

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
FAKULTA STROJNÍ

Studijní program: N2301 Strojní inženýrství
Studijní obor: 3911T016 Materiálové inženýrství a
strojírenská metalurgie

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Robotizace svařecích procesů

Autor: **Bc. Ján Kožehuba**

Vedoucí práce: **Ing. Igor Vilcsek Ph.D.**

Akademický rok 2017/2018

Prohlášení o autorství

Předkládám tímto k posouzení a obhajobě diplomovou práci, zpracovanou na závěr studia na Fakultě strojní Západočeské univerzity v Plzni.

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracoval samostatně, s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených v seznamu, který je součástí této diplomové práce.

V Plzni dne:

.....
podpis autora

ANOTAČNÍ LIST DIPLOMOVÉ (BAKALÁŘSKÉ) PRÁCE

AUTOR	Příjmení Bc. Kožehuba	Jméno Ján	
STUDIJNÍ OBOR	3911T016 „Materiálové inženýrství a strojírenská metalurgie“		
VEDOUcí PRÁCE	Příjmení (včetně titulů) Ing. Vilčšek Ph.D.	Jméno Igor	
PRACOVIŠTĚ	ZČU - FST - KMM		
DRUH PRÁCE	DIPLOMOVÁ	BAKALÁŘSKÁ	Nehodící se škrtněte
NÁZEV PRÁCE	Robotizacia zvaracích procesov		

FAKULTA	strojní	KATEDRA	KMM	ROK ODEVZD.	2018
----------------	---------	----------------	-----	--------------------	------

POČET STRAN (A4 a ekvivalentů A4)

CELKEM	77	TEXTOVÁ ČÁST	47	GRAFICKÁ ČÁST	30
---------------	----	---------------------	----	----------------------	----

<p style="text-align: center;">STRUČNÝ POPIS (MAX 10 ŘÁDEK)</p> <p>ZAMĚŘENÍ, TÉMA, CÍL POZNATKY A PŘÍNOSY</p>	<p>Táto diplomová práca sa zaoberá robotizáciou zvaracích procesov, a to určením vhodného technologického postupu pri zvaraní antikoročných austenitických ocelí o sile 2 mm, ktoré sa používajú na výrobu tlakových nádrží. Teoretická časť sa venuje vhodnej technológii zvarania a jej navrhnutia. Technológie vhodné pre robotické zvaranie sú MIG/MAG, WIG, zvaranie laserovým lúčom a plazmou. Ako vhodnú a hlavne dostupnú technológiu testujem MAG. Následne sa zaoberá voľbou vhodných zvaracích parametroch, prúdu, napätie, a zvaracej rýchlosti, ktorá celý tento proces ovplyvňuje. Praktická časť je venovaná hlavne testovaniu zvarov za použitia robota a technológie MAG. Vyhodnotenie kvality zvarov je docielené pomocou deštruktívnych a nedeštruktívnych skúšok a následné určenie ich výhodnosti pre proces robotizovaného zvarania.</p>
<p style="text-align: center;">KLÍČOVÁ SLOVA</p> <p>ZPRAVIDLA JEDNOSLOVNÉ POJMY, KTERÉ VYSTIHUJÍ PODSTATU PRÁCE</p>	<p>Zvarací robot, zvaracie parametre, antikoročné austenitické ocele, rýchlosť zvarania, WIG, MIG</p>

SUMMARY OF DIPLOMA (BACHELOR) SHEET

AUTHOR	Surname Bc.Kožehuba	Name Ján	
FIELD OF STUDY	3911T016 "Material Engineering and Engineering Metallurgy"		
SUPERVISOR	Surname (Inclusive of Degrees) Ing. Igor Vilcsek Ph.D.	Name Igor	
INSTITUTION	ZČU - FST - KMM		
TYPE OF WORK	DIPLOMA	BACHELOR	Delete when not applicable
TITLE OF THE WORK	Robot welding processes		

FACULTY	Mechanical Engineering	DEPARTMENT	KMM	SUBMITTED IN	2018
----------------	------------------------	-------------------	-----	---------------------	------

NUMBER OF PAGES (A4 and eq. A4)

TOTALLY	77	TEXT PART	47	GRAPHICAL PART	30
----------------	----	------------------	----	-----------------------	----

BRIEF DESCRIPTION TOPIC, GOAL, RESULTS AND CONTRIBUTIONS	<p>This diploma thesis deals with the robotization of welding processes by determining the appropriate technological process for the welding of 2 mm thick stainless steel austenitic steels used for the production of pressure tanks. The theoretical part focuses on suitable welding technology and its design. Technologies suitable for robotic welding are MIG / MAG, WIG, laser beam welding and plasma. As a suitable and most available technology, I am testing MAG. Subsequently, it deals with the choice of suitable welding parameters, current, voltage, and welding speed that all the process implies. The practical part is devoted mainly to the testing of welds using the robot and MAG technology. The evaluation of the weld quality is achieved by means of destructive and non-destructive tests and subsequent determination of their suitability for the robotic welding process.</p>
KEY WORDS	<p style="text-align: center;">Welding Robot, Welding Parameters, Austenitic Steels, Welding Speed, WIG, MIG</p>

Diplomová práce vznikla na základě řešení studentského projektu SGS – 2016-036 „Analýza, vývoj a modifikace strojírenské technologie v oblasti objemového zpracování moderních materiálů, využívaných v oblasti energetických strojů, dopravních prostředků a souvisejících strojírenských aplikací.“

Presentované výsledky byly finančně podpořeny Ministerstvem školství, mládeže a tělovýchovy - projekt LQ1603 Výzkum pro SUSEN. Práce byla realizována na velké infrastruktuře Udržitelná energetika (SUSEN) vybudované v rámci projektu CZ.1.05/2.1.00/03.0108 a CZ.02.1.01/0.0/0.0/15_008/0000293.

Za cenné rady a pripomienky by som touto cestou rád poďakoval pánovi Ing. Igor Vilcsek Ph.D.. A tiež by som rád poďakoval Ing. Petr Beneš, Ph.D. za odborné rady pri skúškach zvarov v praktickej časti a hodnotné informácie k jej vypracovaniu.

Obsah

1	Úvod do problematiky robotizácie zvárania	9
1.1	Roboty a robotické systémy	9
1.1.1	Rozdelenie priemyselných robotov	10
1.1.2	Schéma robotizačného zváracieho pracoviska	11
1.1.3	Technologické hlavice pre zváranie na robotoch	12
1.2	Charakteristika robotizovaného zvárania	12
1.2.1	Definícia zvárania	12
1.2.2	Fyzikálna, metalurgická a metalografická podstata tavného zvárania	13
1.2.3	Metalurgické deje pri tavnom zváraní	13
1.2.4	Teplotné pole a cyklus pri tavnom zváraní	14
1.2.5	Zvarový spoj	15
1.3	Metody vhodné na robotizované zváranie	16
1.3.1	MIG/MAG zváranie	17
1.3.2	TIG/WIG zváranie	18
1.3.3	Zváranie plazmou	20
1.3.4	Zváranie laserom	21
1.3.5	Výhody a nevýhody pre použitie v robotizačnom zváraní	23
1.4	Materiály vstupujúce do procesu robotizovaného zvárania	23
1.5	Ochranné plyny	24
1.6	Vhodné polohy pri zváraní	26
1.7	Plyny používané na sekundárnu ochranu	26
1.8	Zdroje prúdu vhodné pre zváranie na robotizačných pracoviskách	26
1.8.1	Rozdelenie zváracích zdrojov	26
1.8.2	Digitálne zváracie zdroje vhodné pre robotizačné zváranie	26
1.9	Deformácie a vady vznikajúce pri zváraní	27
2	Dôvody pre navrhnutie robotizovaného zvárania	30
2.1	Zvariteľnosť antikoročných ocelí	30
2.2	Antikoročné ocele	31
2.2.1	CHROM NIKLOVÁ austenitická nestabilizovaná X5CrNi 18-10	32
2.2.2	CHROM NIKLOVÁ austenitická nestabilizovaná molybdenová nízkouh.	33
2.2.3	CHROM NIKLOVÁ austenitická stabilizov. titanom, molybdenová	34

2.3	Parametre ovplyvňujúce zváranie antikoročných ocelí	34
2.3.1	Prenos kovu v oblúku	35
2.3.2	Zváracie napätie	35
2.3.3	Zvárací prúd	36
2.3.4	Zváracia rýchlosť	37
2.3.5	Druh a polarita zváracieho prúdu	38
3	Vyhodnotenie navrhutej technológie zvárania.....	39
3.1	Priebeh praktickej skúšky	39
3.1.1	Prídavný materiál	45
3.2	Schéma skúšky	46
3.3	Príprava vzoriek pre skúšky robotizačného zvárania	46
3.4	Nedeštruktívne skúšky.....	48
3.4.1	Kapilárna skúška podľa ČSN EN ISO 3425-1	48
3.4.2	Vizuálna kontrola podľa ČSN EN ISO 6520-1	48
3.4.3	Radiografické skúšanie RTG podľa ČSN EN ISO 17636-1	55
3.5	Deštruktívne skúšky	58
3.5.1	Priečna skúška ťahom podľa ČSN EN ISO 4136	58
3.5.2	Makroskopická kontrola zvarov podľa ČSN ISO 17639	60
3.6	Hodnotenie kvality skúšaných zvarov	65
3.7	Navrhnutá technológia robotizačného zvárania	66
3.7.1	WPS - špecifikácia postupu zvárania	68
3.8	Ekonomicko-technologické hodnotenie	69
4	Záver	70
	Zoznam použitých zdrojov	71
	Zoznam symbolov a skratiek	73
	Zoznam obrázkov	74
	Zoznam tabuliek	76
	Zoznam grafov.....	77
	Zoznam príloh.....	77

1 Úvod do problematiky robotizácie zvarovania

Zvarovanie je nenahraditeľná technológia v strojárskych oblasti výroby. Súčasný trend sa pohybuje k plnej automatizácii a robotizácii každej technológie a to platí aj v oblasti zvarovania. Táto diplomová práca sa zaoberá robotizáciou zvarovania jej zjednodušením, zefektívnením, urýchlením a zvýšením kvality použitím dostupných prostriedkov. Hlavným cieľom je dosiahnuť pomocou zvaracieho robota kvalitnú a efektívnu technológiu zvarovania. Robot je schopný bez zmeny opakovať rovnakú činnosť s dodržaním rovnakých parametrov. Na jeho činnosť nemá vplyv škodlivé prostredie a ani stále sa opakujúca monotónna činnosť a preto je vhodný do sériovej a hromadnej výroby. V porovnaní s ručným zvarovaním preukazuje mnoho výhod, ale v niektorých prípadoch je možné hovoriť aj o nevýhodách, ktoré sme schopný odstrániť vhodným technologickým postupom. Práca sa zaoberá austenitickými koróziivzdornými ocelami, ktoré sa v súčasnosti zaraďuje k najpoužívanejším koróziivzdorným oceliam, ktoré majú uplatnenie v automobilovom, chemickom a potravinárskom priemysle. Pri zvarovaní tejto ocele dochádza k deformáciám, s ktorými si zvaráč počas zvarovania vie poradiť v reálnom čase, ale robot tieto náhle a nečakané deformácie počas cyklu zvarovania nevníma a preto je potrebné nastaviť ideálny zvarací postup. Pri procese zvarovania vznikajú teplom ovplyvnené oblasti, v ktorých je väčšia náchylnosť ku korózii, voľbou vhodných parametrov je možné sa týmto javom vyhnúť. Hlavná časť je zameraná na voľbu optimálnych zvaracích parametrov, ktoré dokáže robot počas celej trajektórie zvarovania dodržať, a to zvarací prúd, zvaracie napätie a konštantnú rýchlosť zvarovania. Po zavarení skúšobných vzoriek boli tieto vzorky podrobené deštruktívnym a nedeštruktívnym skúškam na základe, ktorých sme vyhodnotili optimálne a ideálne parametre pre zvaracieho robota. Skúšaný plech bol o hrúbke 2mm, čo je najčastejšie používaný plech na výrobu plášťov tlakových nádob. Tento druh zvarovania predurčuje túto technológiu úplne zjednodušiť, zrýchliť a čiastočne vylúčiť chyby vznikajúce pri ručnom zvarovaní.

1.1 Roboty a robotické systémy

Podľa definície ISO (Internationál Standarts Organization) robot je viacúčelové predprogramovateľné zariadenie s riadením polohy výkonného člena vo viacerých pohybových osiach, určené na manipuláciu so súčiastkami, nástrojmi a špecifickými prvkami potrebnými na plnenie rôznych úloh.

V súčasnej dobe sú priemyselné roboty najefektívnejší systém pre automatizované oblúkové zvarovanie v hromadnej a sériovej výrobe, dokážu presne opakovať naučené dráhy a použitím moderných horákov a vyhľadávacích zariadení produkovať presné, rýchle a kvalitné zvary. Za použitia prídavných osí, polohovadiel dokážu zvarať skoro vždy v ideálnej polohe. V dnešnej dobe je ponúkané široké spektrum priemyselných robotov ktoré je možné aplikovať do automatizovaných zvaracích procesov. Vďaka týmto systémom sme schopný projektovať plno automatizované zvaracie pracovisko schopné práce bez priameho zásahu človeka. Pre tieto podmienky človek vytvára základný program, ktorý pri malých odchýlkach je robot schopný korigovať na ideálne podmienky.

1.1.1 Rozdelenie priemyselných robotov

sú univerzálne použiteľné automaty pre vykonávanie manipulačných operácií, ktoré zastávajú funkciu človeka, predovšetkým pri výrobnom stroji. Sú programovateľné v niekoľkých osiach a pomocou chápadiel, nástrojov a senzorov môžu vykonávať veľké množstvo rôznych pracovných úkonov. Uplatňujú sa v kusovej aj veľkosériovej výrobe. Zložitosť a objem riadiaceho systému určuje tzv. generáciu robotov.

Roboty prvej generácie sú manipulačné zariadenia s programovým riadením, určené pre vykonávanie pevne naprogramovaných postupných operácií. Program je zostavený k dosiahnutiu cieľa a činnosti pre určenú výrobnú operáciu, ktorá je stála. Pri zmene cieľa alebo situácie sa uskutoční zmena programu. Jednoduchosť zmeny programu ich robí dostatočne univerzálnymi v systéme „zdvihni a umiestni“.

Roboty druhej generácie sú roboty vyššej úrovne vybavené vnímaním pomocou širokej rady senzorov, alebo videním pomocou kamery. Systém „urob a over“ alebo „oko – ruka“.

Roboty tretej generácie sú inteligentné roboty. Elementy umelej inteligencie dávajú schopnosť prispôbovať sa zmeneným podmienkam, učiť sa a môžu tak samostatne riešiť zadané úlohy. Stavebnými prvkami robotov s umelou inteligenciou sú vizualizácie, hlasová komunikácia, rozpoznávanie a orientácia v prostredí. [1,2,]

Zo štruktúrneho hľadiska sa robot skladá z týchto hlavných častí:

- **Mechanický subsystém** - patrí sem základné teleso, rameno, zápästie a koncový efektor.
- **Riadiaci systém** –väčšinou sa rieši ako samostatný konštrukčný celok. Zabezpečuje záznam a udržiavanie programu v pamäti, prenos údajov na pohonné jednotky, prenos údajov z polohových snímačov do pamäte, riadenie pohybov a pracovných polôh, tvorbu programu a spracovanie informácií potrebných na optimálnu činnosť.
- **Pohonový systém** – transformuje energiu z primárneho zdroja (napr. El. sieť) na mechanický pohyb s požadovanými charakteristikami polohovania, dráhy pohybu, rýchlosti a pod. Môže sa koncipovať ako elektrický, hydraulický, pneumatický alebo kombinovaný.
- **Systém snímačov** – reprezentuje sústavu senzorov, ktoré vysielajú spätnoväzbové signály o stave hlavných mechanizmov robota (polohy a rýchlosti pohybových osí a pod.), pracovného okolia robota a prvkov na transformáciu a prenos informácií.

Do mechanického subsystému patrí základné teleso, rameno, zápästie a koncový efektor.

Programovanie robotov

Robot svoju činnosť vykonáva podľa vopred pripraveného programu. Program je definovaný ako postupnosť príkazov, ktoré vedú k vykonaniu požadovanej. Programovanie robota definujeme ako zostavovanie a tvorbu programu na základe vytvoreného algoritmu. Podľa prístupu k tvorbe programu delíme programovanie na:

- on-line programovanie (programovanie pri robote cez pendant)

- off-line programovanie (programovanie mimo robota na PC)

Manipulačné roboty predovšetkým vykonávajú operácie, zmeny polohy objektov, ich orientáciu, ustavenie a upínanie. Typické aplikácie týchto robotov sú pri obsluhu výrobných strojov, paletizácii a depaletizácii, transporte objektov a podobne.

Technologické roboty priamo vykonávajú technologické funkcie pri zmene geometrického tvaru, rozmerov, stavu povrchu objektov a pod. Typické aplikácie tejto triedy reprezentujú napr. zvaracie, montážne a striekacie roboty.

Aplikácie robotov na priame vykonávanie technologických operácii možno rozdeliť podľa operácii na : tvarovanie, oddeľovanie, povrchové úpravy, zváranie, montáž.[15]

1.1.2 Schéma robotizačného zvaracieho pracoviska



Obrázok 1.1.2-1 Hlavné časti robota

1 - základňa, 2 – dolná časť ramena, 3 – horné rameno, 4 – zápästie, 5 – horák, 7 – riadiaci systém, 6 – zvarací zdroj[13]

Vybavenie zvaracích pracovísk

V súčasnosti je najprepracovanejšie zoskupenie priemyselný robot - automatické polohovadlo (manipulátor obrobku) – zvaračské vybavenie. Podľa druhu obrobku môže sa zvaračské pracovisko zostaviť s polohovadlom jedného alebo viacerých obrobkov, s pojazdom robota pri dlhých dielcoch. Manipulácia s obrobkami pri ustanovení na polohovadlo sa spravidla vykonáva ručným manipulátorom, ale je možné do plnoautomatizovaných cyklov zapojiť aj podávacieho robota. V uvedenom zoskupení je dôležité zabezpečiť úplnú automatizáciu zvaracieho cyklu, čo zabezpečuje priemyselný robot, vonkajší senzorický systém a jednotky automatického riadenia režimu zvaracích parametrov. V špecifických podmienkach môže pohyby zabezpečovať polohovadlo s obrobkom, pričom horák je upevnený v jednej polohe.

