)

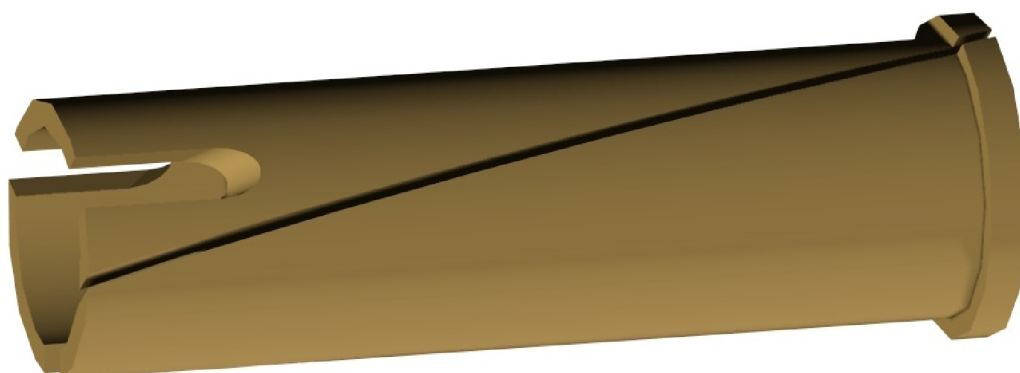
Pro udržení svarové mezery po formování se používá svařovací náhubek. Z důvodu odlišného tváření obou výrobních linek a změnou základního materiálu, je i svařovací náhubek po každém tváření tvarově odlišný od stávajícího. Materiál je v obou případech náhubků stejný. V praxi lépe obstál materiál označovaný pod obchodním názvem AMPCO® 25 (popřípadě alternativa (AMPCO® 22), společnosti AMPCO METAL, sídlící ve Švýcarsku. Vybíráno bylo z doporučených dvou materiálů:

- FormaMet
- AMPCO.

AMPCO METAL je výrobce kovů, který pod značkami AMPCO® a AMPCOLOY® nabízí sortiment speciálních bronzů a měděných slitin s výbornými fyzikálními a mechanickými vlastnostmi. Jedna z oblastí využití těchto materiálů je tváření kovů, kde hlavně oceníme výborné kluzné vlastnosti a odolnost proti otěru (delší životnost).^[9]

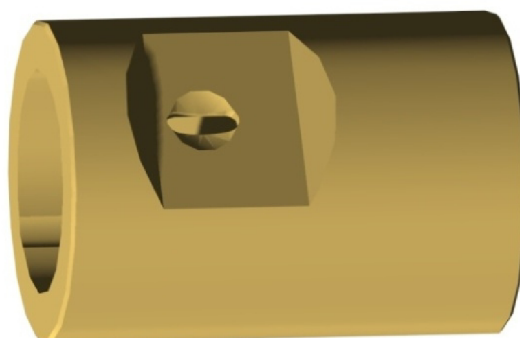
AMPCO® 25 – je patentovaná slitina, která vykazuje výborné mechanické vlastnosti. Materiál je obecně vhodný pro tváření a tažení lisovaného materiálu, kde se hlavně cení extrémní tvrdost, vynikající pevnost v tlaku a velmi dobré třecí vlastnosti. Díky svým frikčním vlastnostem se tato slitina výborně chová v jakémkoli náročném prostředí. Alternativní AMPCO® 22 má podobné vlastnosti jako 25.^[9]

Svařovací náhubek - TIG linka:



Obr. 8.6 - svařovací náhubek pro linku TIG

Svařovací náhubek - MP linka:



Obr. 8.7 - svařovací náhubek pro linku MP

8.2.3 Výběr materiálu

Vybíralo se z austenitických, austeniticko-feritických a feritických materiálů jako např.:

- X6CrNiTi18-10 (1.4541; AISI 321)
- CR22Ni5Mo3 (1.4462)
- X2CrMoTi18-2 (1.4521; AISI 444)
- X1NiCrMoCuN25-20-7 (1.4529)
- X3CrNb17 (1.4511) a další.

Přednost bylo dáno materiálu o jakosti X2CrMoTi18-2. Hlavním důvodem tohoto výběru bylo omezené množství niklu v základním materiálu.

X2CrMoTi18-2 (1.4521; AISI 444) ^[17]

- **Typ:** Feritická chrom-molybdenová nerezová ocel
- **Chemické složení:**

Tab. 8.2 - chemické složení

	% C	% Si	% Mn	% P	% S	% Cr	% Mo	% Ti	% N
1.4521	max. 0,025	max. 1,00	max. 1,00	max. 0,040	max. 0,015	17,0-20,0	1,80-2,50	4x (C+N) + (0,15 až 0,80)	max. 0,030
	% C	% Si	% Mn	% P	% S	% Cr	% Ni	% Mo	% N
1.4404	max. 0,030	max. 1,00	max. 2,00	max. 0,045	max. 0,015	16,5-18,5	10,0-13,0	2,00-2,50	max. 0,11

- **Mechanické vlastnosti:**

Tab. 8.3 - mechanické vlastnosti

	Mez kluzu Rp _{0,2} [MPa]	Mez pevnosti Rm [MPa]	Tažnost A [%]
1.4521 (AISI 444)	min. 300	420 ... 640	min. 20
1.4404 (AISI 316L)	min. 240	530 ... 680	min. 40

- **Fyzikální vlastnosti:** krystalová struktura je feritická, materiál je magnetovatelný.
 - Hustota: 7,7 g/cm³
 - Teplotní součinitel roztažnosti: 10,4x10⁻⁶ K⁻¹
 - Měrné teplo: 430 J. kg⁻¹.K⁻¹

- Tepelná vodivost při 20°C: 23 W. m⁻¹.K⁻¹
- **Využití:** vodovodní potrubí (vhodná pro rozvody pitné vody), výměníky tepla, akumulární nádrže, vysoký obsah chromu a přísady molybdenu umožňují tento materiál využít jako alternativu korozivzdorných austenitických ocelí ve vybraných případech.
- **Svařování:** materiál je vhodný pro tradiční svařovací metody jako u austenitických korozivzdorných ocelí (např.: TIG, mikroplazma). Jako ochranný plyn se měl použít argon / helium, plyn by neměl obsahovat vodík, dusík nebo uhlík. Obecně svarová struktura vykazuje nižší houževnatost ve srovnání se základním materiálem.
- **Korozní odolnost:** Bodová korozní odolnost je podobná materiálu 1.4404 (AISI 316L). Materiál není náchylný ke koroznímu praskání. V roztocích obsahující chlór (nejnebezpečnější prvek) je odolnost materiálu proti korozi závislý na mnoha faktorech, jako je např. koncentrace chlóru, teplota, hodnota pH.

Pásek je koupen od našeho stávajícího dodavatele, italského výrobce. Je vyroben metodou válcování za studena a dodáván ve svitku.

Výsledné parametry objednaného polotovaru: pásek 0,24*75,5 – 800kg (tloušťka*šířka - množství).

8.2.4 Výroba nástrojů

Po objednání materiálu, může nastat vlastní výroba navržených nástrojů. Firma AZ – Pokorný, s.r.o. má vlastní malou obrobnu, kde se nacházejí konvekční stroje, postačující pro výrobu navržených nástrojů.

V obrobně se nacházejí, mimo jiné, tyto stroje:

3 x Hrotový soustruh SV 18 RA

1 x Konzolová frézka FNK 25 A

1 x Universální nástrojařská frézka FNGJ 32

8.3 Experimentální výroba tenkostěnné trubky systému Cats

V této práci nebude popsána celá výroba vlnovcové trubky Cats, ale pouze výroba po operaci svařování (včetně).

8.3.1 Svařování vlnovcové trubky metodou TIG

Na lince TIG je využito svařování metodou TIG (WIG) firmy Miller, se zdrojem Maxstar 200 DX:

- Vstupní napětí: 3 nebo 1 fáze
- Rozsah proudu: 1 – 200 A
- Napětí na prázdko: 80 V
- Hmotnost: 16,8 kg



Obr. 8.8 - Maxstar 200 DX ^[11]

Hořák: WP-22A od firmy WELDCRAFT

- Rozsah výkonu: 250 amp.
- Systém chlazení: kapalinové chlazení

Používané elektrody:

- wth 20 (TIG-elektrody) podle ISO 6848:2004
- $\varnothing 2,4 \times 175$ mm

Ochranný plyn: Argon

Průběh svařování: pásek nasazený na odvíječi se rychlostí 2 m/min. (nastavitelný parametr) posouvá do části linky, kde probíhá formování. Formovací nástroje jsou nastaveny dle tab. 8.4 a v tab. 8.5. Na konci formování, kdy je pásek v profilovém tvaru nespojené kružnice s předepsanou svarovou mezerou, vstupuje do svařovacího náhubku, kde probíhá svařování. Nastavení parametrů pro svařování u trubky DN20 je dle tab. 8.6. Ve svařovacím náhubku je ze strany formování vsunut trn s přívodem ochranného plynu, který zabezpečuje dostatek plynu u kořene svaru. Po opuštění svařovacího náhubku vstupuje svařená hladká trubka do chladicí komory, kde je svar ochlazován ochranným plynem (Argonem) a samotná chladicí komora ochlazována roztokem destilované vody s fridexem. Po opuštění chladicí

komory by následovala zkouška vířivými proudy pomocí přístroje ECM Defectomat 2.841, ale protože jsme použili magnetovatelný materiál (feritický) a ne austenitický, nemůžeme tuto zkoušku kontroly svaru využít. V dalších krocích už následuje vlastní výroba vlnovcové trubky, která v této práci nebude uvedena.