1.1.3 Technologické hlavice pre zváranie na robotoch

V strojárskych výrobných procesoch základnými druhmi technologických hlavíc sú:

- Hlavice na bodové a oblúkové zváranie
- Hlavice na striekanie farieb, tmelov a pod.
- Hlavice na priame obrábanie(vŕtanie, frézovanie, brúsenie a pod.
- Hlavice na montáž [16]



Obrázok 1.1.3-1 Horák MIG [14]



Obrázok 1.1.3-2 Horák WIG/TIG [14]

1.2 Charakteristika robotizovaného zvárania

Pre nastavenie optimálnych vlastností robotizovaného zvárania je nutné spojiť mnoho faktorov, ktoré zabezpečia efektívny a kvalitný zvárací proces, ktorý pozostáva z výberu vhodnej technológie zvárania, určenia jej vhodných zváracích parametrov (prúdu, napätia, posuvu), ochranného plynu, prídavného materiálu a v poslednej rade jej kontroly.

1.2.1 Definícia zvárania

Zváranie je proces, ktorý slúži k vytvoreniu trvalého, nerozoberateľného spoja dvoch alebo viacerých súčastí. Obecnou požiadavkou na proces zvárania je vytvorenie takých podmienok, pri ktorých je možný vznik nových medzi atómových väzieb za okolitých podmienok (bežná teplota, tlak), kde je termodynamický stav materiálov stabilný respektíve nestabilný, je potrebné tento termodynamický stav zmeniť. Preto je pri zváraní potrebné prispôbiť tlak, teplo alebo obidva faktory súčasne.

Zváranie je jedným z najekonomickejších a najefektívnejších spôsobov spájania materiálu. Je to zároveň jediný spôsob ako spojiť dva a viac kusov kovu, ktoré výsledne slúžia ako jeden kus. Zváranie sa zaraďuje medzi vysoko hodnotené priemyselné procesy a zahrňuje viacero vedeckých odvetví a možností ako iné priemyselno-pracovné procesy.

Zvárať je možné kovové ale aj nekovové materiály, materiály podobných aj rôznych vlastností. Ale pre rôzne typy spojov a materiálov sú vhodné metódy zvárania. Pri zváraní nie sú rozhodujúce len vlastnosti základného materiálu použitého pre výrobu jednotlivých dielov, alebo vlastnosti prídavného materiálu, ale aj deformačný účinok zvárania na základný

materiál. Pri zváraní dôjde vždy ku zmene fyzikálnym alebo mechanickým vlastnostiam základného materiálu(spojovaného) v okolí spoja. [3,4]

1.2.2 Fyzikálna, metalurgická a metalografická podstata tavného zvárania

Zvárané spoje sa líšia od spojov lepených (založených iba na vytvorení fyzikálnej väzby medzi elementárnymi časticami) pôsobením difúzných dejov pri ich výrobe. Zvárané spoje preto treba hodnotiť nielen z pohľadu vytvorenej fyzikálnej väzby, ale aj podľa priebehu difúzných dejov. Medziatómová alebo medzimolekulárna väzba medzi spájanými materiálmi vznikne pri veľmi tesnom priblížení elementárnych častíc, pri ktorom začnú pôsobiť medzi časticami kohézne sily. Takéto stavy zoskupenia elementárnych častíc možno vytvoriť nasledovnými spôsobmi:

- Prirodzenou cestou pri tuhnutí (kryštalizáciou)
- Pôsobením vysokých tlakov a deformácie

Difúzia sa definuje ako vzájomný pohyb elementárnych častíc v kovoch. V plynch a kvapalinách prebieha difúzia veľmi rýchlo, čo sa vysvetľuje voľným pohybom elementárnych častíc v plynch a v kvapalinách. V pevných látkach je pohyb atómov obmedzený, preto aj difúzia v pevných kovoch prebieha veľmi pomaly (najmä pri nízkych teplotách). So stúpajúcou teplotou sa difúzne deje v pevných kovoch urýchľujú, čo sa účelne využíva pri zváraní v pevnom stave. Vznik medzi atómových väzieb ako aj priebeh difúzie v kovoch ovplyvňujú tieto faktory: teplota, čas a tlak. Podľa ich účasti v procese zvárania možno vyrábať zvárané spoje na viacerých princípoch napr. tavné, spájkované, tlakové za studena, difúzne zváranie.

Tavné zváranie sa realizuje pri vysokých pracovných teplotách (vyšších ako sú teploty tavenia základného a prídavného materiálu), obyčajne bez tlaku a relatívne krátkeho času. Miestnym natavením zvarových plôch základných materiálov a od tavením potrebného množstva prídavného materiálu sa vytvorí pri tavnom zváraní spoločný zvarový kúpeľ. Potrebná fyzikálna väzba vznikne počas tuhnutia (kryštalizácie) zvarového kúpeľa. Táto väzba sa ďalej spevňuje s poklesom teploty pri chladnutí spoja v súlade so zmenami vlastností spájaných kovov vyvolanými zmenou teploty. Počas ohrevu, tavenia a chladnutia prebiehajú pri zváraní zložité difúzne deje, ktorých priebeh môže podstatne ovplyvniť úžitkové vlastnosti vyrábaných zvarových spojov. Svojim priebehom sa podobajú taveniu, tuhnutiu a chladnutiu kovov v hutníckej výrobe. Preto sa tiež nazývajú metalurgické deje pri zváraní.[3]

1.2.3 Metalurgické deje pri tavnom zváraní

Počas výroby zvarového spoja tavným zváraním, dochádza v oblastiach zvarového spoja k pomerne zložitým metalurgickým dejom. Pri tavnom zváraní majú svoj špecifický priebeh, čo vyplýva z týchto skutočností:

- a) Pri tavnom zváraní sa materiály natavujú len lokálne väčšia časť zváraných materiálov ostáva v pevnom stave a vytvára podmienky na udržiavanie tekutého kovu v žiadanej polohe,

- b) Pri tavnom zvaraní sa vytvára len veľmi malý objem tekutého kovu, ktorý sa v tekutom stave udržuje len veľmi malú dobu,
- c) Teplota zvarového kúpeľa sa počas zvarania mení a to často v značnom intervale teplôt (podľa druhu použitého tepelného zdroja),
- d) Čas tuhnutia (kryštalizácie) zvarového kúpeľa je veľmi krátky,
- e) Rýchlosť chladnutia zvarového spoja na teplotu miestnosti je relatívne vysoká.

Uvedené skutočnosti spôsobujú, že väčšina metalurgických dejov prebieha pri tavnom zvaraní často v nerovnovážnych podmienkach. Na zabezpečenie ich priebehu v požadovanom smere a rozsahu sa vyžadujú zvláštne opatrenia (vhodné chemické zloženie prídavných materiálov a ochranných plynov, tavivá alebo trosky). Pri ohreve základného materiálu na pracovnú teplotu môže prebiehať ich intenzívna povrchová oxidácia, pri niektorých kovoch tiež nežiaduce naplynenie (rozpúšťanie plynov).

V zvarovom kúpeľi, najmä pri prenose kovu v oblúku, môžu pri tavnom zvaraní prebiehať tieto metalurgické deje:

- a) Reakcia tekutého kovu s plynmi.
- b) Reakcia tekutého kovu s tavidlami a troskami,
- c) Reakcia tekutého kovu s legúrami a dezoxidačnými prísadami.

Pri tuhnutí zvarového kúpeľa (v čase je kryštalizácie) prebiehajú tieto metalurgické deje:

- a) Vznik kryštalizačných zárodkov
- b) Rast kryštálov
- c) Difúzne deje vo vnútri rastúcich zrn.

Počas chladnutia zvarového spoja prebiehajú v tuhom stave tieto metalurgické deje:

- a) Difúzne deje smerujúce k rovnovážnemu stavu
- b) Štruktúrne premeny v tuhom stave
- c) Zmeny štruktúry za studena tvárneho alebo tepelného spracovania základného materiálu
- d) Rast zrna

Väčšina metalurgických dejov je založená na difúzii. Ich priebeh je prednostne funkcie teploty, času a koncentrácie difúzných prvkov.[7]

1.2.4 Teplotné pole a cyklus pri tavnom zvaraní

Pri procese zvarania dochádza pôsobením sústredeného zdroja tepla ku krátkodobému intenzívnemu ohrevu materiálu na vysoké teploty. Vneseným teplom sa natavuje malý objem kovu, ale v dôsledku tepelnej vodivosti sa ohrieva aj okolitá oblasť základného materiálu. Behom krátkej doby sa teplota kovu v mieste zvarania mení vo veľmi širokom rozsahu od teploty miestnosti až po teplotu tavenia.

Rozloženie teploty v zvaranom materiály je závislé na zdroji tepla, rýchlosti zvarania a druhu zvarového materiálu. Z hľadiska zvarania je najdôležitejší tepelný príkon Q ($\text{kJ}\cdot\text{mm}^{-1}$).

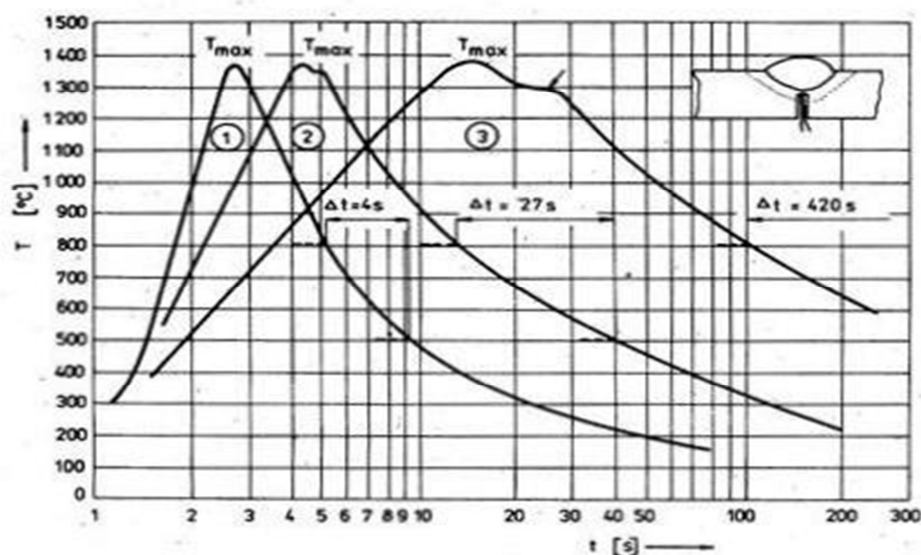
Vyjadrený rovnicou: $Q = k \times E = k(U \times I/v) \times [10]^{(-3)} \quad (kJ. [mm]^{(-1)})$

Kde U je napätie (V), I je prúd (A), v je rýchlosť zvarovania ($mm.s^{-1}$) a k je koeficient účinnosti postupu zvarovania. [5]

Teplotný cyklus pri zvaraní udáva zmenu teploty v závislosti na čase v danom mieste zvaraného spoja a to predovšetkým tepelne ovplyvnenej oblasti (TOO). Veľkosť a charakter zmien je možné hodnotiť podľa:

- Času ohrevu na maximálnu teplotu, alebo rýchlosť ohrevu ($^{\circ}C, s^{-1}$)
- Najvyššej hodnoty cyklu t_{max} ($^{\circ}C$)
- Doba výdrže na danej teplote (s)
- Rýchlosť ochladzovania ($^{\circ}C, s^{-1}$)

Schéma teplotných cyklov pre jednotlivé technológie je na obr.4. U väčšiny oblúkových technológií zvarovania sa rýchlosť ohrevu pohybuje v rozmedzí $50-400^{\circ}C.s^{-1}$. Vplyvom vysokej rýchlosti ohrevu sa posúvajú teploty A_1 a A_3 k vyšším teplotám o $50-300^{\circ}C$. Ochladzovacia vetva teplotného cyklu má vplyv na polymorfne premeny a difúziu vodíka.



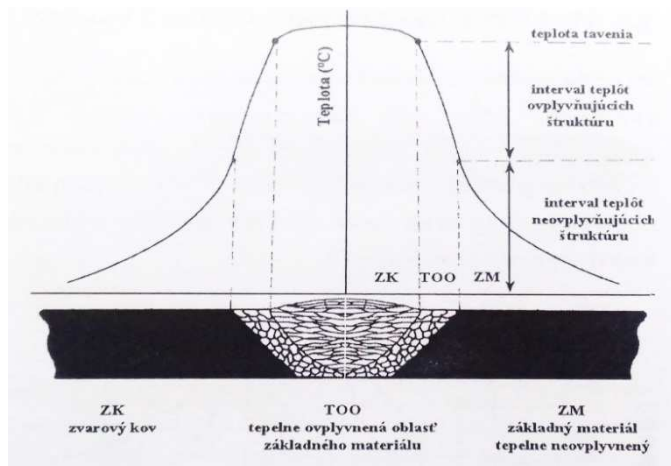
Obrázok 1.2-1 Teplotné cykly podhúsenicovej oblasti

1 - zvarovanie el. oblúkom obalenou elektródou, 2 - zvarovanie automatom pod tavidlo, 3 - elektrostruskové zvarovanie [2]

1.2.5 Zvarový spoj

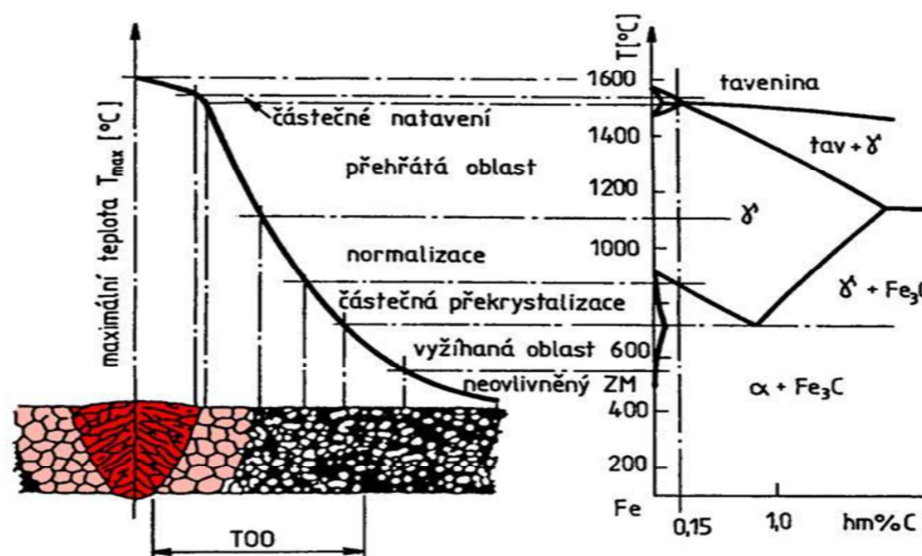
Zvarový kov vzniká tavením základného a prídavného materiálu. Proces vzniku je turbulentný. Podiel nataveného základného materiálu v zvarovom kove nazývame premiešanie. Pri zvaraní koreňovej časti spoja je premiešanie vyššie ako pri zvaraní výplňovej časti. Zvarový spoj možno rozdeliť podľa maximálnej teploty do týchto troch základných oblastí obr.5.

- Zvarový kov (ZK) predstavuje oblasť spoja, ktorá bola pri zváraní priamo natavená, teda vyhriata nad teplotu tavenia základných materiálov,
- Tepelne ovplyvnená oblasť (TOO) predstavuje oblasť spoja vedľa zváraného kovu, ktorá bola vyhriata na také teploty, ktoré ovplyvnili štruktúru základných materiálov,
- Základný materiál teplom pri zváraní neovplyvnený (ZM) predstavuje oblasť spoj s pôvodnou štruktúrou.



Obrázok 1.2-2 Charakteristické oblasti zváraného spoja [3]

Šírka jednotlivých oblastí zváraného spoja je závislá na teplotnom režime zvárania, vlastnostiach základného materiálu a na vlastnej metóde zvárania. Zmenu teploty počas zvárania v určitom mieste spoja charakterizuje teplotný cyklus zvárania.[4,5,6]



Obrázok 1.2-3 Vplyv teplotného účinku zvárania na štruktúru zváraného spoja[4]

1.3 Metody vhodné na robotizované zváranie

Pre robotizačné zváranie sú vhodné technológie, ktoré sa dajú plne automatizovať, to znamená, že celý ich proces je možné vykonať bez priameho zásahu človeka. Obsluha definuje zvaracie požiadavky (Parametre) pomocou diaľkového ovládania (zvaracieho zdroja)

a robot pomocou zváracieho horáka ich vykoná. V súčasnosti je možné plne automatizovať pomocou robota tieto druhy zvárania: MIG/MAG, TIG, Plazma, Laser a elektrónové zväračky.

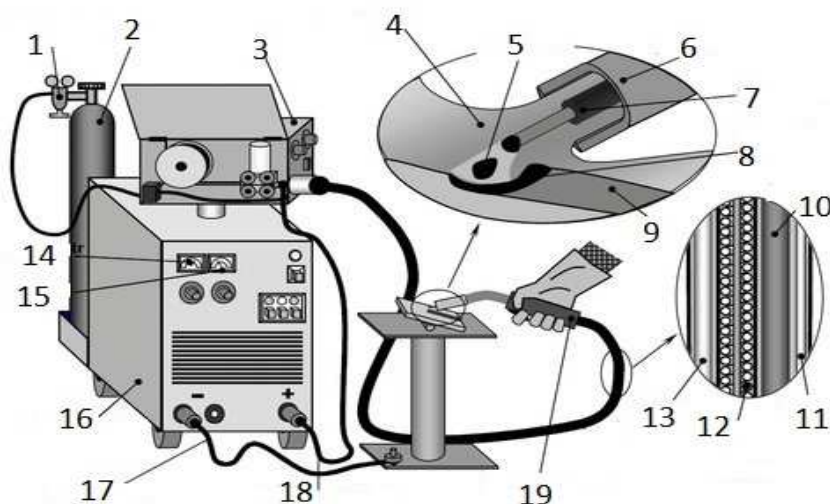
1.3.1 MIG/MAG zváranie

Pre zváraciu techniku MIG/MAG znamenajú posledné roky skutočný kvantový skok. Prúdové zdroje a zváracie postupy zaznamenali zásadné vylepšenie, pričom v niektorých oblastiach boli dosiahnuté úplne nové normy. Iniciátorom tohto inovačného impulzu sú z jednej strany nové materiály a nové aplikácie, avšak z druhej strany aj stále sa rozširujúce použitie vyspelej mikroelektroniky a digitálnej techniky. Pre pochopenie už veľakrát uverejnených nových technológií je veľmi užitočné fundované základné porozumenie. Preto tu je potrebné vysvetliť všeobecné aspekty zvárania MIG/MAG.