Přesnost tváření je velmi důležitou částí přípravy před svařováním. Pro stabilní svařování musí být svarová mezera stálá.

PARAMETRY NASTAVENÍ TIG LINKY:

Tab. 8.4 - Formovací rolny

HORIZONTÁLNÍ NASTAVENÍ FORMOVACÍCH ROLEN	
OZNAČENÍ	HODNOTY
Vstupní kladky	88,94 mm
P1	50,89 mm
P2	47,97 mm
P3	50,45 mm
P4	48,69 mm

Tab. 8.5 - Formovací rolny

VERTIKÁLNÍ NASTAVENÍ FORMOVACÍCH ROLEN			
OZNAČENÍ	HODNOTY	POLOHA	OZN. ROLEN
L1	24,97 mm	vertikální	DN20 L1
L2	29,28 mm	vertikální	DN20 L2
L3	26,98 mm	vertikální	DN20 L3
L4	32,09 mm	horizontální	DN20 L4
L5	25,96 mm	vertikální	DN20 L5

Hodnoty v tab. 8.4 a 8.5 udávají vzdálenosti od referenčních bodů na výrobních linkách.

Parametry nastavení svařování TIG:

Tab. 8.6 - parametry nastavení svařování linky TIG

PARAMETRY SVAŘOVÁNÍ	proud:	47 A
	napětí:	10,1 V
	potenciometr:	12
MNOŽSTVÍ PLYNU	svařovací náhubek:	1,5
	kořen svaru:	1,4

Další bližší informace o nastavení linky TIG jsou v interním Technologickém postupu pro WRO DN20 ve firmě AZ – Pokorný, s.r.o.

8.3.2 Svařování vlnovcové trubky metodou mikroplazma

Na lince MP se využívá metoda svařování mikroplazma s inverterovým zdrojem Microplasma 50 od firmy EWM HIGHTEC WELDING GmbH.

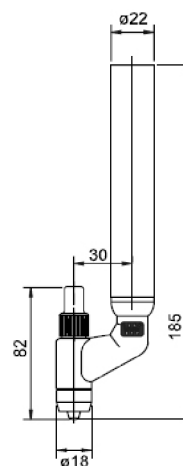
- Rozsah proudu: 1 – 200 A
- Rozsah nastavení plama proudu 1 A - 10 A
- Napětí na prázdno: 95 V
- Hmotnost: 50 kg



Obr. 8.9 - Microplasma 50 [10]

Hořák: PWM 150 od firmy EWM HIGHTEC WELDING GmbH

- Rozsah výkonu: 0,5 - 150 amp. při - pólování elektrody (1,5 - 2,4 mm Ø)
- Pilotní el. oblouk: 2 - 30 amp.
- Plazmový plyn: Argon
- Ochranný plyn: Argon
- Systém chlazení: kapalinové chlazení



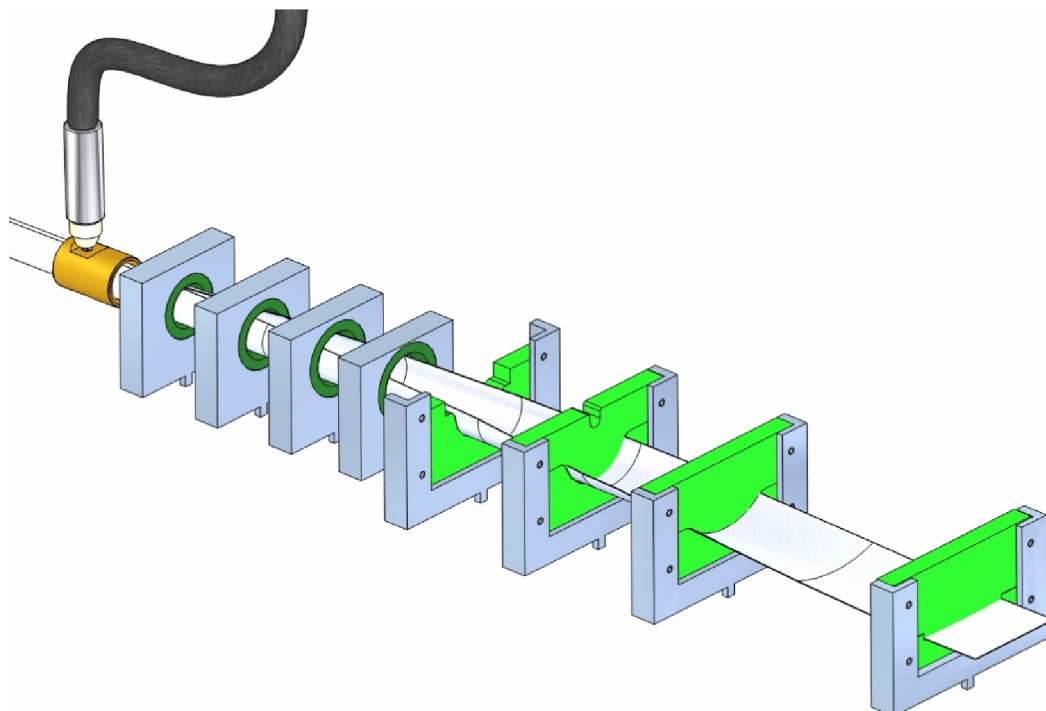
Obr. 8.10 - PWM 150 - svař. strojní hořák [10]

Používané elektrody:

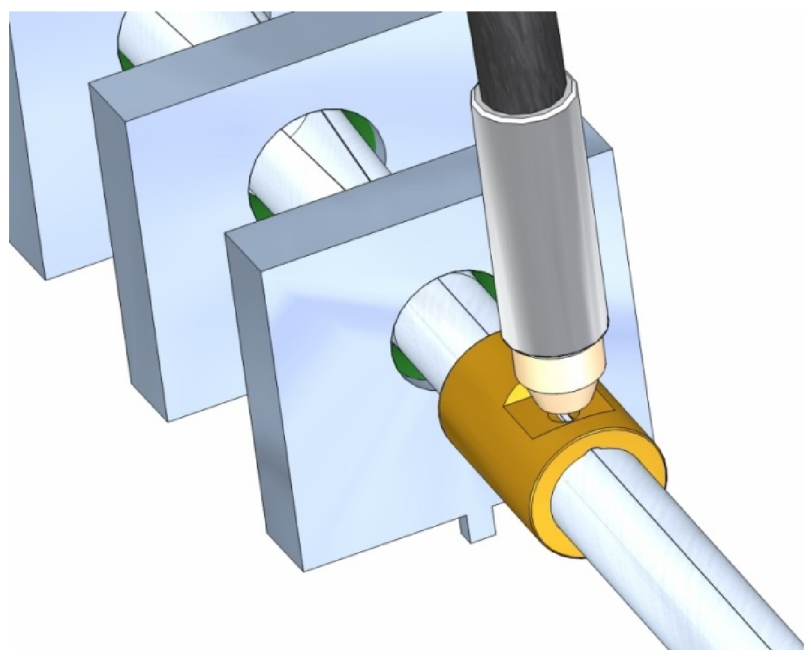
- wth 20 (TIG-elektrody) podle ISO 6848:2004
- Ø 1,5 x 75 mm

Průběh svařování - pásek nasazený na odvíječi se rychlostí 2 m/min. (nastavitelný parametr) posouvá do části linky, kde probíhá formování. Formovací destičky jsou nastaveny dle tab. 8.7. Na konci formování, kdy je pásek v profilovém tvaru nespojené kružnice s předepsanou svarovou mezerou, vstupuje do svařovacího náhubku, kde probíhá svařování. Nastavení parametrů pro svařování výrobní linky MP pro trubku Cats DN20 je dle tab. 8.8. V náhubku ze strany formování je vsunut trn s přívodem ochranného plynu, který zabezpečuje dostatek plynu u kořene svaru. Po opuštění svařovacího náhubku vstupuje svařená hladká trubka do chladicí komory, kde je svar ochlazován

ochranným plynem a samotná chladicí komora ochlazována roztokem destilované vody s fridexem. V dalších krocích už taky následuje vlastní výroba vlnovcové trubky.