Princíp

Pri zváraní MIG/MAG je odtajujúca kovová elektróda súčasne aj zváracou prísadou a nositeľom oblúka. Cez dve alebo štyri hnacie kladky sa „nekonečný“ zvárací drôt dostáva do zváracieho horáka, kde na takzvanej kontaktnej rúrke dochádza k prechodu prúdu. Voľný koniec drôtu je koncentricky obklopený plynovou dýzou. Ochranný plyn prúdiaci von bráni chemickým reakciám horúceho povrchu zvarenca s okolitým vzduchom. Pevnosť a húževnatosť zvarenca sa tak zachová. Ako ochranný plyn sa uplatňujú inertné i aktívne plyny. Preto sa hovorí o zváraní kov-inertný plyn (MIG-) a o zváraní kov-aktívny plyn (MAG-).

Okrem správania oblúka a odtavovacieho výkonu, ochranný plyn spolu zodpovedá za prechod materiálu a za formu zvaru. Ako inertné plyny slúžia predovšetkým vzácne plyny argón a hélium, a takisto ich zmesi.

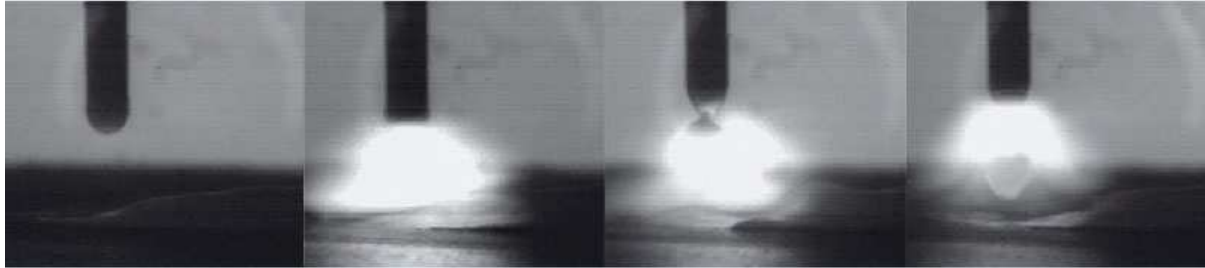


Obrázok 1.3-1 Schéma MIG/MAG

1-redukčný ventil, 2- plynová fľaška, 3-podávací systém, 4-ochranný plyn, 5-odtavený kov, 6-hubica, 7-kontaktná tryska, 8-zvarový kúpeľ, 9-zvar, 10-prúdový kábel, 11-ovládací kábel, 12- bovden, 13-prívod ochranného plynu, 14-ampérmeter [13]

MAG – Metal Active Gas – teda ochranný plyn aktívny, ktorý chemicky reaguje s roztaveným kúpeľom O_2 , CO_2

MIG – Metal Inert Gas – teda ochranný plyn inertný, ktorý chemicky nereaguje s roztavenou kapelou napr. Ar, He.



Obrázok 1.3-2 Odtavenie kvapky z elektródy MIG [17]

Použitie a výhody

Postup MIG/MAG sa osvedčil najprv na racionalizované zváranie nelegovaných a nízko legovaných stavebných ocelí, dnes sa však vynikajúco etabloval vďaka impulznej oblúkovej technike aj pre hliníkové zliatiny a vysoko kvalitné stavebné ocele.

MIG/MAG vykazuje významné výhody oproti iným zväracím postupom. Patria k nim dobrý odtavujúci výkon, hlbší závar, jednoduché ovládanie a úplná mechanizácia, rovnako ako vysoká hospodárnosť.[17], [18]

1.3.2 TIG/WIG zváranie

Zváranie neodtajujúcou elektródou pracuje na princípe horenia elektrického oblúku medzi volfrámovou elektródou a zvarcom. Na základe prenosu elektrickej energie potom dochádza k nataveniu základného materiálu teda zvarca. Taviaci oblúk je chránený inertným zdrojom plynu, ktorý zabraňuje vniknutiu atmosférických nečistôt do zvarového kúpeľa. Používa sa argón, hélium alebo ich zmesi. Zváranie je možné realizovať za pomoci prídavného materiálu vo forme drôtu ručným alebo automatickým spôsobom podávania, s premennou rýchlosťou podávania podľa spôsobu zvárania. Obecne je možné WIG zváranie rozdeliť podľa druhu prúdu na zváranie striedavým prúdom pre hliník, horčík a ich zliatiny, a zváranie jednosmerným pre stredne a vysoko legované ocele, meď, nikel, titan, zirkónia, molybdén a ďalšie. Pre zváranie uhlíkových ocelí sa metóda WIG používa menej, z dôvodu nebezpečenstva vzniku pórov v zvare a z ekonomického hľadiska. Zváranie volfrámovou elektródou sa používa aj na ťažko zvariteľné materiály s vysokou afinitou kyslíku napr. titan. Je možné zvärať aj rôzne materiály napr. oceľ s meďou, bronzom alebo niklovými zliatinami.

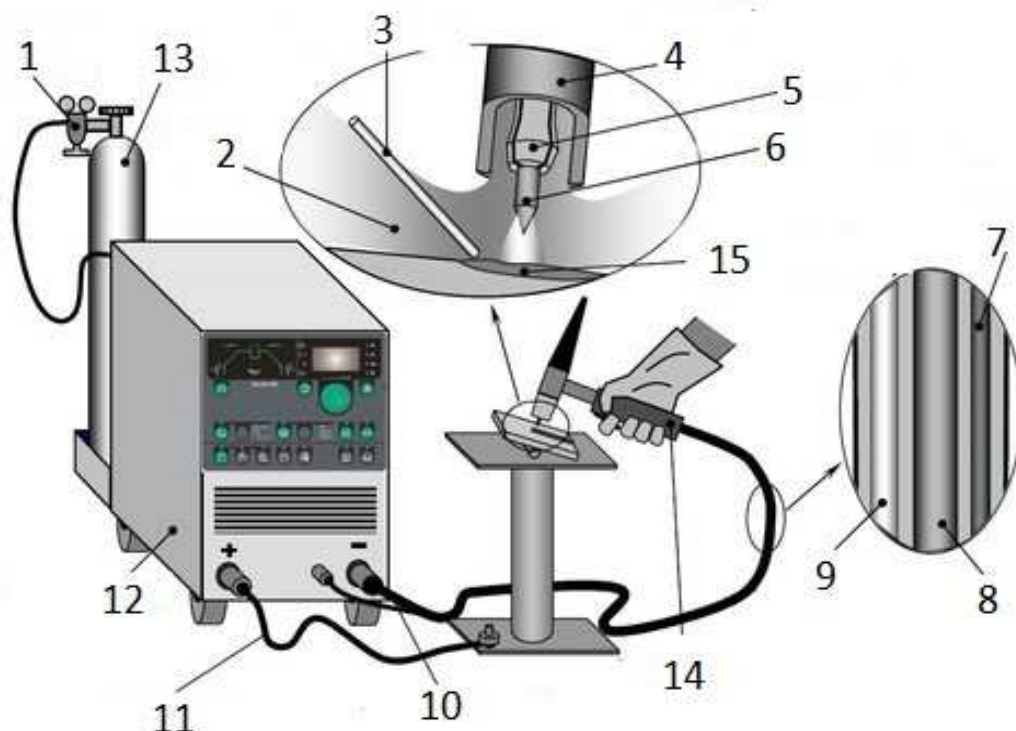
Strojné zváranie WIG

V porovnaní s ručným zváraním sa mechanizované a robotizované zváranie WIG vyznačuje lepšou kvalitou zvaru a ekonomickosťou.

Cieľom strojného zvárania je :

- Zvýšenie kvality a úžitkových vlastností zvarového spoja s vylúčením vplyvu manuálneho vedenia horáku – kolísaniu dĺžky oblúku, nepresnosti vedenia horáku v zvarnej medzere, kolísanie rýchlosti zvarovania, nedostatky plynovej ochrany atd.
- Zlepšenie hospodárnosti procesu úspory plynu a prídavných materiálov
- Zníženie podielu ľudskej práce pri nedostatku kvalifikovaných zvaračov
- Zlepšenie produktivity zvarovania, zvýšenie rýchlosti a využitie vysoko výkonných variant zvarovania
- Rozšíriť okruh aplikácií o zvarovanie ťažko tavitelných kovov

Strojné zvarovanie sa používa pre mechanizované spôsoby zvarovania rovinných zvarovaných spojov z vysoko legovaných ocelí, hliníku do hrúbok 5mm. Významné zastúpenie má strojné zvarovanie WIG aj v oblasti zvarovania trubiek a kombinácii trubka -trubkoviaca pri výrobe tepelných výmenkov, kde okrem ručného zvarovania sa používa tzv. orbitálny spôsob zvarovania. Pri orbitálnom zvarovaní trubiek veľkých priemerov nad 200 mm je zvaraná hlava zavesená na vodiacu dosku alebo tvarovú vodiacu dráhu a vykonáva kruhový pohyb o cca 37° tak, aby bolo zaistené prekrytie začiatku zvaru. Zvaracia hlava sa skladá z vlastného horáku, podávača drôtu a pohybového ústrojenstva, ktoré zabezpečuje kruhový pohyb hlavy a oscilačný pohyb horáku v zvaranom úkose. Väčšie hrúbky trubiek sa zvarajú do malého úkosu upravenou zvaracou hubicou.



Obrázok 1.3-3 Schéma TIG/WIG

1-redukčný ventil, 2-ochranný plyn, 3-prídavný materiál, 4-keramická hubica, 5-klieština, 6-wolframová elektróda, 7-ovládací kábel, 8-prúdový kábel, 9-prívod ochranného plynu, 10-elektrodový kábel, 11-uzemnenie kábel, 12 zvarací zdroj, 13 ochranný plyn [13]

Zváranie WIG má výrazný rast na objem zvaračských aplikácií, čo sa pripisuje vysokej kvalite spojov, operatívosti riadenia procesu zvárania a vysokému stupňu automatizácie a robotizácie.

Použitie a výhody

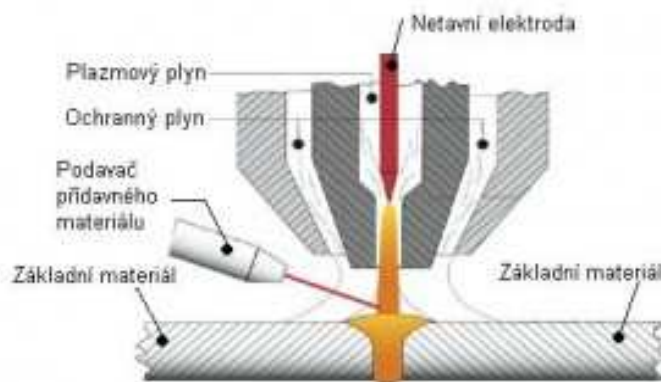
WIG zváranie sa používa na zváranie konštrukcií z vysoko legovaných materiálov pre chemický, farmaceutický a potravinársky priemysel, klasickú a jadrovú energetiku. Žiarupevné a žiaruvzdorné ocele pre stavbu kotlov, tepelných výmenníkov a pecí. Titánové a špeciálne zliatiny v oblasti výroby lietadiel kozmickej techniky. Zváranie hliníkových zliatin v oblasti dopravnej techniky a všeobecného strojárstva.

Zváranie WIG má oproti iným metódam tavného zvárania tieto technologické a metalurgické výhody:

- a) Inertný plyn zabezpečuje efektívnu ochranu zváraného kúpeľa prehriatie základného materiálu pred účinkami vzdušného kyslíku,
- b) Inertný plyn zabraňuje prepalom prvkov a tým aj vzniku strusky – výsledkom je čistý povrch zvar,
- c) Vytvára veľmi priaznivé formovanie zvaranej husenky na strane povrchu i koreňovej časti zvaru,
- d) Nevyžaduje použitie tavidiel, ale je možné ich použiť,
- e) Vytvára elektrický oblúk vysokej stability v širokom rozsahu zvaracích prúdov,
- f) Zaisťuje vysokú operatívnosť pri zváraní v polohách,
- g) Zabezpečuje zvary vysokej kvality celistvosti i na materiáloch náchylných na naplynenie a oxidáciu pri zvýšených teplotách,
- h) Jednoduchá obsluha a presná regulácia parametrov zvárania,
- i) Zvary majú malé teplotne ovplyvnené oblasti a minimálne deformácie
- j) Zváraný kúpeľ je viditeľný a ľahko ovládateľný
- k) Možnosť veľmi presného dávkovania množstva tepla vneseného do zvaru,
- l) Zvarací oblúk je veľmi flexibilný – jeho tvar a smer je možné veľmi ľahko ovládať magnetickým polom.[9], [17]

1.3.3 Zváranie plazmou

Pri plazmovom zváraní vzniká v zvaracom horáku plazmový oblúk prechodom tzv. plazmového plynu (H, He, N, Ar a zmesi plynov) cez elektrický oblúk. Prierez elektrického oblúka je zúžený dýzou vhodných rozmerov, ktorá je vyrobená z vhodného materiálu (prevažne Cu legovaná Cr). Oblúk horí spravidla v atmosfére vonkajšieho ochranného plynu (Ar, He, zmesi inertných plynov). Zúžením prierezu oblúka dochádza k zvýšeniu disociácie a ionizácie plynu oblúkového stĺpca (plazmy), čím sa zvyšuje hustota energie plazmového oblúka.



Obrázok 1.3-4 Schéma plazmového oblúka [23]

Výhody

- technológia plazmového zvarovania spája v sebe výhody technológie zvarovania neodtavujúcou elektródou (TIG) a výhody technológií s vysokou koncentráciou energie (LASER, ELEKTRÓNOVÝ LÚČ)
- v porovnaní s laserovými a elektrónovými zariadeniami je zariadenie na zvarovanie plazmou výrazne lacnejšie
- široká oblasť možností aplikácie technológie, univerzálnosť.

Nevýhody

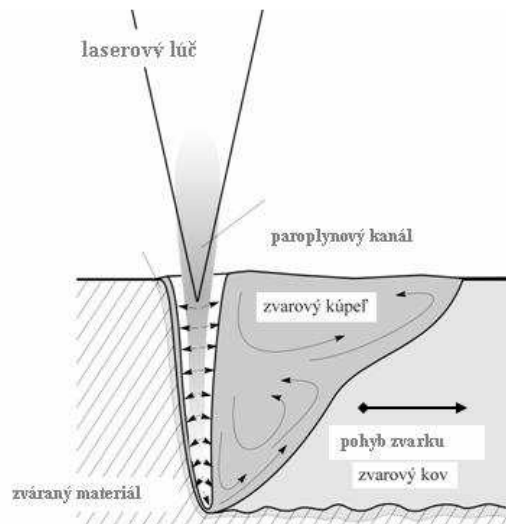
- vyššie náklady na zariadenie v porovnaní so zariadeniami na zvarovanie technológiou TIG
- vyššie nároky na kvalifikáciu zvaračov.

Požítie:

Plazmové zvarovanie sa s výhodou používa na zvarovanie legovaných a vysokolegovaných ocelí, zvarovanie hliníka a jeho zliatin, zvarovanie zliatin medi, horčíka, titánu a iných neželezných kovov v technickej praxi. Technológia plazmového zvarovania sa uplatňuje hlavne pri náročnejších aplikáciách a realizácii zvarovaných konštrukcií v energetickom, automobilovom, leteckom, chemickom a elektrotechnickom priemysle. [23]

1.3.4 Zvarovanie laserom

Laser je kvantový generátor svetelných lúčov, ktorý slúži k zosilneniu svetelných vln pomocou stimulovanej emisie žiarenia. Žiarenie vychádza z laseru vo forme monochromatického (s jednou vlnovou dĺžkou) alebo koherentného (v súlade s fázou) zväzku lúčov, ktorý má vysokú hustotu energie. Z konštrukčného hľadiska sa lasery delia na viaceré typy, z ktorých sa na zvarovanie využívajú najmä pevno látkové lasery (napr. Nd-YAG), plynové (napr. CO₂, excimerové) a polovodičové (diódové).



Obrázok 1.3-5 Schéma laserového zvarovania [22]

Výhody

- ľahko dosiahnuteľný úzky a hlboký zvar u širokého spektra materiálov
- efektívne hlboké zvary môžu byť urobené pre materiály o hrúbke až 25 mm
- laserové zvarovanie je realizované s veľmi malým vstupom energie na jednotku zvaranej dĺžky, výsledkom čoho sú malé deformácie a nízke zvyškové napätie spôsobené zvarovaním a malá tepelne ovplyvnená zóna
- vysoká produktivita práce technologického procesu
- zotrvačnosť laserového lúča je veľmi malá, laserové zvarovanie je vhodné pre automatizáciu
- laserové zvarovanie môže byť vykonávané vo vzduchovej atmosfére bez použitia vákuua alebo v špeciálnej inertnej prídavnej atmosfére
- nedochádza k žiadnemu znečisťovaniu zvaru materiálom elektród
- laserový lúč môže lokálne zvarať aj miesta ťažko dostupné, ktoré by boli inými spôsobmi zvarovania obtiažne zvariteľné.

Nevýhody

- pri CO₂ laseroch sú prísne požiadavky na čistotu pracovných plynov (CO₂, dusík a hélium), ktoré sú potrebné na generovanie lúča,
- relatívne veľké rozmery vo vzťahu k výkonu lasera
- nízka energetická účinnosť,
- jednoduchšie pevno látkové a diódové lasery umožňujú zvarať len malé hrúbky, asi do 2 mm.

Príklady použitia:

Automobilový priemysel: zvarovanie karosérií automobilov, zvarovanie krytov lineárnych motorov, zvarovanie kolies.

Klasická a jadrová energetika: laserové zvarovanie pre diagnostiku, zvarovanie absorpčných puzdier vyhoreného jadrového paliva, kontajnerov rádioaktívnych odpadov.