Obr. 8.10 – ilustrativní 3D-model tváření a svařování MP linky (1)



Obr. 8.11 – ilustrativní 3D-model tváření a svařování MP linky (2)

Parametry nastavení formovacích destiček:

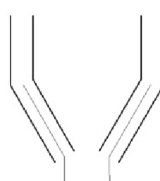
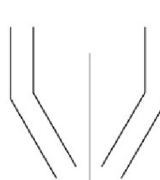
Tab. 8.7 - vzdálenost destiček formování

Pořadí	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
mm	17	65	115	165	232	297	359	421	483	545

První řádek u tab. 8.7 označuje číslo formovací destičky a druhý řádek vzdálenost v mm od referenčního bodu na výrobní lince.

Parametry nastavení svařování mikroplazma:

Tab. 8.8 - nastavení svařování linky MP

PARAMETRY SVAŘOVÁNÍ	proud:	37 - 38 A
	napětí:	± 15 V
MNOŽSTVÍ PLYNU	 ochrana svaru:	4 - 5 l/min
	 plazmový plyn:	0,3 l/min

Další bližší informace o nastavení jsou v Technologickém předpisu pro WRO DN20 ve firmě AZ – Pokorný, s.r.o.

8.4 Zkoušky svarů

○ Pomocí nedestruktivní metody – Vizuální kontrola ČSN EN 970

Kontrola se nejběžněji provádí u svaru po dokončení svarové operace, výjimečně může být provedena během svařování nebo až po úpravě povrchu.

Obecně se kontroluje:

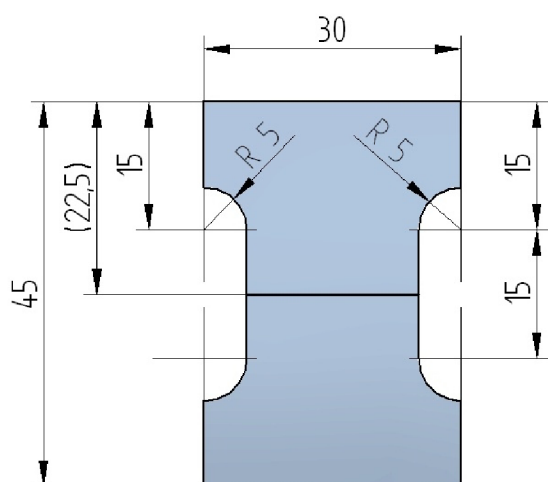
- pravidelnost svaru
 - provaření kořene
 - ověření povrchu svaru
 - velikost převýšení (nežádoucí)
- **Pomocí nedestruktivní metody – zkouška těsnosti**

Kontrola těsnosti se provádí dle vnitřního předpisu firmy AZ – Pokorný, s.r.o. Kontrola probíhá až po úplné výrobě vlnovcové trubky, tj. po svařování, tváření, žíhání, popisu a návinu. Konce trubky se ucpou ucpávkami, jedna strana slepou ucpávkou, druhá strana s přívodem vzduchu o hodnotě tlaku 5 bar. Celý svitek se napustí vzduchem a ponoří do kádě s vodou. Po ponoření celého svitku se kontroluje celé vedení vlnovcové trubky a to nejméně po dobu 30 s. Po uplynutí této doby se svitek vytáhne z kádě a vypne přívod vzduchu. Vzduch se vypustí, svitek se ofoukne tlakem vzduchu a nechá uschnout na předepsaném místě pracoviště.

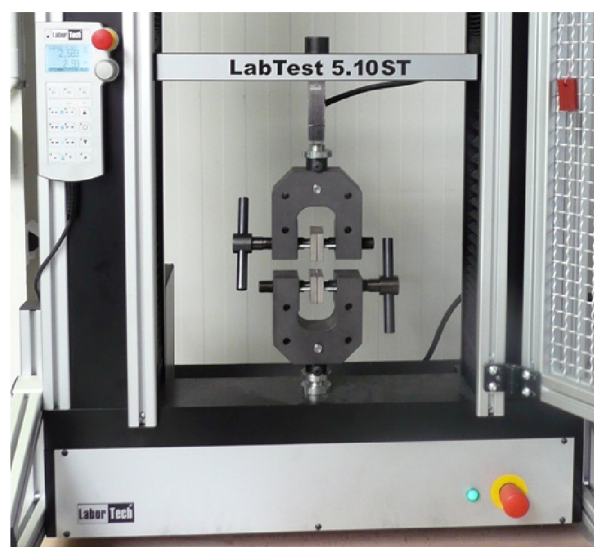
- **Pomocí destruktivní metody - Zkouška tahem za okolní teploty**

Zkouška probíhá dle modifikace EN 10002-1 a dle ČSN EN 895.

Zkušební vzorky jsou odebrány ze svařené hladké trubky z různých míst. Vzorek je vystřižen napříč svarového spoje. Vystřížení proběhne na daném přípravku tak, že svarový spoj musí zůstat uprostřed zkušební vzorku. Tvar zkušební vzorku je podle Obr. 8.12.



Obr. 8.12 - okótovaný model zkušební vzorku



Obr. 8.13 - zkušební přístroj

Zkoušky se provádí za okolní teploty, tj. 15 °C - 35 °C (dáno normou). Hned po odebrání a vystřížení jsou vzorky řádně označeny. Na zkušebních vzorcích se neprovádí žádné tepelné zpracování.

Zkoušky tahem probíhají na zkušebním přístroji od firmy LaborTech: LabTest 5.10ST, a výsledky testů jsou zaznamenány a zpracovávány pomocí příslušného softwaru.

- **Zkouška odolnosti proti mezikrystalové korozi**

Zkouška odolnosti proti mezikrystalické korozi se dělá podle normy ČSN EN 03 8169/A. Vzorky jsou odebírané z libovolného místa a zhotovuje se ve tvaru nátrubků nebo kroužků, které jsou dále opracovávány. Vyřezává se tak, aby svar byl uprostřed vzorku.

9. VÝSLEDKY ZKOUŠEK

9.1 Chemická kvantitativní analýza pásku

Chemický rozbor pásku nám měl ukázat, zda dodavatel dodal správný materiál - X2CrMoTi18-2 (1.4521, AISI 444). Chemický rozbor byl proveden metodou rentgen-fluorescenční spektroskopie přístrojem XT 245 dle směrnice externí firmy, která tuto zkoušku udělala.

Tab. 9.1 - chemický rozbor

Má být	% Mn	% Cr	% Mo	% Ti
1.4521	max. 1,00	17,0-20,0	1,80-2,50	4x (C+N)+ (0,15 až 0,80)
<i>Je</i>	<i>% Mn</i>	<i>% Cr</i>	<i>% Mo</i>	<i>% Ti</i>
1.4521	< 0,35	17,50	2,35	0,14

Ekvivalent chromu:

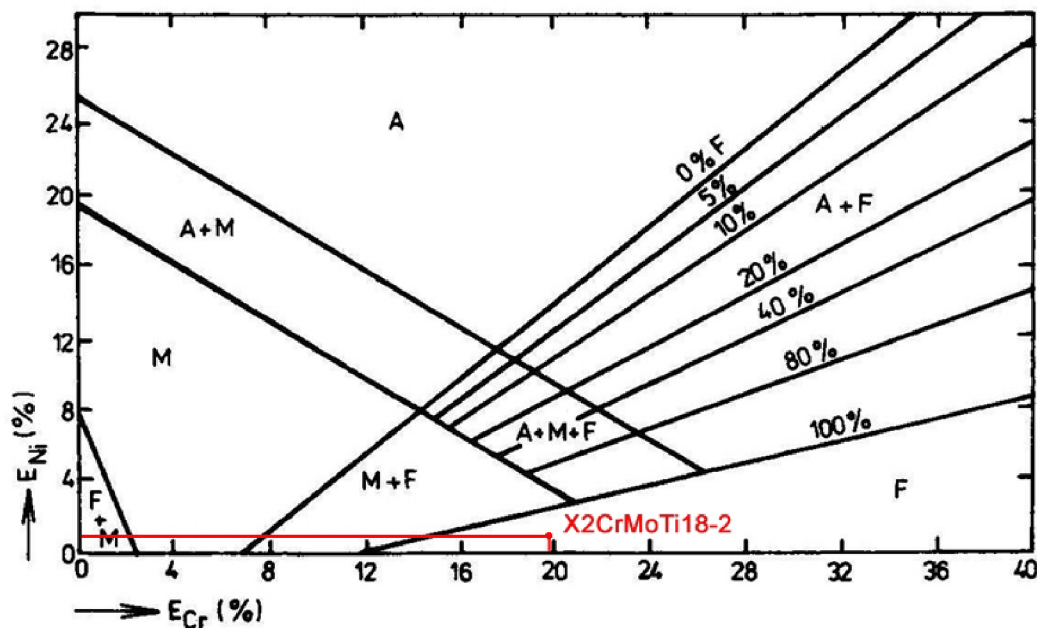
$$Cr_E = Cr + Mo + 1,5 \times Si + 0,5 \times Nb \quad (9.1)$$

$$Cr_E = 17,5 + 2,35 + 0 + 0 = \underline{\underline{19,85}}$$

Ekvivalent niklu:

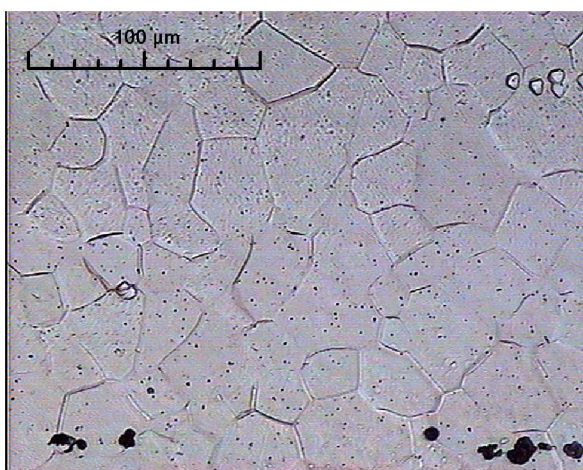
$$Ni_E = Ni + 30 \times C + 0,5 \times Mn \quad (9.2)$$

$$Ni_E = 0 + 30 \times 0,025 + 0,5 \times 0,35 = \underline{\underline{0,925}}$$

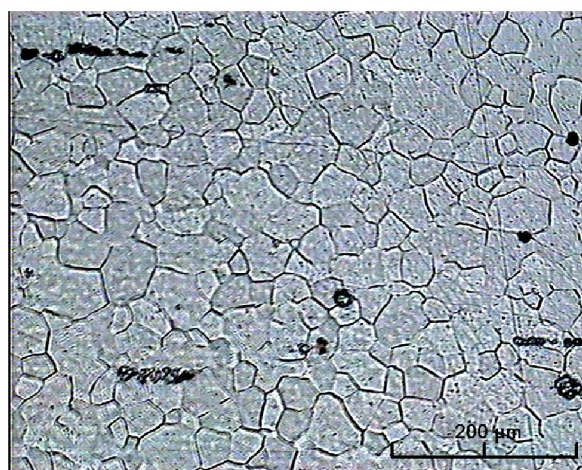


Obr. 9.1 - Schaefferův diagram

Chemický rozbor prokázal požadovaný materiál.



Obr. 9.2 - struktura pásku 1.4521 (100μm)

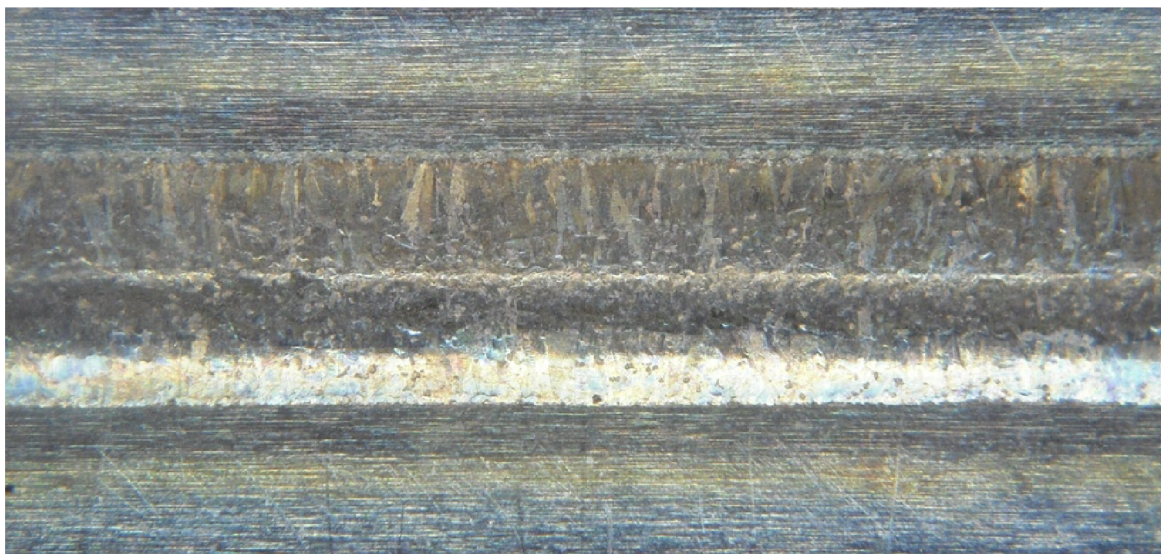


Obr. 9.3 - struktura pásku 1.4521 (200μm)

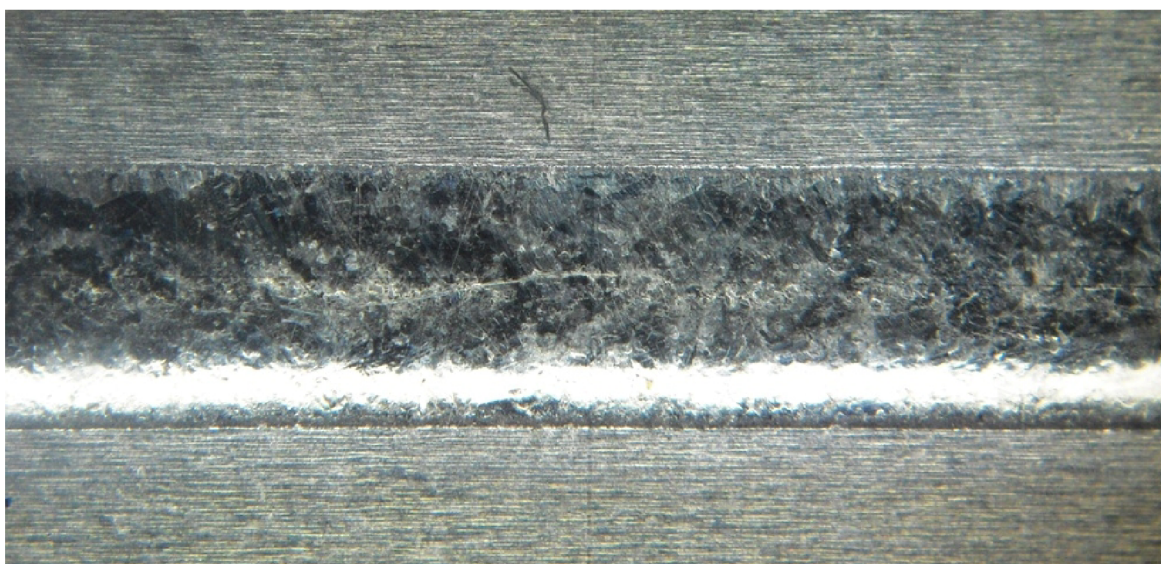
9.2 Vizuální kontrola

Vizuální kontrola u obou metod svařování byla prováděna v průběhu svařování a i po dokončení svarové operace. Kontroloval se povrch svaru, velikost převýšení (převýšení je nežádoucí), pravidelnost svaru, provaření kořene.

Šířka svaru metodou TIG (Obr. 9.4) je na vnějším povrchu 1,40 mm. Po obou stranách svaru je pás náběhových barev, zřejmě z důvodu použití málo ochranného plynu při svařování. Kresba housenky pravidelná, bez výskytu vzhledových vad na vnějším i vnitřním povrchu.