Vákuová technika: zvarovanie armatúr a potrubí, zvarovanie častí vákuových čerpacích systémov, prírub, tesnení a podobne. [22]

1.3.5 Výhody a nevýhody pre použitie v robotizačnom zváraní

Tabuľka 1 Vyhodnotenie technológií pre robotizačné zváranie

Technológia	Výhody	Nevýhody
MIG/MAG	vyššia produktivita, adaptabilnosť procesu, zlepšenie hygieny prostredia, možnosť zvärať vo všetkých polohách, plná automatizácia a robotizácia	potreba zabezpečenia neustáleho prívodu atmosféry, náchylnosť ku tvorbe chýb ako sú napr. studené spoje a neprievary, možné problémy vzniknuté s požiadavkami na automatizáciu a sériovosť
TIG/WIG	vysoká kvalita zvarových spojov a návarov, vhodnosť na zváranie tenkých materiálov a materiálov obtiažne zvariteľných, vhodnosť na zváranie v nútených polohách, napr. pri zváraní potrubia, možnosť automatizácie a robotizácie	produktivita práce v dôsledku nižšieho výkonu odtavenia pri zváraní hrubších materiálov v porovnaní so zváraním odtavujúcou sa elektródou
Plazma	Spojuje výhody predchádzajúcich technológií, výrazne lacnejšie ako laserové zváranie, malé deformácie, vynikajúci vzhľad zvaru, malé tepelné ovplyvnenie zváraného materiálu	Vyššie náklady na zariadenia ako TIG, vyššia kvalifikácia programátorov
Laser	Úzky a hlboký zvar, malý vstup energie, malé deformácie, vysoká produktivita, nie je potreba vákua, malé tepelne ovplyvnené zóny	Cena, prísne požiadavky na čistotu, veľké rozmery horáku

1.4 Materiály vstupujúce do procesu robotizovaného zvárania

Do procesu zvárania vstupujú dva druhy materiálov, jedná sa o základný materiál (polotovár) a prídavné materiály (ochranná atmosféra, zvärací drôt).

Zväracie drôty: Delíme ich podľa chemického zloženia a podľa štruktúry jadra (pevný drôt alebo trubička s granulátom tavidla). Pozornosť musí byť venovaná vlhkosti na povrchu drôtu, ktorá spôsobuje pórovitosť a trhliny v zvare a tiež navinutie drôtu na cievke. Nepravidelný návin spôsobuje nestabilné podávanie a zváranie. Na obr. 12 a 13 sú znázornené uloženia drôtu.



Obrázok 1.4-1 Cievky so zväracím drôtom [21]

Pevný drôt má väčšinou rovnaké zloženie ako zváraný materiál, s chemickými prísadami pre čistenie materiálu pri zváraní. Najobvyklejšími priemerami sú 0,6 – 0,8 – 0,9 – 1 – 1,2 – 1,6 mm.

Trubičkový drôt s ochranným plynom, neobsahuje pevný drôt, ale jadro vyplnené granulami tavidla, jeho funkcia je rovnaká ako má obal u obalovaných elektród. Tavidlo môže byť rutilové, basicke či špeciálne. Trubičkový drôt v porovnaní s klasickým má väčšiu schopnosť udržať stabilný oblúk a zaistiť hlbší prienik do materiálu, krajší zvar bez potreby ďalšieho opracovania. Eliminuje pórovitosť a defekty. Je samozrejme treba odstraňovať strusku, rovnako ako u M.M.A. zvárania.

1.5 Ochranné plyny

Hlavnou úlohou ochranných plynov je zamedziť prístup vzduchu do oblasti zvárania, predovšetkým chrániť elektródu, oblúk a tavný kúpeľ, jej okolie a koreň zvaru pred účinkami vzdušného kyslíka, ktorý spôsobuje oxidáciu, naplynenie, pórovitosť a prepal prvkov.

Ochranné plyny majú tiež významný vplyv na: typ prenosu kovu v oblúku, prenos tepelnej energie do zvaru, správanie sa tavného kúpeľa, hĺbky zvaru, rýchlosť zvárania a ďalšie parametre.

OCHRANÉ PLYNY SVOJÍM ZLOŽENÍM A MNOŽSTVOM OVPLYVŇUJÚ TIETO CHARAKTERISTIKY ZVÁRANIA

- vytvorenie ionizovaného prostredia pre dobrý štart a horenie oblúku
- metalurgické deje v dobe tvorenia kvapky, pri prenose kvapky oblúkom v zvarovom kúpeli
- sily pôsobiace v oblúku
- tvar a rozmer oblúku
- charakter prenosu kovu v oblúku, tvar a rozmer kvapiek a rýchlosť ich prenášania oblúkom
- tvar a rozmer prierezu zvaru
- hladkosť povrchu zvaru a jeho prechod na základný materiál
- kvalita, celistvosť a mechanické vlastnosti zváraného spoja

V súčasnosti sa na ochranu oblúka používajú jednozložkové alebo viaczložkové plyny. Pri voľbe ochranného plynu spolurozhodujú technické a ekonomické ukazovatele.

Rozdelenie plynov podľa chemického charakteru – norma ČSN EN 439

INTERNÉ plyny skupiny „I“ (argón, hélium a ich zmesi nereagujú so zvarovým kúpeľom a prepal prvkov v zvarovom kúpeli je minimálny, preto nemajú výsledný vplyv na chemické zloženie zváraného kovu.

AKTÍVNE plyny skupiny M1, M2, M3, a C ovplyvňujú v menšej alebo väčšej miere zloženie zváraného kovu.

Ochranné plyny rozdeľujeme podľa indexu oxidačného účinku do rady 0 – 10 a vplyvu nahličenia.

Ochranné plyny je možné deliť z hľadiska použitia technológie zvarovania, v súčasnosti sa používajú hlavne zmesi plynov.

Plyny používané pri MAG zvaraní (Metal Active Gas), teda zvaranie v aktívnej ochrannej atmosfére, ktoré reagujú so zvarovým kúpeľom.

CO₂, alebo v súčasnosti častejšie používané viaczložkové zmesi plynov zo základom Argónu-Ar+CO₂, Ar+O₂, Ar+CO₂+O₂ a Ar+He+CO₂+O₂.

OXID UHLIČITÝ CO₂ dobrý závar, nižšia porozita zvaru, väčší roztrek a viac strusky, nižšia plasticita zvarovaného kovu, malé zvaracie rýchlosti.

Kyslík O₂ používa sa v zmesiach argónom a oxidom uhličitým, prípadne s He v rozpätí 1-8%. Kyslík výrazne zvyšuje tekutosť zvarovho kúpeľa a povrchové napätie zvarovaného kovu, čo je hlavný dôvod pridávania ochranného zmesného plynu. Týmto pôsobením kyslíku sa zlepšuje odplynenie zvarového kúpeľa, profil zvarovej húsenky a prechod zvarovaného kovu do základného materiálu.

Zmesné plyny Ar+15 až 25% CO₂ univerzálny plyn pre zvarovanie nelegovaných a nízko legovaných ocelí metódou MAG je z tejto skupiny plyn Ar+18%CO₂. Vyznačuje sa veľmi dobrými zvarovacími vlastnosťami, stabilným elektrickým oblúkom a hlbokým zvarom. Umožňuje zvarovanie so skratovým aj sprchovým prenosom kovu a malým rozstrekom, ktorý sa neprichytáva na povrchu. Poskytuje hladký povrch zvaru s dobrým prechodom do základného materiálu a je použiteľný pre všetky hrúbky plechov.

Zmesné plyny Ar+8% CO₂ zmesový plyn je optimálny pre sprchový a impulzný prenos kovu oblúkom je doporučovaný pre vysokovýkonné zvarovanie pri vysokých prúdoch. Vyznačuje sa vysokou rýchlosťou zvarovania, plochým zvarom, nízkym rozstrekom a minimálnou tvorbou strusky. Je vhodný pre ručné aj strojné (mechanizované) zvarovanie všetkých hrúbok plechov.

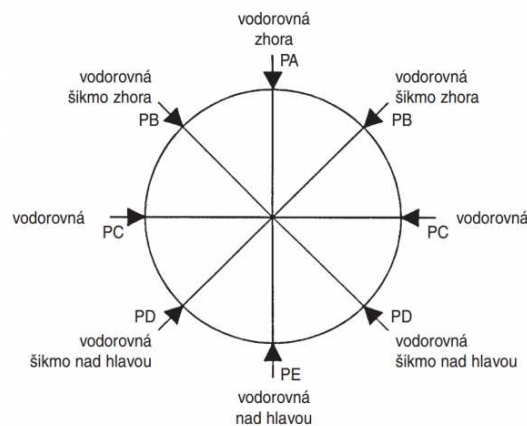
Zmesné plyny Ar+5-13% CO₂+O₂ táto zmes poskytuje kludný zvarací proces s mäkkým el. oblúkom, hladké a čisté zvary. Vysoký obsah kyslíka zaručuje dobrú tekutosť tavného kúpeľa a výborné odplynenie. Sprchový prenos kovu oblúkom je možný aj pri nižšej intenzite prúdu. Prednostne sa využíva pri mechanických a robotizačných spôsoboch zvarovania malých a stredných hrúbkach plechu. [4.]

Plyny pre zvarovanie MIG (Metal Inert Gas) ide o zvarovanie v internej ochrannej atmosfére, ktorá nereaguje so zvarovým kúpeľom. Táto metóda sa uplatňuje predovšetkým pri zvaraní hliníka a neželezných kovov.

Používa sa väčšinou čistý argón a hélium, alebo ich dvojzložkové zmesi Ar+He.

1.6 Vhodné polohy pri zváraní

Kvalita zvaru závisí aj na polohe zvárania ako pri ručnom zváraní a preto je najlepšie zväť v polohe PA. Robotizované pracoviská sú vybavené polohovadlami a tým sme schopný skoro vždy zaisťovať ideálnu polohu zvárania. Robot dokáže nakláňať horák do ideálnych polôh a pomocou prídavnej osy polohovadla sme schopný zabezpečiť ideálnu zväraciu polohu. Pri nedosiahnutí ideálnej polohy pre zvar sme schopný pomocou zväracích parametrov a rýchlosti zvárania navrhnúť vhodné parametre zvárania.



Obrázok 1.6-1 Základné polohy pri zváraní [20]

1.7 Plyny používané na sekundárnu ochranu

Tieto plyny sa používajú na ochranu koreňa alebo vysoko vyhriatej oblasti pri zvare.

Používajú sa inertné redukčné alebo so zväraným materiálom nereagujúce plyny. Pri zväraní MIG/MAG ocelí(s výnimkou ocelí citlivých na vodík, napríklad martenzitických, duplexných, jemnozrnných ocelí) je možné ako sekundárnu ochranu ocelí použiť aj redukčné plyny a to najčastejšie zmesi argónu(Ar) s vodíkom (2-10% H₂) alebo zmesi dusíka (N₂) s vodíkom (5-10% H₂).

1.8 Zdroje prúdu vhodné pre zväranie na robotizačných pracoviskách

Zdroje zväracieho prúdu sú zariadenia ktoré dodávajú potrebnú elektrickú energiu pre zapálenie a horenie elektrického oblúku to znamená, že dodávajú do uzavretého zväracieho obvodu elektrický prúd požadovaných vlastností pre danú metódu zvárania.

1.8.1 Rozdelenie zväracích zdrojov

1. podľa spôsobu premeny energie:

- zdroje rotačné(zväracie dynamá)
- zdroje statické netočivé (zväracie transformátory, usmerňovače, meniče)

2. podľa druhu dodávaného prúdu

- zdroje jednosmerného prúdu (zväracie dynamá)
- zdroje usmerného prúdu (zväracie usmerňovače, meniče)
- zdroje striedavého prúdu (zväracie transformátory)

Zväracie zdroje statické (netočivé) sa delia na:

- A. zdroje zo sieťovým transformátorom
 - a) zdroje striedavého prúdu (transformátory)
 - b) zdroje jednosmerného prúdu (usmerňovače neriadené, riadené)
- B. zdroje bez sieťového transformátora
 - zväracie meniče (inventory)

1.8.2 Digitálne zväracie zdroje vhodné pre robotizačné zväranie

Riadiaca elektronická jednotka tohto zdroja je výsledkom revolučného pokroku vo vývoji zväracích zdrojov. Prináša plnú digitalizáciu systému. Použitie digitálnych signálových

procesorov zaist'uje vysokú operačnú rýchlosť, ktorá je potrebná pre rýchle spracovanie dát, týmto sa otvárajú neobmedzené možnosti ovplyvňovania zvaracieho procesu pomocou softwaru.. Mimo to sa zvyšuje presnosť a reprodukovateľnosť dosiahnutých výsledkov zvarovania, pretože sa eliminujú analógové polovodičové súčiastky zaťažené teplotným driftom. Komunikácia medzi zvaracím zdrojom a perifériami sa uskutočňuje prostredníctvom dátovej zbernice centrálného mikropočítača. Všetky informácie obojsmerne prenášané umožňujú odpočítavať, prípadne meniť pracovné dáta alebo nastavenie parametrov nie len na vlastnom zdroji, ale tiež aj na podávači drôtu alebo na horáku. Riadiaci mikropočítač spracováva dáta s najväčšou presnosťou dôsledne kontroluje kritické zvaracie parametre. Pri zvaraní prebehne až 10 000 riadiacich a regulačných krokov za sekundu, kedy sa porovnávajú skutočné zvaracie parametre so zadanými a v prípade odchýlky sa okamžite korigujú podľa zadaných hodnôt. Súčasne je kontrolované aj sieťové napätie, prúd plynu, posuv zvaracieho drôtu a ďalšie podstatné zariadenia (ako je rýchlosť zvarovania) .



Obrázok 1.8-1 a) Zvarací zdroj WIG [19], b) Digitálny zvarací zdroj MIG/MAG

1.9 Deformácie a vady vznikajúce pri zvaraní

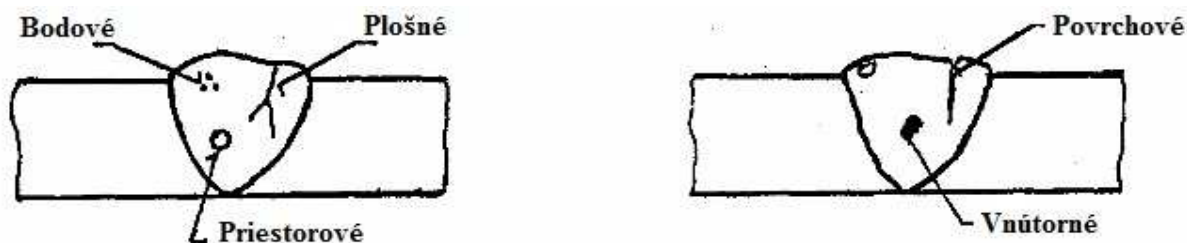
Deformácie, ktoré vznikajú behom zvarovania sú priamym dôsledkom sťahovaním zvaraného kovu pri tuhnutí a chladnutí. Základný materiál bráni sťahovaniu zvaraného kovu a tým vzniká ťahové napätie. Vzhľadom k tomu, že sa zvaraný kov sťahuje vo všetkých smeroch rovnako, vnútorné pnutie pôsobí podobne.

Pre prax majú význam tieto pnutia :

- **pozdĺžne pnutie:** vzniká sťahovaním dĺžky zvaru
- **priečne pnutie:** vzniká sťahovaním šírky zvaru
- **uhlové pnutie:** vzniká preto, že v hornej časti zvaru je viac zvaraného kovu ako u jeho koreňa a preto tam bude i väčšie stiahnutie, ktoré spôsobí skrútenie materiálu

Typy vád pri zvaraní Problémy vznikajúce pri všetkých procesoch zvarovania sa prevažne týkajú necelistvosti – vád. Defekty vyskytujúce sa v zvaraných spojoch a návaroch rozdeľujeme podľa tvaru a podľa polohy výskytu. Podľa tvaru zaraďujeme vady v zvaroch do troch hlavných skupín. Sú to hlavne bodové vady, plošné vady a ďalej vady objemové. V prvej skupine sú zaraďené vady typu mikropórov prípadne malé sférické prímiesky(napr. silikáty). Do druhej skupiny zaraďujeme vady typu trhlín, neprievarov a studených spojov. V tretej skupine sú predovšetkým vady typu plynových dutín (pórov, bublín), prímiesky

(struskové, tavidlové, oxidické, kovové), staženiny (medzidentritické, kráterové), ale aj zápaly, vruby, nedodržanie rozmeru (úzky koreň, krápníky, prevýšený zvar, prepadnutý zvar) a nepravidelný povrch zvaru. Podľa polohy vady v zvaroch rozlišujeme vady povrchové (napr. trhliny, studené spoje na zvarovej ploche, zápaly, neprevarený koreň, póry) a vady vnútorné (plynové dutiny, bubliny, póry, prímiesky, staženiny).



Obrázok 1.9-1 Vady v zvaroch podľa tvaru a polohy [8]

Neprievar

Neprievary sú defekty vznikajúce v dôsledku neúplného natavenia základného materiálu alebo príľahlých zvarových húseniek. Najčastejšie sa objavujú pri zváraní MIG/MAG pri skratovom procese. Medzi hlavné príčiny patrí predovšetkým vysoká zváracia rýchlosť, nízky zvárací prúd, nevhodná príprava zváraných úkosov, predbehnutie zvarového kúpeľa, príliš vysoká húsenka alebo veľký priemer elektródy.

Studené spoje

Studené spoje sú zapríčinené nedokonalým tavným spojením zváraného kovu so základným materiálom alebo navarenou húsenkou. Medzi hlavné príčiny patria nízky zvárací prúd, nesprávne vedenie elektródy, veľká rýchlosť zvárania, prípadne nevhodne volený priemer elektródy (malý).

Póry a bubliny

Póry a bubliny sú objemové vady guľovitého alebo pretiahnutého tvaru, vyplnené plynom. Príčinou vzniku môže byť zle vysušená elektróda, vlhkosť v plyne, nečistoty na zváraných hranách, veľmi dlhý oblúk, vysoká rýchlosť zvárania, alebo rýchle tuhnutie kúpeľa v dôsledku nízkeho zváracieho prúdu a vysokej rýchlosti zvárania.