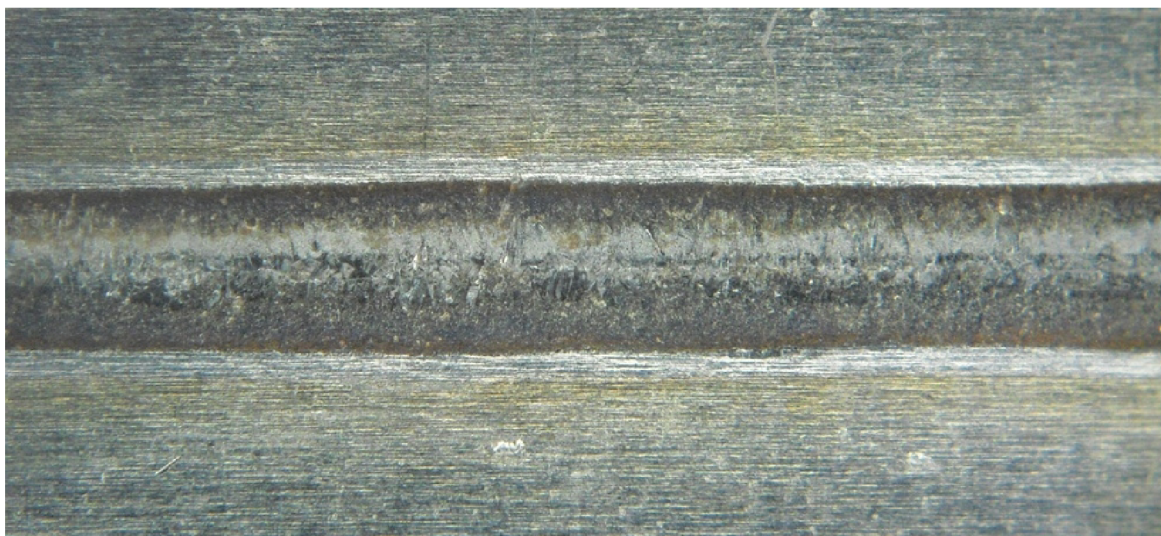


Obr. 9.4 - vnější povrch svaru - TIG, měřítko 15:1

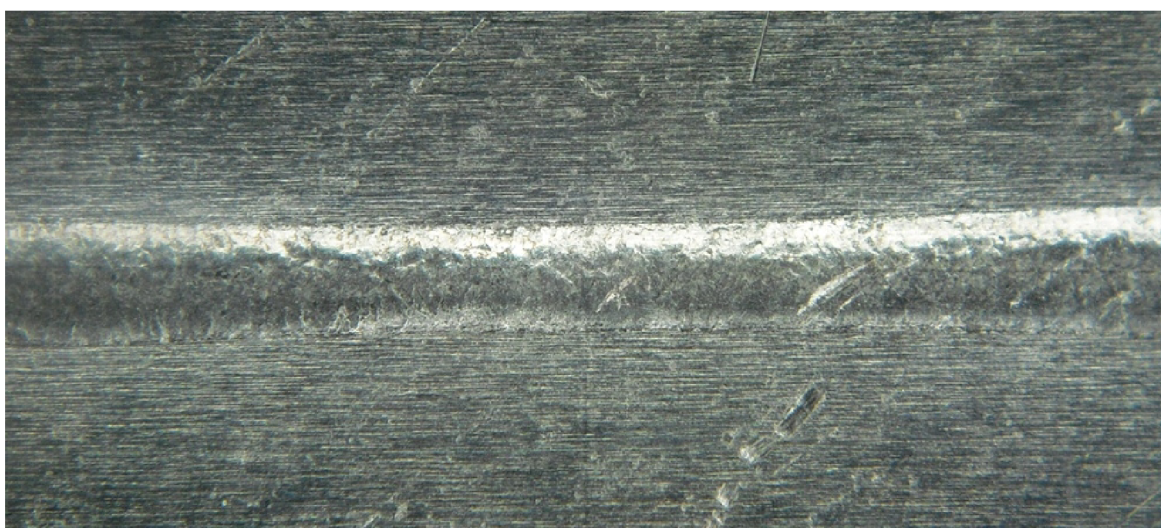


Obr. 9.5 - kořen svaru TIG

Šířka svaru metodou mikroplazma (obr. 9.6) je na vnějším povrchu 0,80 mm. Kresba housenky pravidelná, bez výskytu vzhledových vad na vnějším i vnitřním povrchu.



Obr. 9.6 - vnější povrch svaru - mikroplazma, měřítko 15:1



Obr. 9.7 - kořen svaru - mikroplazma, měřítko 15.1

9.3 Zkouška těsnosti

Zkouška těsnosti byla provedena dle interního předpisu firmy AZ - Pokorný. Zkouška je popsána na jiném místě tohoto dokumentu.

Výsledkem zkoušky je 100% těsnost vlnovce svařené jak metodou TIG, tak metodou mikroplazma.

9.4 Zkouška odolnosti proti mezikrystalové korozi

Zkouška byla provedena dle ČSN 03 8169/A. Zkouška byla provedena ze vzorků odebraných ze základního polotovaru (pásku), z hladké trubky svařené metodou TIG i mikroplazma a z vlnovcové trubky též obou metod svařování.

Vzorek z pásku byl po zcitlivění (žihání) chemicky odmořen. Vzorky z trubek byly zhotoveny ve formě kroužků s následným odmaštěním. Délka zkoušky byla 8 hodin. Po zkoušce byly vzorky ohnuty o 180 °.

Metoda spočívala v expozici vzorků ve vroucím vodném roztoku síranu měďnatého a kyseliny sírové, ke kterému byly přidány měděné třísky. Zkušební roztok: v 1000 cm³ vody se rozpustí 50 g síranu měďnatého a postupně se přidá 250 cm³ kyseliny sírové. Ohnuté vzorky byly prohlédnuty lupou (10 násobné zvětšení).

Důkazem náchylnosti k mezikrystalové korozi jsou trhliny na povrchu ohnutých vzorků po expozici ve zkušebním prostředí.

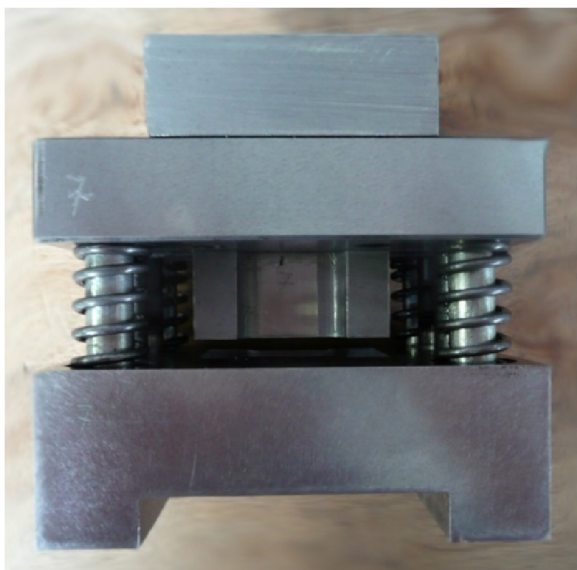
Tab. 9.2 - výsledky zkoušky odolnosti proti mezikrystalové korozi

označení vzorku	tvar	materiál	výsledek zkoušky
pásek	plech	1.4521	vyhovující
hl. trubka - TIG	kroužek se svarem	1.4521	vyhovující
hl. trubka - MP*	kroužek se svarem	1.4521	vyhovující
vlnovec - TIG	kroužek se svarem	1.4521	vyhovující
vlnovec - MP*	kroužek se svarem	1.4521	vyhovující

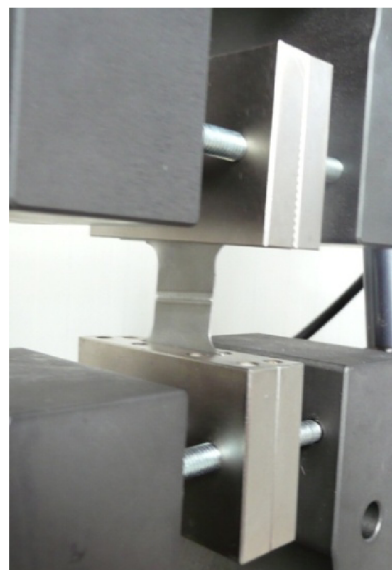
* - MP = mikroplazma

9.5 Zkouška tahem

Zkouška probíhala dle modifikace EN 10002-1 a dle ČSN EN 895. Zkoušky byly provedeny za okolní teploty 21 °C, což odpovídá požadavku normy. Celkem bylo odebráno od každé metody svařování 6 zkušebních vzorků. Po odebrání a vystřížení zkušebního vzorku, byl vzorek řádně označen. Jelikož výroba obou metod neprobíhala souběžně, nebylo žádné riziko vzniku záměny obou metod. Zkušební vzorek byl vystřížen tak, aby svár byl napříč a uprostřed zkušebního vzorku (Obr. 8.12). Na zkušebních vzorcích se neprovedlo žádné tepelné zpracování.



Obr. 9.8 - přípravek pro střih vzorku



Obr. 9.9 - upnutí vzorku

Zkoušky tahem proběhly na zkušebním přístroji LabTest 5.10ST, a výsledky testů zaznamenány a zpracovány pomocí příslušného programu na počítači na daném pracovišti. Připravený zkušební vzorek byl upnut do čelistí ve zkušebním přístroji (Obr. 9.9) a po nastavení parametrů v programu, byl postupně a plynule zatěžován až do prasknutí zkušebního vzorku (dle EN 10002-1). Zkouška probíhala v horizontální poloze. Výsledkem zkoušky je graf s naměřenými hodnotami.

Tab. 9.3 - výsledky tahové zkoušky: TIG

číslo vzorku	1	2	3	4	5	6
Rm = [N/mm]	534	534	538	535	533	538

Tab. 9.4 - výsledky tahové zkoušky: mikroplazma

číslo vzorku	1	2	3	4	5	6
Rm = [N/mm]	563	559	565	565	563	561

V tab. 9.3 a 9.4 je uveden souhrn všech výsledků zkoušek. V tab. 9.5 a 9.6 je uveden celý protokol o zkoušce k vybraným vzorkům.