Prímiesky

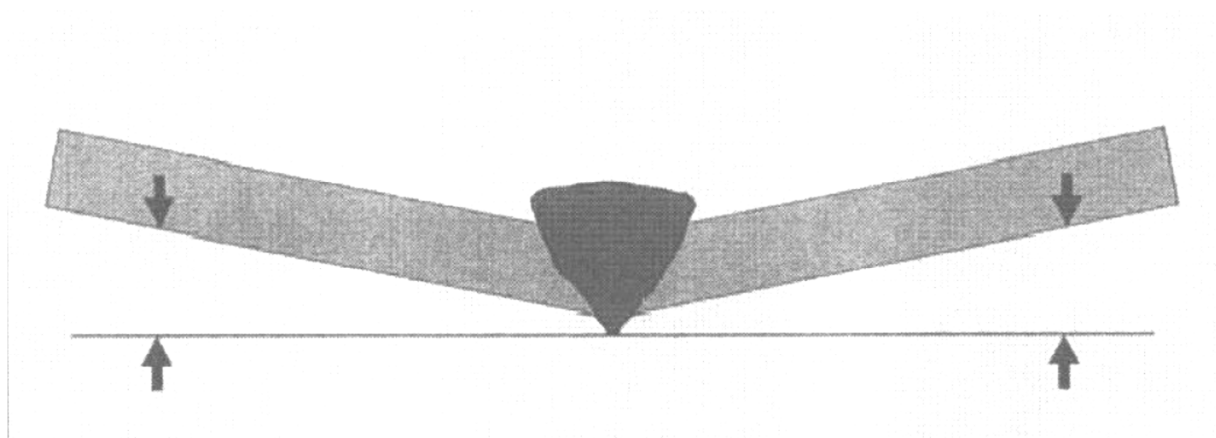
Prímiesky môžu byť rôzneho typu. Predovšetkým sú to struskové prímiesky, ktoré vznikajú predovšetkým nedokonalým odstraňovaním struky medzi jednotlivými zváranými vrstvami. Oxidické prímiesky vznikajú predovšetkým v dôsledku nedokonalého čistenia povrchu. Vyskytujú sa v oxidoch hliníka a horčíka (majú vysoký bod tuhnutia). Kovové prímiesky (predovšetkým wolframové) vznikajú v dôsledku vysokých prúdov, dotyku elektródy s tavným kúpeľom alebo porušením plynovej ochrany.

Zápaly

Zápaly sú ostré natavené prehĺbeniny na hraniciach zvaranej húsenicea základného materiálu. Častejšie sa vyskytujú pri kútových zvarov. Medzi hlavné príčiny patrí príliš veľký zvarací prúd, dlhý oblúk, nevhodný priemer elektródy, prípadne jej zlé vedenie. [6,7,8]

Uhlové deformácie

Vznikajú nevhodným postupom zvarania, nevhodnou rýchlosťou, veľkým počtom vrstiev a nesymetriou zvarov. Opatrenia správna rýchlosť, správne poradie kladenia vrstiev, upevnenie zvarenca.



Obrázok 1.9-2 Uhlové deformácie

2 Dôvody pre navrhnutie robotizovaného zvarovania

Táto práca sa zaoberá návrhom optimálneho zvaracieho postupu pre robotizované zvarovanie, a to určenie prúdu, napätia a zvaracej rýchlosti, ktoré budú optimalizované pre robotizačné zvarovanie austenitických antikoročných ocelí typu X5CrNi 18-10, X2CrNiMo 17-12-2 a X6CrNiMoTi 17-12-2 pre hrúbku 2 mm, ktoré sa využívajú na výrobu plášťov pre nádrže pre potravinársky a chemický priemysel. Hlavný dôvod je vytvorenie parametrov pre tento materiál, ktoré je možné priamo navoliť z diaľkového ovládania na robotizačnom pracovisku.

2.1 Zvariteľnosť antikoročných ocelí

Austenitické ocele majú asi o 50% väčšiu tepelnú rozťažnosť a asi o 30 % nižšiu tepelnú vodivosť ako ocele feritické. Pri zvarení sa to prejaví vznikom väčších deformácií a napätia v porovnaní s feritickými ocelami. Vzhľadom k austenitickej štruktúre majú lepšiu ťažnosť a húževnatosť ako uhlíkové a nízko legované ocele.

Zvariteľnosť austenitických Cr-Ni antikoročných ocelí ovplyvňujú tri faktory:

- a) Náchylnosť k tvorbe teplých trhlín
- b) Precipitácia karbidov chrómu čo je dôsledkom vzniku MKK
- c) Skrehnutie vznikom σ -fázy.

Pre hodnotenie náchylnosti k vzniku teplých trhlín sa najčastejšie používajú kritériá L a ΔH :

$$L = 299 \cdot \text{hm. \% C} + 8 \cdot \text{hm. \% Ni} + 142 \cdot \text{hm. \% N} - 5,5 \cdot \text{hm. \% } \delta - 105 \quad [1]$$

$$\Delta H = -700 \cdot \text{hm. \% C} + 17 \cdot \text{hm. \% } \check{C}R - 37 \cdot \text{hm. \% N} - 117 \cdot \text{hm. \% N} + 29 \cdot \text{hm. \% MO} + 188 \quad [1]$$

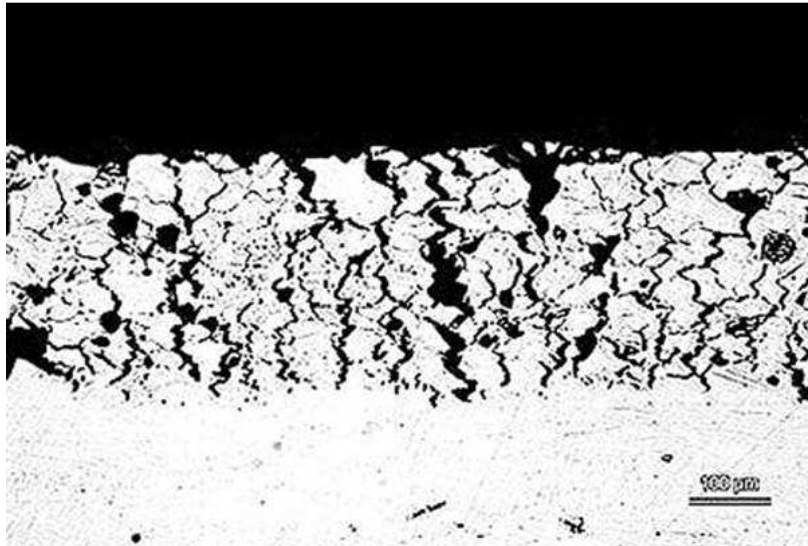
Do týchto vzťahov sa dosadzujú hmotnostné obsahy jednotlivých prvkov v materiály a obsah δ - feritu v štruktúre v percentách. Ak je $L > 0$ a $\Delta H < 100$ je oceľ náchylná na vznik teplých trhlín.

Vznik teplých trhlín možno redukovať: znížením tepelného príkonu, použitím prídavných materiálov, vytvárajúce zvarové kovy s malým obsahom δ - feritu (do 5%).

Zvarané spoje vyrobené na austeniticko chróm niklových a chróm nikel molybdénových oceliach sú v prevádzke vystavené viacerým druhom korózie:

- Rovnomerná korózia
- Bodová korózia
- Nožová korózia
- Medzi kryštálová korózia
- Korózia pod napätím

Funkčnú spoľahlivosť zvarencov v koróznom prostredí môže nepriaznivo ovplyvniť predovšetkým medzi kryštálová korózia alebo korózne praskanie. Medzi kryštálová korózia prebieha najmä po hraniciach austenitických zŕn v TOO obr.15. korózne praskanie môže mať transkryštalický alebo interkryštalický charakter.[11]



Obrázok 2.1-1 Medzi kryštálická korózia [7]

Medzi kryštálová korózia môže nastať u korózie vzdorných oceliach v pásme znečitlivenia, ktoré leží v rozmedzí teplôt 425-815 °C. Vplyv uhlíka sa prejaví v 0,02 % hm. jeho obsahu. Názory na vznik MKK sú nasledovné:

- a) Teória ochudobnenia, zmena chemického zloženia tuhého roztoku na rozhraní zrn v okolí precipitatu
- b) Teória pnutia, energetickými rozdielmi v miestach vylučovania sekundárnej fázy
- c) Teória článku, rozpúšťaním rozhrania zrn následkom vzniku elektročlánku.

S ohľadom na popísanú problematiku sa odporúča austenitické ocele zvärať pri dodržaní týchto zásad:

- a) Nízko uhlíkové a stabilizované ocele sú vhodnejšie na zváranie MIG ako ocele nestabilizované,
- b) Ocele s malým obsahom δ -feritu sú vhodnejšie na zváranie ako ocele čisto austenitické,
- c) Pri zváraní ocelí treba zabrániť dlhodobému ohrevu na kritické teploty(450-850°C), čo sa dá minimálnym potrebným výkonom zvárania, dodržaním interpass teploty max. 100°C a rýchlym ochladením zvarových spojov po zváraní
- d) Použitím prídavných materiálov produkujúcich zvarové kovy podobného zloženia so základným materiálom a zabezpečujúcich malé množstvo δ -feritu vo zvare,
- e) Predohrev sa nevyžaduje, dokonca sa vylučuje.

Korózne praskanie môžu iniciovať aj technologické chyby zváraných spojov, najmä chyby prejavujúce sa svojím vrubovým účinkom, napr. ostré prechody, neprievary, krátery, rozstrek kovu.

2.2 Antikorózne ocele

Antikorózne ocele patria medzi konštrukčné kovové materiály, ktoré sa vyznačujú typickým chemickým zložením a obsahujú spravidla viac ako 12% Cr (až 30%) ďalej legujúce prvky, hlavne Ni, Mn, Mo, Cu a ďalšie, ako Si, Al, Ti, Nb, Ta, W, V a N. Charakteristické sú nízke

obsahy S a P, obsah uhlíka je väčšinou 0,01-0,1%. Korózie vzdorné ocele patria do skupiny ušľachtilých legovaných ocelí, kde je zabezpečené presné chemické zloženie, špeciálne podmienky výroby a špecifické podmienky skúšania. Vyrábajú sa tvárnením, liatím a práškovou metalurgiou.

- *Austenitické antikórozne ocele Fe-Cr-Ni(Mp)* – tieto zliatiny sú najrozšírenejším akostným druhom, majú skvelú tvárnosť, odolnosť proti korózii a zvariteľnosť. V žíhanom stave sú nemagnetické.

Rozsah zloženia $C \leq 0,10\%$, $16\% \leq Cr \leq 28\%$, $3,5\% \leq Ni \leq 32\%$, $7\% \leq Mo$

- *Feritické antikórozne ocele Fe-Cr-(Mo)* – tieto zliatiny majú veľmi nízky obsah uhlíka, hlavné legujúce prvky sú chróm (a molybdén). Sú nevytvrditeľné tepelným spracovaním. A sú vždy magnetické.
- *Austeniticko-feritické duplexné antikórozne Fe-Cr-Ni(Mo)-N* – mikroštruktúra duplexných ocelí sa skladá zo zmesi austenitu a feritu. Vykazujú vlastnosti fáz s vyššou pevnosťou a tiež podporujú zvariteľnosť. Sú magnetické a nevytvrditeľné tepelným spracovaním.
- *Martenzitické antikórozne ocele Fe-Cr-(Mo-Ni-V)* – tieto zliatiny môžu byť tepelne spracované pre dosiahnutie širokého spektra úrovni tvrdosti. Dosiahnutá martenzitická štruktúra je magnetická.[11]

2.2.1 CHROM NIKLOVÁ austenitická nestabilizovaná X5CrNi 18-10

nové označenie podľa ČSN 10088-1 1.4301 (X5CrNi 18-10)

staré označenie AISI 304, ČSN 17240, AKV 7

akosť		C	Cr	Ni	Mn	N	S	P
DIN 1.4301	STN 17 240	< 0,07	17- 19,55	8-10,5	< 2,0	< 0.11	Max 0.03	Max 0.045

Mechanické vlastnosti

Pevnosť v ťahu R_m 520 - 720 N/mm² Medz pružnosti (klzu) R_p 0,2 min. 210 N/mm² Ťažnosť A80mm min. 45 % Žihacia teplota 1000-1100°C chladenie vodou, intenz. vzduchom nemagnetická, nekaliteľná má sklon k spevňovaniu za studena pri ťahaní, alebo pri trieskovom obrábaní nevhodnými reznými podmienkami. Spevňovanie vzniká pretvorením austenitu na deformačný martenzit, ktorý zvýši pevnosť, zníži ťažnosť a spôsobí magnetovateľnosť (ťahaná tyčovina, za studena prevalc. plechy od hrúbky 4 mm).U profilov s väčšou plochou prierezu (tyče od pr.80mm, plechy od tl.15mm) sa môže vyskytovať čiastočná magnetovateľnosť v oblasti jadra profilu - je spôsobená zbytkovým martenzitom z vysokých teplôt pri výrobe. Deformačný a zbytkový martenzit je možné odstrániť žíhaním. Tieto zmeny štruktúry nemajú vplyv na koróziu odolnosť materiálu a zvariteľnosť.

Odolnosť: proti korózii v prostredí bežného typu (voda, slabé alkálie, slabé kyseliny, priemyselné a veľkomestské atmosféry).Náchylnosť k medzi kryštálovej korózii v oblasti tepelného ovplyvnenia (napr. pri zvaroch - CrC vznikajú už od teploty 450° C).

Technológia spracovania: je zvariteľná ale v oblasti zvaru náchylná k medzi kryštálovej korózii. U prievarov nad 5mm hr. je nutné žihať zvarenec. Spracováva sa strihaním , ohýbaním, ťahaním - je možné použiť dva druhy ťahania, ale je vhodnejšie pre nepravé ťahanie (preťahovanie). Materiál je vyťahovaný z hrúbky materiálu, triesková obrobiteľnosť je dobrá. Leštiteľná.

Použitie: bežné produkty k obecnému použitiu (gastronomické zariadenia, vonkajšie konštrukcie, externá architektúra, vodárne, zariadenie ČOV ap.) mimo zváraných konštrukcií s prevarením viac ako 5 mm prievaru. U takých konštrukcií je po zvarení nutné žihanie s následným tryskaním a morením. Chemické zloženie vyhovuje norme pre použitie výrobkov pre potraviny a pitnú vodu. Max. teplota 450°C.

2.2.2 CHROM NIKLOVÁ austenitická nestabilizovaná molybdenová nízkouh.

nové značenie podľa ČSN 10088-1 1.4404 (X2CrNiMo 17-12-2)

staré označenie AISI 316L, ČSN 17 349, AKV Extra 2

akosť		C	Cr	Ni	Mn	Mo	Ti	Si
DIN 1.4404	STN 17 349	< 0,03	16,5 - 18,5	11 -14	< 2,0	2,0 -2,5	-	-

Mechanické vlastnosti : Pevnosť v ťahu R 520 - 680 N/mm² Medz klzu Rp 0,2 min. 220 N/mm² Ťažnosť A80mm min. 40% Žihacia teplota 1000 - 1100°C , nemagnetická, nekaliteľná, má sklon k spevňovaniu za studena pri tvárnení, alebo pri trieskovom obrábaní nevhodnými reznými podmienkami Tento jav nemá vplyv na koróznou odolnosť. So stúpajúcou teplotou výrazne klesajú hodnoty R a Rp

Odolnosť: proti korózii v priemyslovom prostredí, hlavne odolná proti jamkovej korózii v prítomnosti chloridov. Menej vhodná pre kyselinu dusičnú a jej výpary. Nie je náchylná proti medzi kryštalickej korózii v tepelne ovplyvnených oblastiach.

Technológia spracovania: je zvariteľná bez rizika vzniku medzi kryštálovej korózie v oblasti tepelného ovplyvnenia. Je vhodná k tvárneniu za studena. Triesková obrobiteľnosť je dobrá. Pri leštení je gplematické dosiahnutie zrkadlového lesku.

Použitie: pre zvárané konštrukcie v agresívnom prostredí priemyslového typu, v prímorskom prostredí, chemicky upravované prostredie bazénov. Je možné použiť pri styku s potravinami a pokrmami. Použitie pre styk s pitnou vodou je obmedzené hraničím obsahom Ni.

2.2.3 CHROM NIKLOVÁ austenitická stabilizov. titanom, molybdenová

nové značenie podľa ČSN EN 10088-1 1.4571 (X6CrNiMoTi 17-12-2)

staré označenie AISI 316Ti, ČSN 17 348, AKV Extra

akosť		C	Cr	Ni	Si	Mo	Ti	P
DIN 1.4571	STN 17 348	< 0,08	16,5 - 18,5	10,5- 13,5	< 1,0	2,0 -2,5	0,4-0,7	Max 0.045

Mechanické vlastnosti

Pevnosť v ťahu Rm 520 - 690 N/mm² medz kluzu Rp0,2 min. 220 N/mm² Ťažnosť A80mm min. 40% Žihacia teplota 1000 - 1100°C chladenie vodou, intenz. vzduchom Nemagnetická Nekaliteľná Má sklon k spevňovaniu za studena pri ťahaní a nevhodnými reznými podmienkami pri trieskovom obrábaní. Rovnako sa môže vyskytovať zbytkový martenzit z vysokých teplôt, ktorý spôsobuje čiastočnú magnetovateľnosť. Tieto zmeny nemajú vplyv na koróznou odolnosť materiálu.

Odolnosť: proti korózii v stredne silných kyselinách a kys. dusičnej a nitróznych plynov. Stredne odolná proti jamkovej korózii v chloritovom prostredí. Odolná proti medzi krystaš. korózii v oblasti tepelného ovplyvnenia. Max teplota pri použití 650°C. Materiál žiarupevný

Technologie spracovania: je zvariteľná bez nutnosti žihania pri hlbokých prievaroch. Spracováva sa strihaním, tvárnením, obrábaním. Leštiteľnosť je veľmi prácna - nie je možné dosiahnuť zrkadlový lesk.

Použitie: na korózne namáhané konštrukcie, v prostredí zo zvýšenou prítomnosťou chloridov, chemické potrubia, konštrukcie v prímorskom prostredí, zvarané konštrukcie s hlbšími prievarmy. Pre styk s potravinami a pokrmami ju nie je možné použiť, ale pre použitie na pitnú vodu je možné.

2.3 Parametre ovplyvňujúce zváranie antikorózných ocelí

Austenitické chróm-niklové a chróm-nikel-molybdénové ocele sú charakteristické nízkou tepelnou vodivosťou a vysokou teplotnou rozťažnosťou. Ľahko sa preto miestne natavujú, ale ľahko sa pri tavnom zváraní prehrievajú. Pri zváraní tenkých plechov a pri výrobe zvarov malej tuhosti vznikajú veľké deformácie. Dlhodobý ohrev pri teplote 450-850 °C treba vylúčiť v zaujme zabezpečenia odolnosti zvarovaných spojov proti medzi kryštálovej korózii. Tenké plechy sa preto odporúča zvärať v pevnom upnutí, ktoré je výhodné aj z hľadiska zvýšenia odvodu tepla z miesta zvaru. Pri zváraní hrubších materiálov sa odporúča použiť chladítka. Všeobecne treba používať minimálny teplotný príkon zvárania a vyššie rýchlosti zvárania. Pred zváraním sa nepoužíva predohrev. Pri výrobe viac vrstvých zvarov treba pred položením ďalšej husenky dodržať interpass teplotu maximálne 100°C.

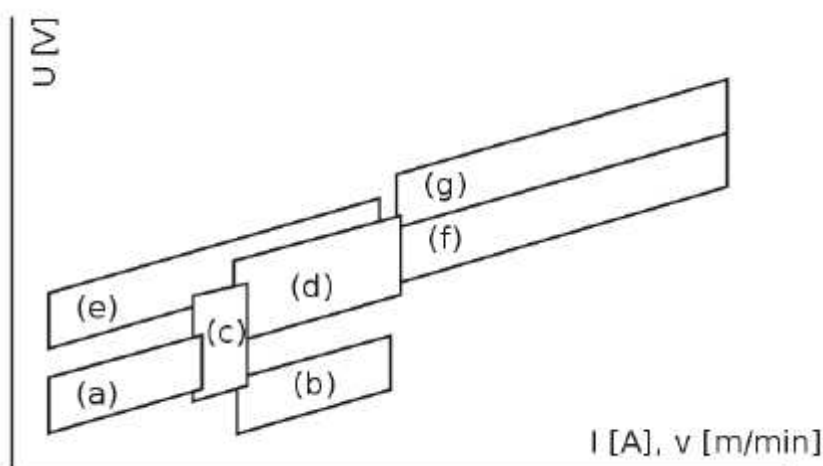
Zvárané spoje alebo zvary vyrobené z korózie vzdornej austenitickej ocele sa po zvarení tepelne spracovávajú iba v prípadoch, pri ktorých sa vyžaduje vysoká odolnosť spojov proti medzi kryštálovej korózii alebo proti koróznemu praskaniu.

2.3.1 Prenos kovu v oblúku

Prenos kovu v oblúku patrí medzi základné charakteristické metódy zvárania elektrickým oblúkom taviacou sa elektródou a závisí predovšetkým na zváracích parametroch a to predovšetkým na prúde a napätí. Významne však jeho charakter ovplyvňuje zloženie ochranného plynu, druh prídavného materiálu a technika zvárania.

Prenos kovu používaného v robotizačnom zváraní môžeme rozdeliť na jednotlivé typy:

- a) krátky oblúk zo skratovým prenosom
- b) krátky oblúk zo zrýchleným skratovým prenosom
- c) prechodový dlhý oblúk z nepravidelnými skratmi
- d) dlhý oblúk zo sprchovým bez skratovým prenosom
- e) impulzný bezstratový oblúk
- f) moderovaný bezstratový prenos
- g) dlhý oblúk s rotujúcim prenosom kovu
- h) CMT (Cold Metal Transfer)



Obrázok 2.3-1 Spôsob prenosu kvapky kovu elektrickým oblúkom v závislosti na prúde, rýchlosti podávania drôtu a napätia.

a)skratový prenos, b)zrýchlený skratový prenos, c)kvapkový prenos, d)sprchový prenos, e)impulzný sprchový prenos, f)moderovaný sprchový prenos, g) rotujúci oblúk [10]

V súčasnosti sa pri robotizačnom zváraní používajú dva moderné spôsoby prenosu kovu v oblúku a to je impulzný bez skratový a CMT technológia vyvinutá firmou Fronius vhodná na zváranie tenkých plechov a hlavne na heterogénne materiály napr. oceľ s hliníkom.[10]

2.3.2 Zváracie napätie

Napätie na oblúku predstavuje potenciálny rozdiel medzi drôtom elektródy a povrchom zvar. kúpeľa. Mení sa podľa dĺžky oblúku a na odtavovací výkon má len malý vplyv. Výrazný vplyv má napätie na šírku zvaranej husenky, ale hĺbku zvaru ovplyvňuje samotné napätie len málo. Na zváracom zdroji sa nastavuje napätie, pri zváraní v čistom oxide uhličitom je potrebné zvýšiť napätie o 2-3 V než u zmesi. Napätie na oblúku má dôležitý vplyv na

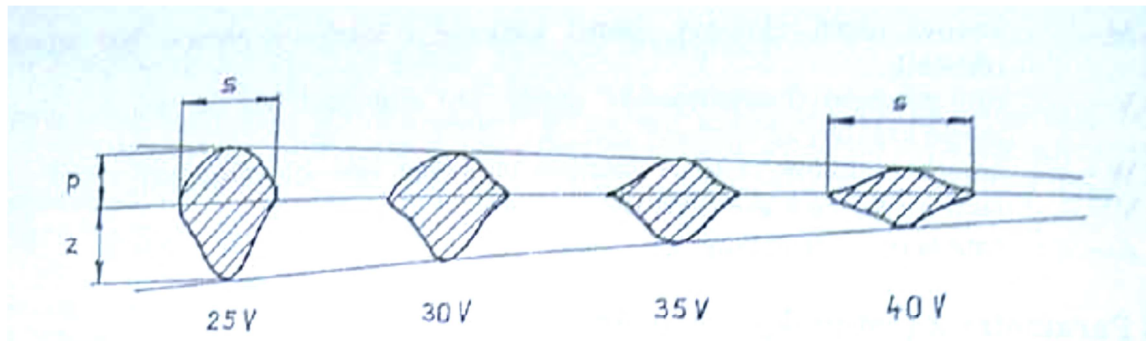
dosiahnutie optimálnych podmienok samoregulácie dĺžky oblúku a ustálenie pracovného bodu.

Obecne platí $U = 15 + 0,035 I_S$ (V) kde U =pracovné napätie, I_S =zvárací prúd

Napätie má vplyv na kontrakčné účinky oblúku, ovplyvňuje tvar a rozmery oblúku. Napätie sa môže meniť len v obmedzenom rozsahu a má výrazný vplyv na typ prenosu kovu v oblúku.

Vplyv napätia na prenos s ohľadom na použité plyny:

- rozsah napätia 14-21 V odpovedá skratovému procesu v oxide uhličitom a v zmesiach
- nad 21 prebieha čiastočne bez skratový prenos
- medzi 22-27 V bez skratový prenos kovu v zmesových plynach a čiastočne skratový prenos s veľkými kvapkami oxidu uhličitého
- pri napätí nad 27 V prebieha sprchový prenos.



Obrázok 2.3-2 Závislosť tvaru zvaru na napätí, s-šírka zvaru, p-prevýšenie, z-hĺbka zvaru [6]

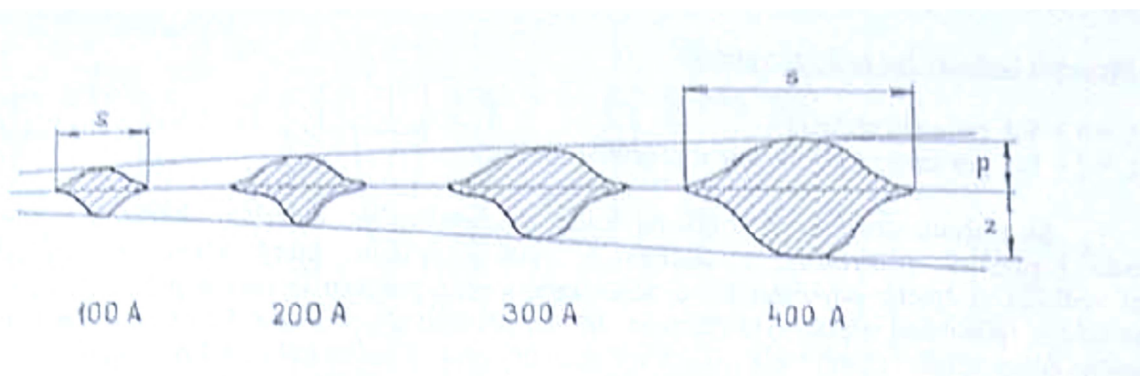
Nadmerne **vysoké napätie** zvyšuje dĺžku oblúku a prepaly, zvary sú náchylné na pórovitosť a zvyšuje sa rozstrek. Zvarová kúpeľ je široká, plytká a vzniká nebezpečné predbiehanie zvar. kúpeľa pred oblúk. **Nízke napätie** býva príčinou nestabilného procesu, úzkych husieniek s veľkým prevýšením obzvlášť pri vysokých rýchlostiach. Pri nízkom napätí nedochádza k dokonalému nataveniu zváraných hrán a pri viacvrstvovom zváraní dochádza k výskytu studených spojov.[10]

2.3.3 Zvárací prúd

Zvárací prúd má na charakter prenosu kovu pri zváraní a tvar prierezu zvaranej husienky najväčší vplyv. So vzrastajúcim prúdom rastie prúdová hustota, veľkosť a tekutosť zvarového kúpeľa, súčiniteľ roztavenia a odtavovací výkon. Pri konštantnom napätí na oblúku nastáva pri zvyšovaní prúdu výrazný rast hĺbky prievaru s relatívne malým rastom šírky husienky i prevýšenie.

Zváracím prúdom sa podstatne ovplyvňuje charakter prenosu kovu v oblúku:

- rastom prúdu rastie frekvencia kvapiek
- intenzita prúdu podľa zloženia ovplyvňuje sily, ktoré pôsobia na kvapku
- rastom prúdu sa u bežných typoch prenosov kovu znižuje objem kvapiek.

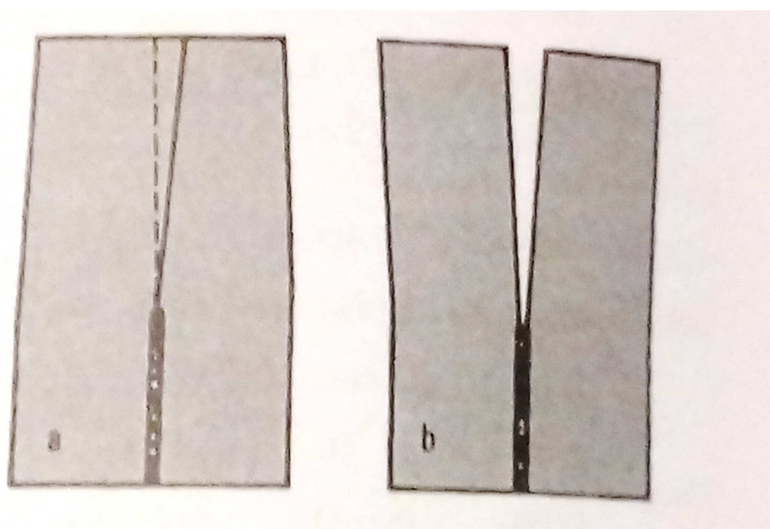


Obrázok 2.3-3 Závislosť tvaru zvaru na intenzite prúdu.[6]

Prúd sa pred zváraním predbežne nastaví podľa tabuľky alebo skúseností. Orientačné hodnoty pre nastavenie parametrov sú v tabuľke. Z hľadiska kvality zvarov je výhodnejší menší priemer drôtu, lebo dáva väčší počet dobrých malých kvapiek a kvalita povrchu zvaru je veľmi dobrá. [10]

2.3.4 Zváracia rýchlosť

Ďalším veľmi dôležitým parametrom zvárania je rýchlosť zvárania, ktorý je potrebné presne definovať a počas zvárania stabilizovať. Ak je rýchlosť zvárania malá (menšia ako rýchlosť šírenia tepla v zváranom materiály) dochádza počas zvárania k zmene teplotného pola v jednotlivých miestach zvaru - postupnému predohrievaniu základného materiálu, čo predstavuje špecifickú pouchovu veličinu zváracieho procesu nielen z pohľadu zmeny hĺbky prievaru, ale aj celkovej deformácie zvarku. Naopak ak je rýchlosť zvárania veľmi vysoká, môže dôjsť pri zváraní tenkých plechov k zápalom v prechode zvar - základný materiál a taktiež k ich deformácii, v opačnom zmysle podľa obr.19. Základnou podmienkou pre úspešné robotické zváranie MIG/MAG je preto, nie len optimalizácia ale aj stabilizácia rýchlosti zvárania. Každá zmena rýchlosti zvárania počas zváracieho procesu má za následok nežiaduci pokles kvality, formy a rozmerov zvaru. Pri väčšom rozsahu zmien rýchlosti zvárania môže dôjsť k vzniku neprievarov alebo iným neprípustným defektom.[5]



Obrázok 2.3-4 Vplyv rýchlosti zvárania na deformáciu zvarenca, malá(a), veľká (b) rýchlosť zvárania [5]

2.3.5 Druh a polarita zvracieho prúdu

Pri zvaraní MIG/MAG sa najčastejšie používa jednosmerný prúd a zapojenie elektródy na kladný pól zdroja, nepriama polarita. Pri tomto zapojení sa tvar prierezu vyznačuje zvýšenou hĺbkou závaru, malým prevýšením a relatívne širšou húsenkou. Pri zapojení elektródy na záporný pól, priama polarita, sa hĺbka zvaru znižuje, ako aj šírka húsenky a prevýšenie rastie. Týchto skutočností je možné využiť pri navarovaní, kde je potrebné malého prievaru. Pri priamej polarite sa však u plného prierezu drôtu tvorí na konci drôtu rozmerná a stabilná kvapka, čo sa prejavuje zvýšeným rozstrekom. Priama polarita sa používa s výhodou u plných drôtov. Na stabilite procesu majú vplyv hlavne dynamické sily oblúku.[5]

..

3 Vyhodnotenie navrhutej technológie zvárania

Navrhnutá technológia je testované na zváracom robote YASKAWA a zváracom zdroji Fronius. Podrobný popis skúšky je bližšie špecifikovaný v kapitole č. 4.1. Testovanie prebehlo podľa normy EN ISO 15614 na príslušných vzorkách špecifikovaných v tejto norme. Nasledovalo prevedenie deštruktívnych a nedeštruktívnych skúšok. Vyhodnotenie prebehlo podľa prevedených skúšok, ktoré boli ovplyvnené ich výsledkom a z časti skúsenosťami z praxe.

3.1 Priebeh praktickej skúšky

Skúška optimalizácie bola prevedená na pracovisku za pomoci priemyselného robota YASKAWA a zváracieho zdroja Fronius. Pre skúšku zvárania bolo použité medené pravítko, na ktoré sa upínali vzorky. Po upnutí skúšanej vzorky nasledovalo zváranie pomocou doporučených parametrov z tabuľky ESAB pre zvárací drôt 316, ktoré sa následne odladili. Začínalo sa zváracím prúdom 150 A, ktorý sa optimalizoval na 140 A. Zváracie napätie bolo zvolené na 20V. Priebeh skúšky je detajne stanovený v zváracom postupe v tab.1.



Obrázok 3.1-1 Robotizačné pracovisko príprava vzorky pred zváraním

Vybavenie pracoviska robotizačného zvárania:

1. Robot YASKAWA DX 200
2. Zvárací zdroj FroniusTransPulsSynergic 400
3. Podávač drôtu Fronis VR 7000 CMT
4. Polohovalo Yaskavwa nosnosť 1000 Kg
5. Prípravok pre upnutie (pravítko) medené
6. Zvárací drôt EASB 316 Li
7. Ochranný plyn Ar + 2,5 CO₂
8. Zvárací horák RABACTA 280

Tabuľka 2 Technologický postup zvárania

Operácia č.	Názov operácie	Popis operácie	Pracovisko
10	Strihanie vzoriek	Strihať na rozmer 100x100	Hydraulické nožnice HACO
20	Odhrotovať vzorky	Odhrotovať hrany po strihaní nožnicami	Ručný odhrotovací nôž
30	Upnutie	Upnúť pomocou úpiniek	Robotizačné pracovisko
40	Kontrola	Kontrola naprogramovanej trajektórie robota	Robotizačné pracovisko
50	Robotizačné zváranie	Spustenie zváracieho programu pre zváranie vzoriek	Robotizačné pracovisko
60	Kontrola	Kontrola zvaru	Robotizačné pracovisko

Zvárací prípravok bol vytvorený z medeného pravítka obr.1.1.1-2 na ktorom bola vyfrézovaná drážka pre koreň zvaru. Táto medená podložka chránila zvar a odoberá prenesené teplo. Pri zváraní bol pozorovaný jav, že pri zohriati pravítka pôsobením zvárania vznikali zvary ktoré podľa vizuálnej kontroly boli krajšie.



Obrázok 3.1-2 Medené pravítko



Obrázok 3.1-3 Priebeh zvarania

Tabuľka 3 Testované zvaracie parametre

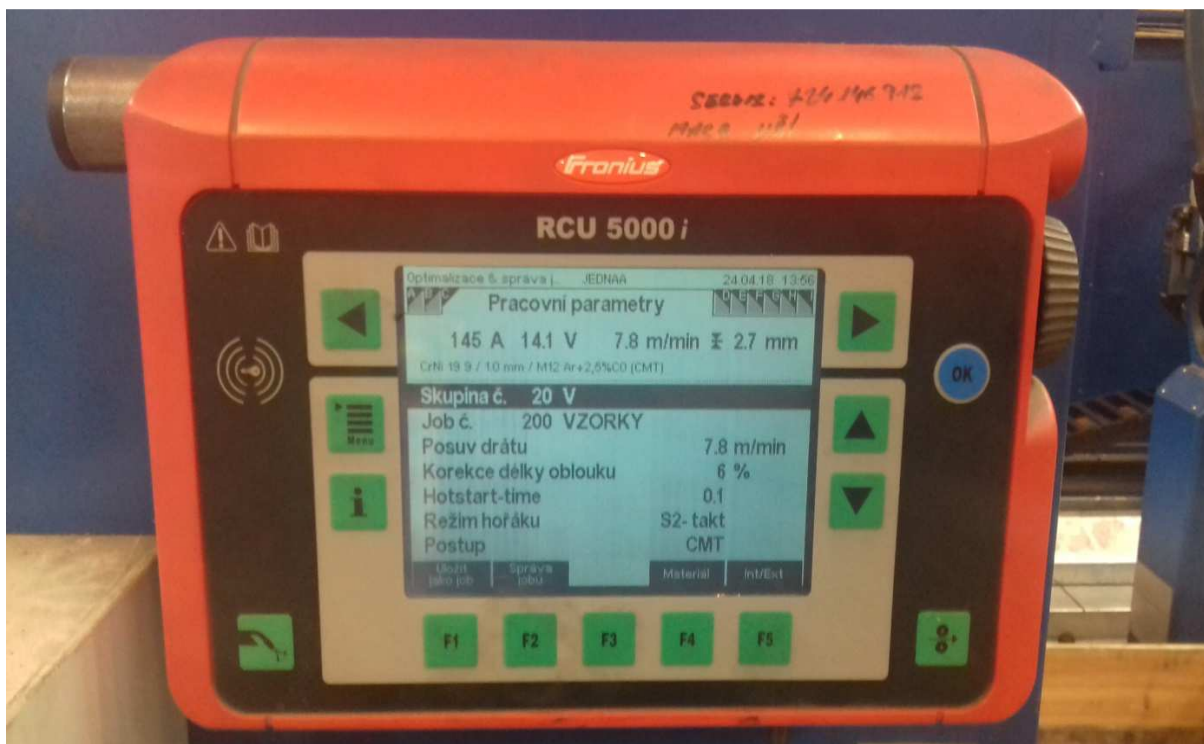
Zvaracia rýchlosť [cm/min]	Zvaracie napätie [V]	Zvarací prúd [A]	Prenos kovu v oblúku	Polarita prúdu
50	20	140	Pluzný	jednosmerná
60	20	140	Pluzný	jednosmerná
70	20	140	Pluzný	jednosmerná
80	20	140	Pluzný	jednosmerná
90	20	140	Pluzný	jednosmerná

Pre testovanie optimálnych zväracích parametrov boli aplikované hodnoty uvedené v tab. č.2. Posuv zväracieho drôtu uvedeného na zväračke je $7,4\text{m}\cdot\text{min}^{-1}$ pre dané parametre. Ochranný plyn zmes CO_2+Ar 2,5% je dávkovaný v objeme 12 l/m.