Tab. 9.5 - výsledky zkoušky tahem metodou TIG - vzorek č. 1_TIG_24/03/10

Zkušební parametry	
Datum zkoušky:	24. března 2010
Zkušební norma:	Tahová zkouška kovu - EN 10002
Typ stroje:	LabTest 5.10ST
Průtahoměr:	CalcDELL
Upínací přípravek:	TH243-BP
Rozměry vzorku:	a = 20 mm
	b = 0,24 mm
	h = 45 mm
	m = 1 g
Zkušební rychlost:	v ₀ = 2,5 mm/min.
	v ₁ = 10 mm/min.
Tahová zkouška kovu - EN 10002	
<p>The graph displays the stress-strain relationship over time. The y-axis represents stress in N/mm², ranging from 0 to 500. The x-axis represents time in seconds, ranging from 0 to 20. The curve starts at (0,0), rises steeply to about 400 N/mm² at 6 seconds, then continues to rise more gradually, reaching a peak of approximately 534 N/mm² at 20 seconds. After this peak, the stress drops sharply to near zero within a few more seconds.</p>	
Mez pevnosti v tahu:	R _m = 534 N/mm
Zatížení:	F _b = 1313 N

Tab. 9.6 - výsledky zkoušky tahem metodou mikroplazma - vzorek č.1_ MP_30/04/10

Zkušební parametry	
Datum zkoušky:	30. dubna 2010
Zkušební norma:	Tahová zkouška kovu - EN 10002
Typ stroje:	LabTest 5.10ST
Průtahoměr:	CalcDELL
Upínací přípravek:	TH243-BP
Rozměry vzorku:	a = 20 mm
	b = 0,24 mm
	h = 45 mm
	m = 1 g
Zkušební rychlost:	$v_0 = 2,5 \text{ mm/min.}$
	$v_1 = 10 \text{ mm/min.}$

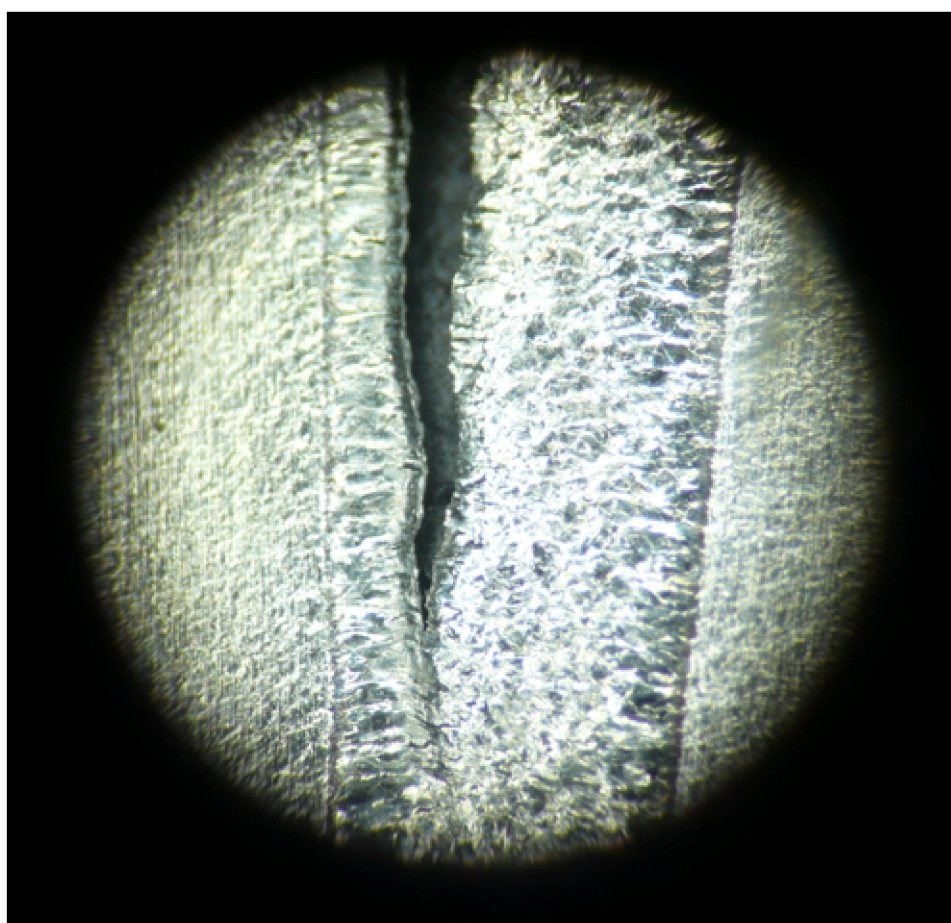
Tahová zkouška kovu - EN 10002	
<p>The graph displays the tensile strength of the sample over time. The y-axis represents stress in N/mm², ranging from 0 to 550. The x-axis represents time in seconds, ranging from 0 to 22. The curve starts at (0,0), rises to a yield point of approximately 35 N/mm² at 1.5 seconds, then continues to rise to a maximum stress of 563 N/mm² at 21 seconds. After this peak, the stress drops sharply to approximately 280 N/mm² at 23 seconds.</p>	
Mez pevnosti v tahu:	$R_m = 563 \text{ N/mm}^2$
Zatížení:	$F_b = 1362,4 \text{ N}$



Obr. 9.10 - vzorek TIG po zkoušce tahem



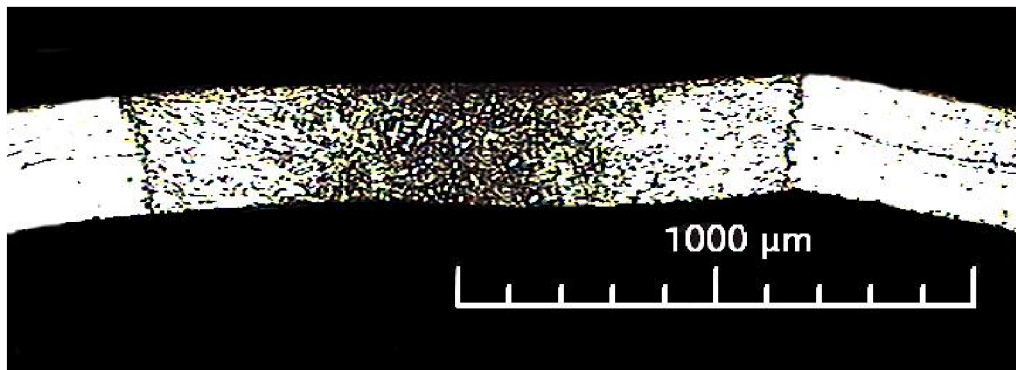
Obr. 9.11 - vzorek MP po zkoušce tahem



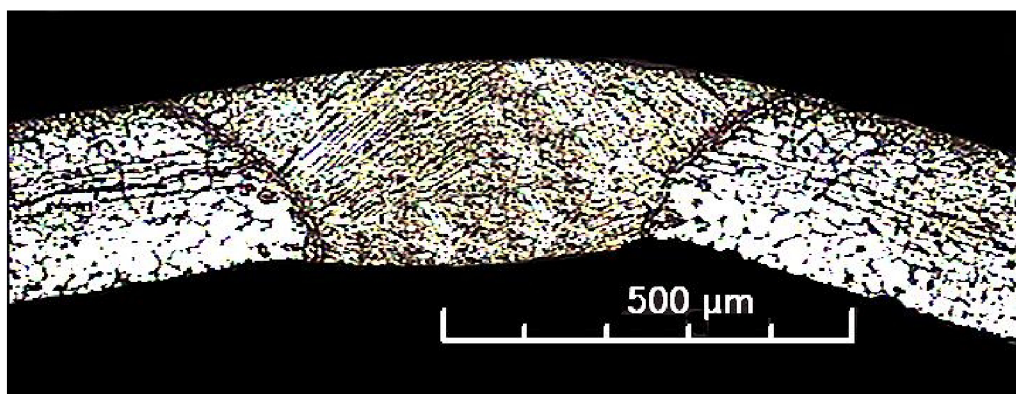
Obr. 9.12 - Detail trhliny po zkoušce tahem

9.6 Metalografické hodnocení

Snímky makroleptů na obrázcích (Obr. 9.13 a 9.14) dokumentují makrostrukturu svarových spojů vzorků.



Obr. 9.13 – svarový spoj TIG



Obr. 9.14 – svarový spoj MP

Žádný ze svarů nevykazuje výskyt vnitřních vad. Taky povrchové vady, jako jsou převýšení housenky, proteklý kořen, přesazení apod., nebyly zjištěny. Pouze vzorek na obr. 9.14 vykazuje mírnou střechovitou.

V obou případech makroleptů (obr. 9.13 a 9.14) je malá šířka tepelně ovlivnitelné oblasti (TOO). Neprojevilo se zhrubnutí zrna svarového materiálu, které je příznakem feritických materiálů.