Obrázok 3.1-4 Zvarené vzorky

Počas skúšky zvarov boli na displeji zväračky odčítane nasledujúce hodnoty obr.1.1-4. a zapísane do meracieho formulára. Následne vypočítané hodnoty preneseného tepla do zváraného materiálu.



Obrázok 3.1-5 Diaľkové ovládanie zväračky pre nastavenie požadovaných parametrov

Výpočet tepla vneseného do materiálu:

$$Q_s = \mu \frac{U \times I}{10^3 \times v_s} [kJ \cdot mm^{-1}]$$

Q_s špecifické vnesené teplo [kJ.mm⁻¹],

η tepelná účinnosť prenosu tepla [-],

U zväracie napätie [V],

I zvärací prúd [A],

v_s rýchlosť zvärania [mm.s⁻¹].

Celková tepelná účinnosť μ :

$$\mu = \frac{Q_{sv}}{Q_{cel}}$$

Q_{sv} energia vnesená do zväraného spoja [J],

Q_{cel} celková energia oblúka [J].

Tabuľka 4 Celková tepelná účinnosť

Technológia zvärania	μ
MMAW (ROE)	0,70 – 0,85
GTAW (TIG,WIG)	0,48-0,65
GMAW (MIG,MAG)	0,66 – 0,75
APT (SAW)	0,90 – 0,99
ESS 0,90 – 0,99	0,90 – 0,99

Pri skúškach zvärania boli zaznamenávané hodnoty do meracích formulárov. Zaznamenávali sa aktuálne parametre pri zväraní, ktoré sa odpisovali z diaľkového ovládania zväračky a následne dopočítané prenesené teplo.

Tabuľka 5 Merací formulár pre materiál 1.4301

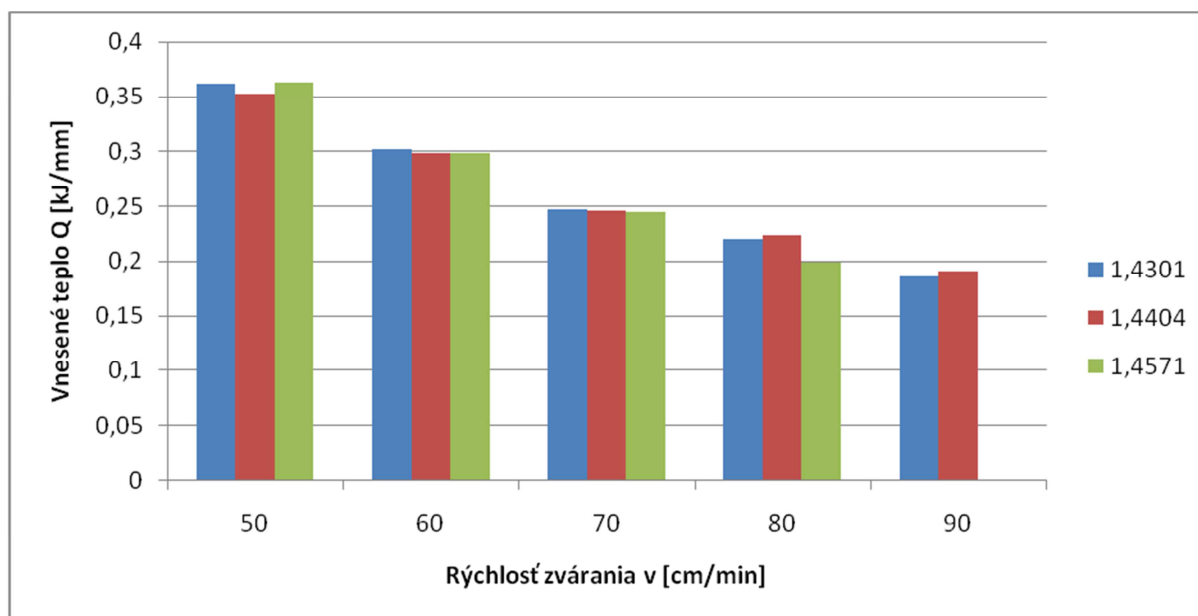
Číslo m.	cm/min	A	V	Q [kJ/mm ⁻¹]	Q [J/cm ⁻¹]
2	50	139	21,7	0,36197	3619,6
3	60	143	21,1	0,30173	3017,3
4	70	144	20	0,24687	2468,6
5	80	144	20,4	0,22033	2203,2
6	90	141	19,8	0,18612	1861,2

Tabuľka 6 Merací formulár pre materiál 1.4404

číslo m.	cm/min	A	V	Q [kJ/mm ⁻¹]	Q [J/cm ⁻¹]
1	80	143	20,9	0,22415	2241,5
2	70	135	21,3	0,24647	2464,7
3	60	141	21,2	0,29892	2989,2
4	50	136	21,6	0,35251	3525,1
5	90	140	20,5	0,19133	1913,3

Tabuľka 7 Merací formulár pre materiál 1.4571

Číslo m.	cm/min	A	V	Q [kJ/mm ⁻¹]	Q [J/cm ⁻¹]
1	70	150	21,3	0,273857	2738,6
2	50	150	21,3	0,3834	3834
3	50	142	21,3	0,362952	3629,5
4	70	140	20,4	0,2448	2448
5	60	141	21,2	0,29892	2989,2
6	80	137	19,4	0,199335	1993,4



Graf 1 Prestup tepla do materialu

Zo zvyšujúcou rýchlosťou zvarania bol pozorovaný pokles preneseného tepla do materiálu, čo je spôsobené tým, že horák sa pohybuje rýchlejšie a nesústredí teplo do jedného bodu, čo je výhodnejšie, tým vzniká aj menšia teplom ovplyvnená oblasť. Pri vyššej rýchlosti zvarania, a tým pádom menšieho vneseného tepla do materiálu vznikali menšie deformácie plechu. Na obr.č.1.1-5-1 môžeme pozorovať väčšie deformácie vzniknuté vyšším prestupom tepla do materiálu a na obr. č.1.1-5-5, ktorý je zvaraný vyššou rýchlosťou sú deformácie podstatne menšie.



Obrázok 3.1-6 Porovnanie deformácie 1- rýchlosť zvarania v 50cm/min, 5- rýchlosť zvarania 90cm/min

V prípade vzniku menších deformácií je možné odstrániť z výrobného cyklu doplnkové operácie rovnanie.

3.1.1 Prídavný materiál

Pre tento druh ocele sme volili prídavný materiál OK AUTROD 316LSi od spoločnosti ESAB.

Špecifikácia: je to drôt s veľmi nízkym obsahom uhlíka pre zváranie korozivzdorných ocelí typu 18Cr8Ni a 18Cr8Ni3Mo. Obsah kremíku je zvýšený pre zlepšenie zvaracích vlastností. [10]

Tabuľka 8 Chemické zloženie zvaraného kovu [10]

Mn	Mo	Cu	C	Si	Ferrite FN	Ni	Cr
1,80%	2,60%	0,12%	0,01%	0,90%	7%	12,20%	18,40%

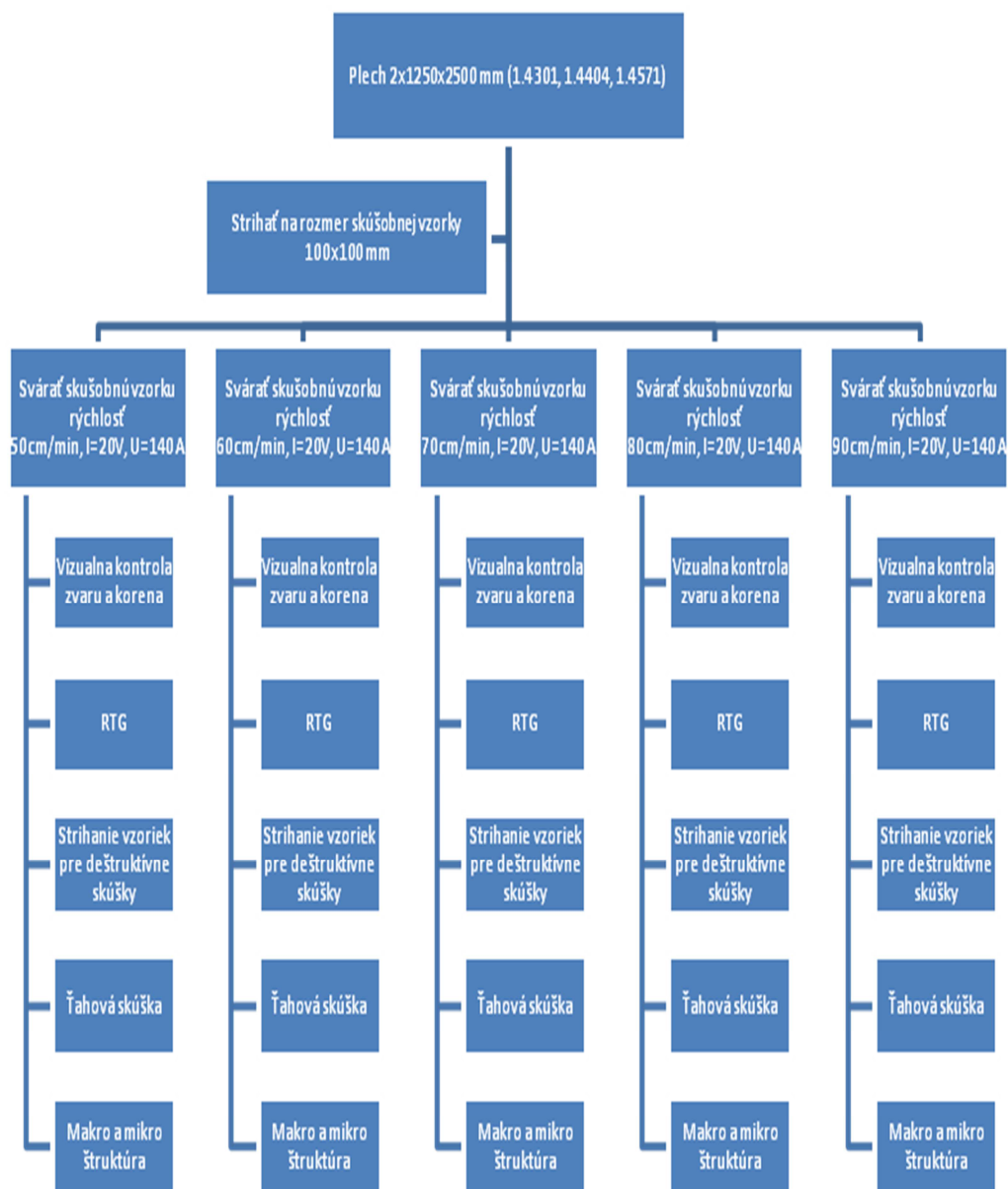
Tabuľka 9 Doporučené údaje pre zváranie[10]

Průměr	A	Produktivita	Rychlost podávání	V
0.6 mm	-	-	-	-
0.8 mm	55-160 A	1.0-4.1 kg/h	4.0-17.0 m/min	12-24 V
0.9 mm	65-220 A	1.1-5.4 kg/h	3.5-18.0 m/min	15-28 V
1.0 mm	80-240 A	1.5-6.0 kg/h	4.0-16.0 m/min	15-28 V
1.14 mm	-	-	-	-
1.2 mm	100-300 A	1.6-7.5 kg/h	3.0-14.0 m/min	15-29 V
1.6 mm	230-375 A	5.2-8.6 kg/h	5.5-9.0 m/min	23-31 V

Tabuľka 10 Typické vlastnosti v ťahu [10]

Medz pevnosti v ťahu	Mezd sklzu	Predĺouženie	Ochranný plyn
560 MPa	400 MPa	37%	-
440 MPa	340 MPa	26%	Testované pri 350°C.

3.2 Schéma skúšky

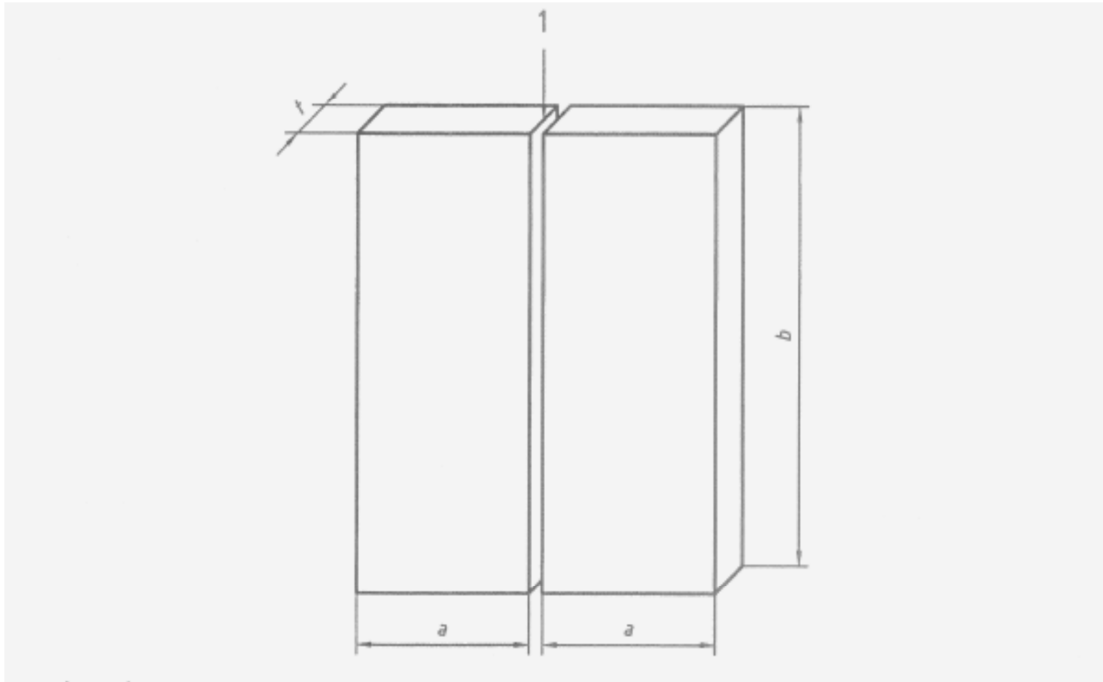


Obrázok 3.2-1 Schéma skúšky

3.3 Príprava vzoriek pre skúšky robotizačného zvarania

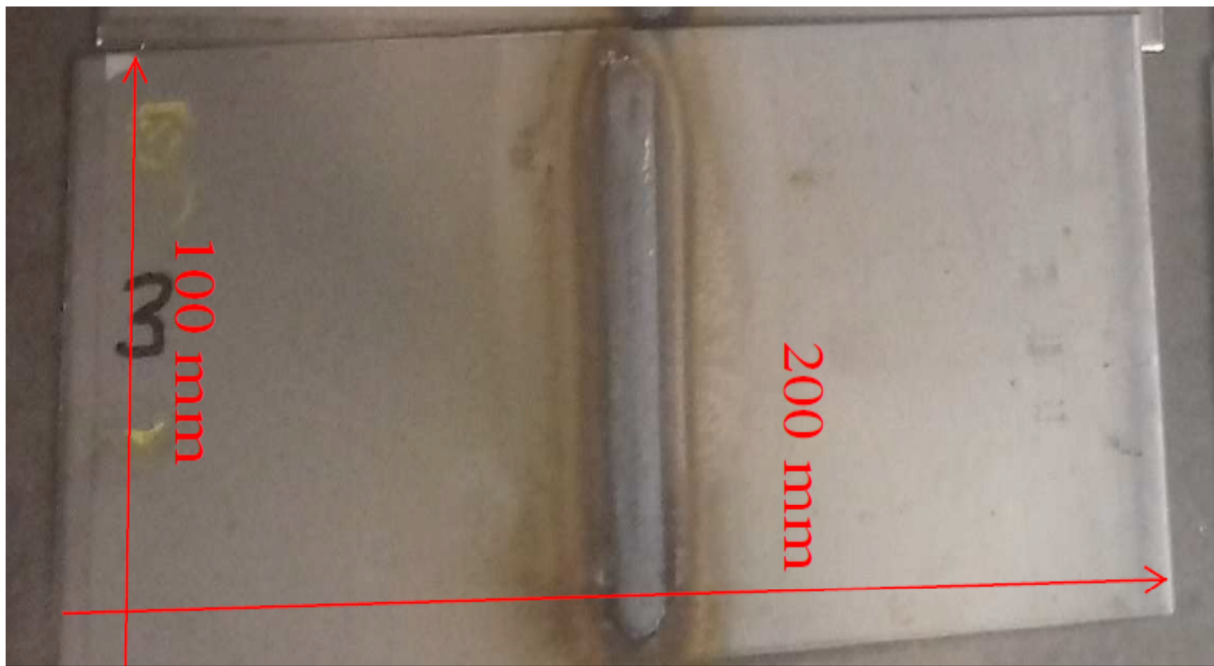
Základné rozmery sú stanovené podľa normy EN ISO 15614, ktorou sa riadi aj podstatná časť skúšky.