Vnesené teplo:

$$Q_s = \frac{\mu * U * I}{v_s * 1000} \quad [\text{kJ} * \text{mm}^{-1}] \quad (9.3)$$

μ - účinnost (u obou metod 65%)

v_s - rychlost svařování (u obou metod 2 m/min)

$$\text{TIG: } Q_s = \frac{0,65 * 47 * 10,1}{33,33 * 1000} = 0,00926 \text{ kJ} * \text{mm}^{-1}$$

$$\text{Mikroplazma: } Q_s = \frac{0,65 * 37 * 15}{33,33 * 1000} = 0,011 \text{ kJ} * \text{mm}^{-1}.$$

10 EKONOMICKÉ HODNOCENÍ

Pro porovnání metod svařování je nezbytné udělat cenovou kalkulaci, která určitě napomůže v závěrečném hodnocení. Jelikož jde o velice důvěryhodná čísla, budou některé hodnoty kalkulace změněny oproti skutečnostem tak, aby výsledné porovnání nebylo ovlivněno touto změnou. Všechny ceny jsou uvedeny v Euroch, neboť je hlavní platební měnou firmy. V případě potřeby přepočtu měn je kurz 25,5 Kč/€.

10.1 Výpočet nominálního časového fondu ^[8]

Nominální časový fond zjistíme z kalendářního časového fondu, který je dán počtem dnů v roce (365 dnů v nepřestupném roce, 366 dnů v přestupném roce), odečtením nepracovních dnů. Nominální časový fond v hodinách zjistíme násobením počtu dnů nominálního časového fondu počtem směn v jednom pracovním dnu a počtem pracovních hodin v jedné směně.

Tab. 10.1 - pracovní dny

Počet kalendářních dnů v roce:	365
Počet svátků v roce:	9
Počet pracovních dnů v podniku:	356
Další volné dny (neděle):	52
Dovolená:	20
Max. počet pracovních dnů na zaměstnance:	284
Průměrná nemocnost:	3
Počet pracovních dnů na zaměstnance a rok:	281
Počet směn za den:	3
Počet hodin za směnu:	8

Nominální časový fond F_n :

$F_n = \text{počet pracovních dnů v podniku} \times \text{počet směn za den} \times \text{počet hodin za směnu}$

$$F_n = 356 \times 3 \times 8 = \underline{8544 \text{ hodin}}$$

Nominální časový fond výrobních linek je 8544 hodin/rok.

10.2 Výpočet hodinové sazby výrobní linky

Výpočet hodinové sazby výrobní linky je ve dvou variantách:

- a) Výpočet hodinové sazby linky TIG
- b) Výpočet hodinové sazby linky MP

Základní data pro výpočty:

Tab. 10.2 - základní data pro výpočet hodinové sazby linek

Roční úroková sazba:	6%
Cena energie - cena za kWh:	0,14 €
Spotřebovaná elektřina - rozpočítaná na 1 500 000 m/rok:	0,067 €/m
Hodinová sazba zaměstnance:	7,15 €/hod
Počet zaměstnanců na směně:	2
Mzdové náklady:	14,30 €/hod
Spotřeba Argonu a Vodíku - rozpočítaná na 1 500 000 m/rok:	0,08 €/m
Náhradní díly - rozpočítaná na 1 500 000 m/rok:	0,06 €/m

Tab. 10.3 - Stanovení nákladů na plochu

	Výchozí hodnoty	Doba odpisu	Náklady za rok
Zastavěná plocha:	2 200 m ²		
Zastavěná vedlejší plocha:	220 m ²		
Zastavěná hlavní plocha:	1 980 m ²		
Cena za m ² hlavní plochy za rok:	60,15 €		
Cena za m ² hlavní plochy za měsíc:	5,01 €		
Odpis budovy:	690 000 €	10 let	69 000 €
Údržba budovy:			25 000 €
Údržba okolních ploch:			10 000 €
Náklady na vytápění:			6 000 €
IT / komunikace:	6 000 €	10 let	600 €
Osvětlení:	10 000 €	10 let	1 000 €
Vzduchové hospodářství:	15 000 €	10 let	1 500 €
Větrání:	15 000 €	5 let	3 000 €
Likvidace odpadů:	15 000 €	5 let	3 000 €

10.2.1 Výpočet hodinové sazby linky TIG

Tab. 10.4 - Vstupní data

Požizovací cena linky:	500 000 €
Odpisová doba:	8 let
Odstávky:	5 %
Použitá plocha pro linku:	250 m ²

Měsíční teoretický počet hodin:	$8 \times 3 \times (356 / 12) = 712$ hodin
Měsíční počet hodin (s odstávkou):	$712 \times 5 \% = 712 \times (1 - 0,05) = 676,4$ hodin
Roční odpis:	$500\ 000 / 8 = 62\ 500$ €
Odpis za měsíc:	$62\ 500 / 12 = 5\ 208$ €
Úroky za rok:	$(500\ 000 / 2) \times 6 \% = 15\ 000$ €
Měsíční úroky:	$15\ 000 / 12 = 1\ 250$ €
Cena za plochu:	$250 \times 5,01 = 1\ 253$ €
Celkové měsíční náklady na linku:	$5\ 208 + 1\ 250 + 1\ 253 = 7\ 711$ €
Hodinová sazba linky:	$7\ 711 / 676,4 = 11,40$ €
Hodinové mzdové náklady:	$2 \times 7,15 = 14,30$ €
Celková hodinová sazba:	$11,40 + 14,30 = \underline{\underline{25,7}}$ €

Celková hodinová sazba výrobní linky s TIG metodou svařování je 25,7 €.

10.2.2 Výpočet hodinové sazby linky MP

Tab. 10.5 - Vstupní data

Požizovací cena linky:	280 000 €
Odpisová doba:	8 let
Odstávky:	5 %
Použitá plocha pro linku:	250 m ²

Měsíční teoretický počet hodin:	$8 \times 3 \times (356 / 12) = 712$ hodin
Měsíční počet hodin (s odstávkou):	$712 \times 5 \% = 712 \times (1 - 0,05) = 676,4$ hodin

Roční odpis:	$280\,000 / 8 = 35\,000 \text{ €}$
Odpis za měsíc:	$35\,000 / 12 = 2\,917 \text{ €}$
Úroky za rok:	$(280\,000 / 2) \times 6 \% = 8\,400 \text{ €}$
Měsíční úroky:	$8\,400 \text{ €} / 12 = 700 \text{ €}$
Cena za plochu:	$250 \times 5,01 = 1\,253 \text{ €}$
Celkové měsíční náklady na linku:	$2\,917 + 700 + 1\,253 = 4\,870 \text{ €}$
Hodinová sazba linky:	$4\,870 / 676,4 = 7,2 \text{ €}$
Hodinové mzdové náklady:	$2 \times 7,15 = 14,30 \text{ €}$
Celková hodinová sazba:	$7,2 + 14,30 = \underline{\underline{21,5 \text{ €}}}$

Celková hodinová sazba výrobní linky s metodou svařování mikroplazma je 21,5 €.

10.3 Kalkulace výroby vlnovcové trubky

10.3.1 Kalkulace výroby vlnovcové trubky metodou TIG

Tab. 10.6 - kalkulace TIG linka

Označení linky:	LINKA TIG
Označení materiálu:	1.4521 (AISI 444)
Cena základního materiálu:	3,5 €/kg
Legovací přírážka - květen 2010:	1,3 €/kg
Celková cena:	4,8 €/kg
Rychlost výroby:	2 m/min
Zmetkovitost:	20%
Výkupní cena šrotu:	1,2 €/kg
Hmotnost:	0,239 kg/m
Náklady na materiál:	1,147 €/m
Náklady na linku a mzdy:	0,214 €/m
Náklady na plyny:	0,08 €/m
Náklady na elektřinu:	0,067 €/m
Náklady na náhradní díly:	0,061 €/m

Suma všech nákladů:	1,57 €/m
Cena včetně zmetků:	1,884 €/m
Označení linky:	LINKA TIG
Zisk ze šrotu:	0,049 €/m
Vlastní náklady na trubku:	<u>1,835 €/m</u>

Náklady při výrobě vlnovcové trubky na výrobní lince s TIG jsou 1,835 €/m.

10.3.2 Kalkulace výroby vlnovcové trubky metodou mikroplazma

Tab. 10.7 - kalkulace MP linka

Označení linky:	LINKA MP
Označení materiálu:	1.4521 (AISI 444)
Cena základního materiálu:	3,5 €/kg
Legovací přirážka – květen 2010:	1,3 €/kg
Celková cena:	4,8 €/kg
Rychlost výroby:	2 m/min
Zmetkovitost:	20%
Výkupní cena šrotu:	1,2 €/kg
Hmotnost:	0,239 kg/m
Náklady na materiál:	1,147 €/m
Náklady na linku a mzdy:	0,179 €/m
Náklady na plyny:	0,08 €/m
Náklady na elektřinu:	0,067 €/m
Náklady na náhradní díly:	0,061 €/m
Suma všech nákladů:	1,535 €/m
Cena včetně zmetků:	1,842 €/m
Zisk ze šrotu:	0,049 €/m
Vlastní náklady na trubku:	<u>1,793 €/m</u>

Náklady při výrobě vlnovcové trubky na výrobní lince s mikroplazmou jsou 1,793 €/m.

11. HODNOCENÍ VÝSLEDKŮ EXPERIMENTU

Tenkostěnné trubky z materiálu X2CrMoTi18-2 byly svařeny metodami TIG a mikroplazma. V obou případech vlastní svařování proběhlo bez závažnějších problémů s těmito výsledky:

- Formování pásku před svařováním se potvrdilo u varianty výrobní linky s mikroplazmou kvalitnější a flexibilnější.
- Chemický rozbor pásku prokázal, že se jedná o deklarovaný materiál X2CrMoTi18-2.
- Šířka svaru u metody mikroplazma je podle předpokladu u zkoumaného vzorku užší o 0,6 mm. Šířka svaru u TIG je 1,40 mm, u mikroplazmy 0,80 mm.
- Po zkoušce těsnosti pod vodou tlakem vzduchu 5 bar po dobu minimálně 30 s byl zkoušený svitek u obou metod těsný.
- Všechny zkoušené svary byly vyhodnoceny jako vyhovující z hlediska přítomnosti vnitřních a povrchových vad, převýšení housenky, proteklého kořene apod. Mírná střeovitost svaru u obr. 9.14 je v této míře zanedbatelnou vadou.
- Mikrostruktura svarového spoje – u spoje nedošlo ke zvětšení zrna vlivem vysoké rychlosti svařování. Vysoká rychlost svařování má za důsledek i málo vneseného tepla a malou TOO.
- Základní materiál a všechny zkoušené svary vyhověly i po zkoušce odolnosti proti mezikrystalové korozi dle ČSN 03 8169/A.
- Po tahové zkoušce je mez pevnosti u metody TIG v rozmezí 533 - 538 MPa a u metody mikroplazma 559 - 565 MPa. U obou metod nastala deformace v oblasti svaru (obr. 9.9, 9.10 a 9.11). Hodnoty meze pevnosti všech svarů vyhovují deklarovanému materiálu (viz. Tab. 8.3).

Po ekonomické stránce je výroba vlnovcové tenkostěnné trubky u výrobní linky s metodou svařování mikroplazma levnější oproti výrobní lince s TIG metodou svařování. Vlastní náklady na výrobu vlnovcové trubky u výrobní linky s mikroplazmou jsou 1,793 €/m, u výrobní linky s TIG metodou 1,835 €/m.

12 ZÁVĚR

Cílem práce bylo ověření mechanických vlastností svarového spoje při změně materiálu a navržení optimalizovaných podmínek svařování.

Za korozivzdorný austenitický materiál X2CrNiMo17-12-2 (1.4404; AISI 316L) byl navržen korozivzdorný feritický materiál X2CrMoTi18-2 (1.4521; AISI 444). Hlavním důvodem výběru tohoto materiálu bylo omezené množství niklu v základním materiálu a tím i menší závislost na vývoji cen surovin.

Dle hodnocení výsledků experimentu a požadovaných pracovních podmínek tenkostěnných vlnovcových trubek systému Cats, může po stránce mechanických vlastností materiál X2CrMoTi18-2 nahradit stávající materiál X2CrNiMo17-12-2. Po stránce korozních vlastností je materiál odolný proti mezikrystalové korozi. Odolnost k bodové korozi je podobná jako u stávajícího materiálu. Dle literární studie se očekává menší korozní odolnost nového materiálu na ionty chloru oproti materiálu X2CrNiMo17-12-2.

Celkově hodnotím výrobu tenkostěnných trubek systému Cats výhodnější na výrobní lince s metodou mikroplazma. Hlavní důvody jsou ve stabilnějším svařování, užším svarovém spoji a levnější výrobě.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

1. DVOŘÁK, M. a kol. *Technologie II*, 2vyd. CERM Brno, 7/2004. 237 s. ISBN 80-214-2683-7.
2. KOLEKTIV AUTORŮ. *Materiály a jejich svařitelnost*, 1vyd. Zeross, Ostrava 2001, 292s. ISBN 80-85771-85-3
3. KOLEKTIV AUTORŮ. *Technologie svařování a zařízení*, 1vyd. Zeross, Ostrava 2001, 395s. ISBN 80-85771-81-0
4. KOLEKTIV AUTORŮ. *Navrhování a posuzování svařovaných konstrukcí a tlakových zařízení*, 1vyd. Zeross, Ostrava 1999, 249s. ISBN 80-85771-70-5
5. KOLEKTIV AUTORŮ. *Výroba a aplikované inženýrství ve svařování*, 1vyd. Zeross, Ostrava 2000, 214s. ISBN 80-85771-72-1
6. KOLEKTIV AUTORŮ. *Legislativní a technické podmínky svařování a souvisejících procesů po vstupu do EU*, Výukové středisko ATB Č. 2 při odboru svařování a povrchových úprav, 2004.
7. ČSN EN 1011-3. *Svařování - Doporučení pro svařování kovových materiálů - Část 3: Obloukové svařování korozivzdorných ocelí*. Praha : Český normalizační institut, 2002. 24 s.
8. JUROVÁ, M. *Řízení výroby I - část 2*, CERM Brno, 2005. 138 s. ISBN 80-214-3134-2.
9. *AMPCO METAL* [online]. 2010 [cit. 2010-05-17]. Dostupné z WWW: <www.ampcometal.com>.
10. *EWM* [online]. 2010 [cit. 2010-05-17]. Dostupné z WWW: <www.ewm.de>.
11. *Miller* [online]. 2010 [cit. 2010-05-17]. Dostupné z WWW: <www.millerwelds.com>.
12. *Fronius* [online]. 2010 [cit. 2010-05-17]. Dostupné z WWW: <www.fronius.cz>.
13. *MM Průmyslové spektrum* [online]. 2010 [cit. 2010-05-17]. Dostupné z WWW: <www.mmspektrum.com>.
14. BLAŠČÍK, F. a kol. *Technológia, zlievárenstva a zváranie*, 1vyd. ALFA Bratislava 1988, 830s. ISBN 063-563-87.

15. *KME* [online]. 2010 [cit. 2010-05-18]. Metal prices. Dostupné z WWW:
<http://www.kme.com/en/services/metal_prices/index.php?riga=200&valuta2=EUR&datada=01.01.2008&dataa=23.07.2008&nat=DE&application=pmk025w.pgm>
16. *ThyssenKrupp Nirosta Präzisionsband* [online]. 2010 [cit. 2010-05-18]. Alloy Surchage 2010. Dostupné z WWW: <http://www.nirosta-praezisionsband.eu/Alloy_Surchage.38.0.html?&no_cache=1&L=1>.
17. *OUTOKUMPU* [online]. 2008 [cit. 2010-05-19]. Dostupné z WWW:
<<http://www.outokumpu.com/>>.

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

ZKRATKA / SYMBOL	JEDNOTKA	POPIS
A	[---]	Ampér (jednotka elektrického proudu).
CAD	[---]	Computer aided design (počítačem podporované projektování)
CH ₄	[---]	Metan (bahenní plyn).
Cr ₂₃ C ₆	[---]	Karbid chromu.
Cr _E	[---]	Ekvivalent chromu.
ČSN	[---]	Česká technická norma.
eV	[---]	Elektronvolt (jednotka energie).
I	[A]	Elektrický proud.
ISO	[---]	Mezinárodní organizace pro normalizaci.
K	[---]	Kelvin (jednotka teploty).
MAG	[---]	Metal Aktiv Gas (svařování v ochraně aktivního plynu tavící se elektrodou).
MHz	[---]	Megahertz (hertz je jednotka frekvence).
MIG	[---]	Metal Inert Gas (svařování v ochraně inertního plynu tavící se elektrodou), např. argon, směsné plyny apod.
MOG	[---]	Metal ohne Gas (svařování bez ochranného plynu).
MP	[---]	Mikroplazma.
NH ₃	[---]	Amoniak (čpavek).
Ni _E	[---]	Ekvivalent niklu.
Ohm	[---]	Jednotka elektrického odporu.
ppm	[---]	Desítitisícina procenta.
sec.	[---]	Sekunda.
TIG	[---]	Tungsten Inert Gas (stejný význam jako WIG).
TOO	[---]	Tepelně ovlivněná oblast.
U	[V]	Elektrické napětí.
V	[m ² ×kg× ⁻³ ×A ⁻¹]	Volt (jednotka elektrického napětí).
WIG	[---]	Wolfram Inert Gas (svařování v ochraně inertního plynu netavící se elektrodou).
μ	[%]	Účinnost.
Q _s	[kJ × mm ⁻¹]	Vnesené teplo.
v _s	[m/min]	rychlost svařování.