Vzorky boli pripravované z plechu o rozmere 2x1250x2500 mm, následne boli nastrihané na priečne pruhy, z ktorých sa vystrihovali požadované rozmery 100x100 mm. Nasledovalo odihlenie a odmastenie. Po zavarení vznikla skúšobná vzorka obr.1.4.1-3. Následne sa pokračovalo v prevedení požadovaných skúšok. Po prevedení nedeštruktívnych skúšok sa vyrobili vzorky na deštruktívne skúšanie podľa požiadaviek normy pre danú skúšku. Presné rozmery a technológia výroby sú špecifikované v kapitole pre skúšku.



Obrázok 3.3-1 Skúšobná vzorka pre tupý zvar s plným prievarom

1- príprava spoja a nastavenie tak, ako sa podrobne uvádza v predbežne stanovenom postupe (pWPS), a- minimálna hodnota 150mm, b- minimálna hodnota 350 mm, t- hrúbka materiálu [25]



Obrázok 3.3-2 Skúšobná vzorka po zvarení

Vzorky boli nastrihané pomocou dielenských nožníc HACO z plechov formátu 2x1250x2500 a odhrotované.

3.4 Nedeštruktívne skúšky

Nedeštruktívne skúšanie materiálu (NDT) môžeme rozdeliť z hľadiska praktickej aplikácie do dvoch základných skupín:

- a) metódy pre zisťovanie chýb nachádzajúcich sa na povrchu, alebo v blízkosti povrchu súčiastky alebo polotovaru (trhliny, preložky, vruby, neprievary, atď.)
- b) Metóda pre zisťovanie chýb v celom objeme (dutiny, prímiesok, studené spoje, atď.)

Do prvej skupiny patria : vizuálna, magnetická, kapilárna a skúška vírivých prúdov.

Do druhej skupiny patria metódy: radiografická, ultrazvuková skúšky[25]

Zvary boli kontrolované tromi spôsobmi nedeštruktívnych skúšok . Prvá skúška sa urobila vizuálna kontrola podľa normy ČSN EN ISO 17637 a potom kapilárna skúška ČSN EN ISO 3452-1. Skúška prežarovania EN 1435. Všetky skúšky boli prevedené pred rezaním materiálu na skúšobných vzorkách.

3.4.1 Kapilárna skúška podľa ČSN EN ISO 3425-1

Princíp: skúšaná kapilárna metóda sa používa na zisťovanie diskontinuit na skúšanom povrchu, ako sú trhliny, ryhy, póry, a studené spoje ktoré sú otvorené na povrchu telesa.

Pred zahájením skúšobnej metódy bol skúšaný povrch očistený a osušený. Na skúšaný povrch sa naniesol penetrant a po uplynutí skúšobnej penetračnej doby sa odstránil prebytočný a naniesla vývojka. Vývojka absorbuje penetrant, a vytvára jasne viditeľné zväčšene indikácie diskontinuity.

Skúška bola vyhodnotená bez žiadnych zistených chýb.



Obrázok 3.4-1 Kapilárna skúška

a - zvar bez defektu, b - koreň bez defektu

3.4.2 Vizuálna kontrola podľa ČSN EN ISO 6520-1

Princíp: Hodnotenie prebiehalo na základe chýb popísaných v tejto norme a následné vyhodnotenie, ktoré bolo zapísané do tabuliek pre príslušnú sledovanú oceľ.

Skúška vizuálnej kontroly prebieha pod kvalitným osvetlením a pracuje sa v čistom prostredí. Riadi sa príslušnou normou, ktorá popisuje chyby vo zvaroch. Typy chýb sú definované spoločne s vysvetlením a v nutných prípadoch so zobrazením. Následne sa porovnávajú rozdiely stanovené v tejto norme a vyhodnotia sa rozdiely. V tejto kapitole sa hodnotili aj

prehnutia a deformácie zvarov a všetky nedostatky je možné hodnotiť vizuálne od ideálneho modelu. Následne boli zmerané rozmerové hodnoty zvarov a vyhodnotené.

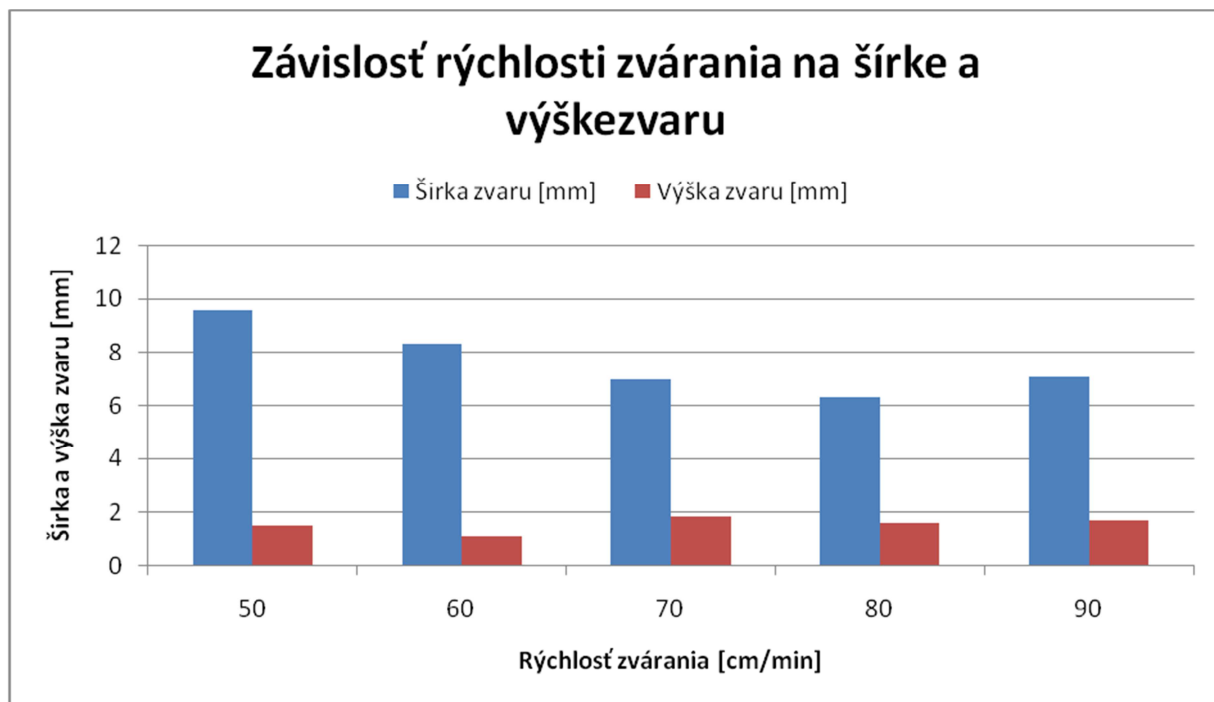
Priebeh vizuálnej kontroly je zaznamenaný v tabuľke č. 7,8,9,10,11,12 pre každú skúšanú ocel' a graficky porovnaný v grafoch hodnotiacich šírku a výšku zvaru. Pri vizuálnej kontrole neboli zistené podstatné nedostatky, ktoré by sa líšili od normou stanovených hodnôt.

Tabuľka 11 Vyhodnotenie pre materiál X2CrNiMo 17-12-2 (1.4404)

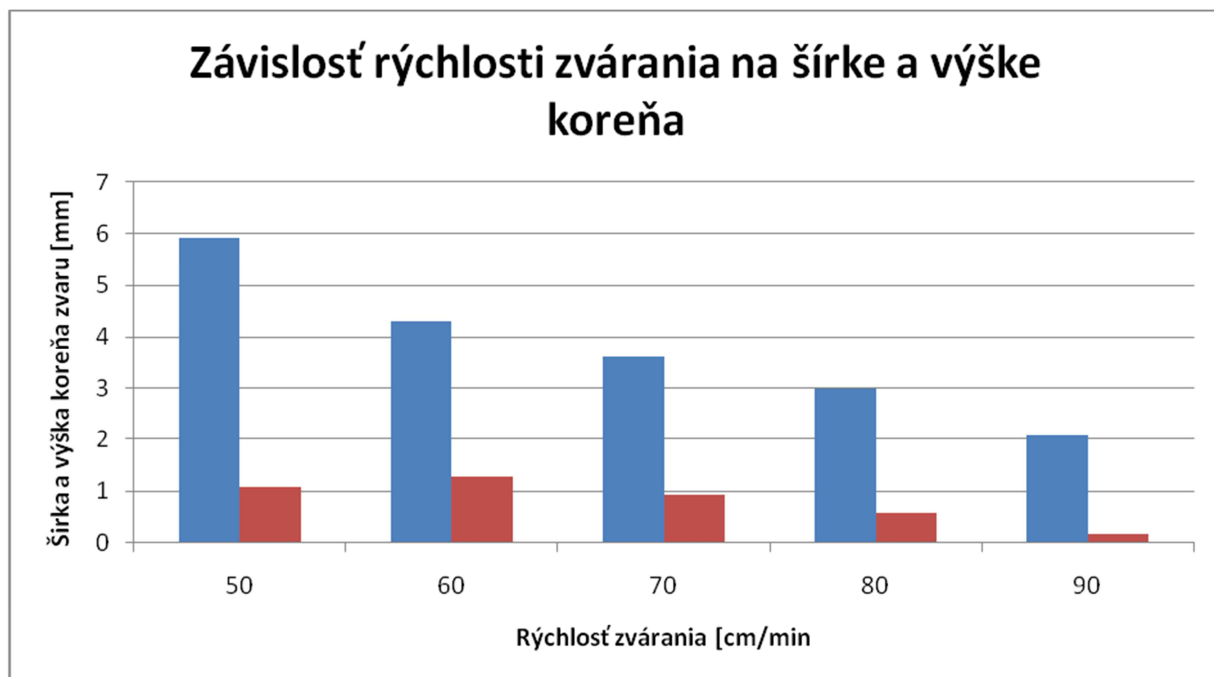
Materiál 1.4401 v=50 cm/min	Koreň	Vizuálna kontrola hodnotenia zvaru	Deformácie
		šírka zvaru je 6,3mm, výška je 1,6mm, šírka koreňa je 3mm, výška koreňa je 0,6mm	deformácia v mieste zvaru je 7,15mm (priehyb), vizuálne ovplyvnený povrch 4,39mm na pravej i ľavej strane od zvaru
Materiál 1.4401 v=60 cm/min	Koreň	Vizuálna kontrola hodnotenia zvaru	Deformácie
		šírka zvaru je 7,0mm, výška je 1,81mm, šírka koreňa je 3,62mm, výška koreňa je 0,95mm	deformácia v mieste zvaru je 4,81mm (priehyb) vizuálne ovplyvnený povrch 3,8mm na pravej i ľavej strane od zvaru a plynulý
Materiál 1.4401 v=70 cm/min	Koreň	Vizuálna kontrola hodnotenia zvaru	Deformácie
		šírka zvaru je 8,2-8,5mm, výška je 1,05-1,32mm, šírka koreňa je 4,3mm, výška koreňa je 1,28mm	deformácia v mieste zvaru je 8mm, vizuálne ovplyvnený povrch 2,52mm na pravej i ľavej strane od zvaru
Materiál 1.4401 v=80 cm/min	Koreň	Vizuálna kontrola hodnotenia zvaru	Deformácie
		šírka zvaru je 9,6mm, výška je 1,51mm, šírka koreňa je 5,9mm, výška koreňa je 1,08mm, koreň zvaru bol ovplyvnený zváracím medeným pravitkom na koľko nie je možné definovať presný rozmer	deformácia v mieste zvaru je do vrtule, vizuálne ovplyvnený povrch 4,52mm na pravej i ľavej strane od zvaru
Materiál 1.4401 v=90 cm/min	Koreň	Vizuálna kontrola hodnotenia zvaru	Deformácie
		šírka zvaru je 7,1-7,6mm, výška je 1,67mm, šírka koreňa je 2,07mm, výška koreňa je 0,17mm	deformácia v mieste zvaru je 4,98mm, vizuálne ovplyvnený povrch 2,79mm na pravej i ľavej strane od zvaru

Tabuľka 12 Namerané hodnoty pri zváraní X2CrNiMo 17-12-2 (1.4404)

Rýchlosť [cm/min]	50	60	70	80	90
Šírka zvaru [mm]	6,3	7	8,35	9,6	7,35
Šírka koreňa zvaru [mm]	3	3,62	4,3	5,9	2,07
Výška zvaru [mm]	1,6	1,81	1,05	1,51	1,67
Výška koreňa [mm]	0,6	0,95	1,28	1,08	0,17



Graf 2 Závisloslosť rýchlosti zvarania na šírke zvaru pre mat. X2CrNiMo 17-12-2 (1.4404)



Graf 3 Závislosť rýchlosti zvarania na šírke koreňa pre mat. X2CrNiMo 17-12-2 (1.4404)

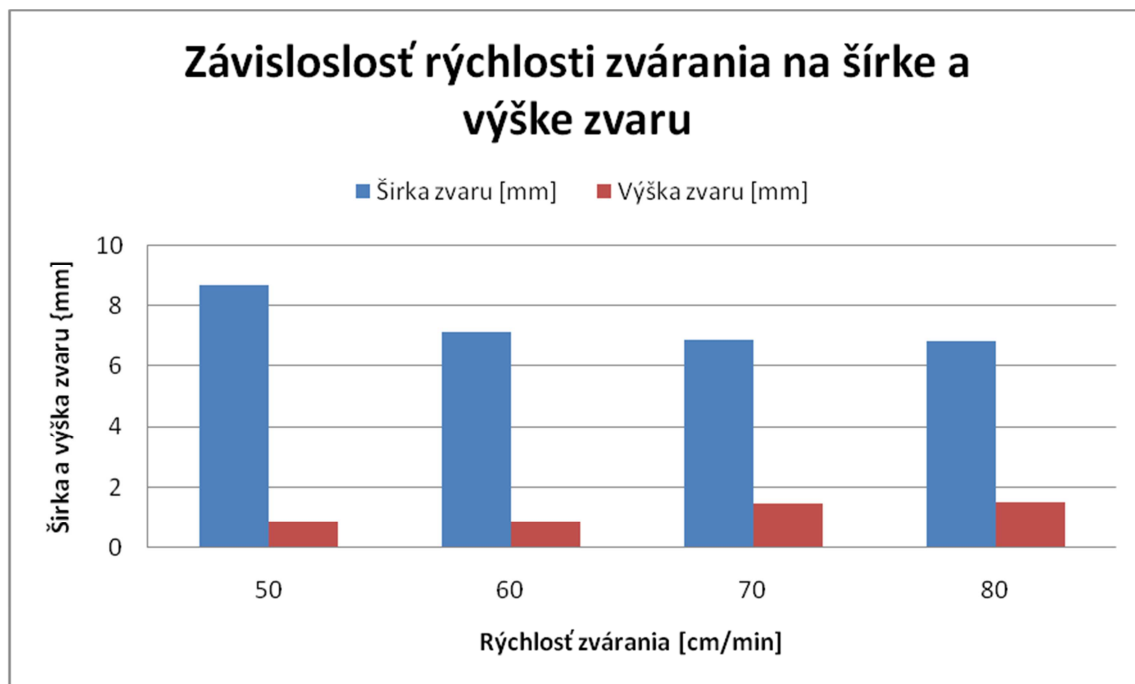
Pri zväčšujúcej rýchlosti zvarania je viditeľný pokles šírky a výšky zvaru, ale je stále vyhovujúci. Pri koreni zvaru je táto tendencia podobá , ale pri rýchlosti zvarania 90cm/min začína miznúť koreň zvaru a preto ako vhodnú rýchlosť zvarania vyhodnocujem **80cm/min.**

Tabuľka 13 Vyhodnotenie pre materiál X6CrNiMoTi 17-12-2 (1.4571)

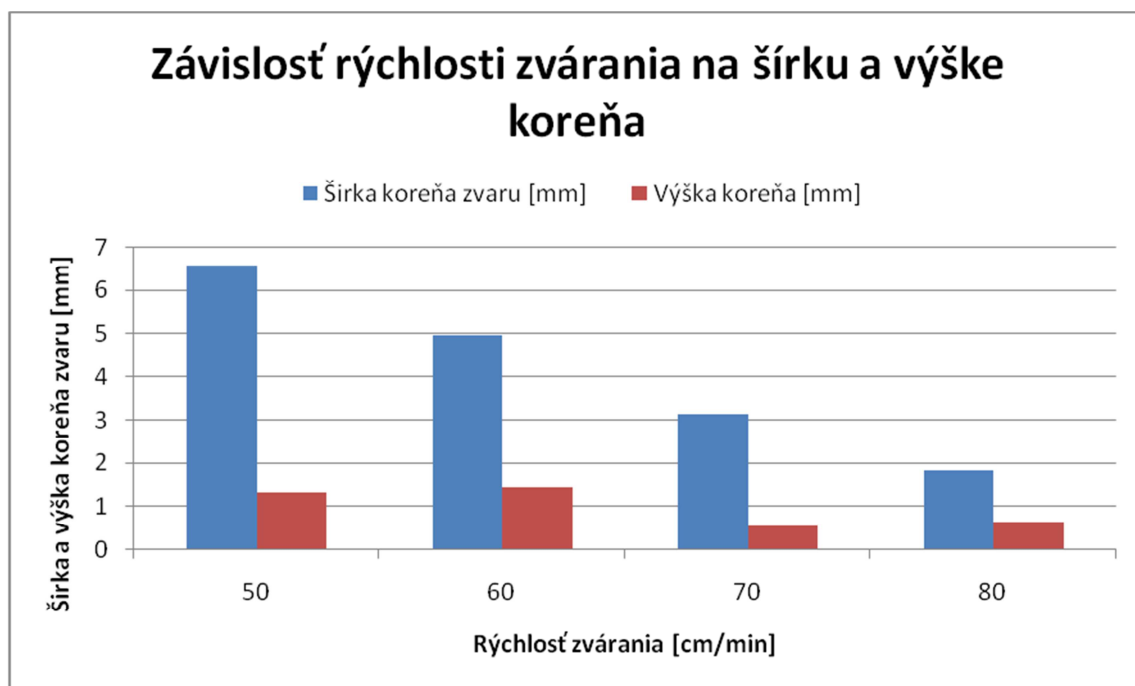
Materiál 1.4571 v=70 cm/min	Koreň	Vizuálna kontrola hodnotenia zvaru	Deformácie
		šírka zvaru je 6,5mm, výška je 1,46mm, šírka koreňa je 3,8mm, výška koreňa je 1,21mm	deformácia v mieste zvaru je lineárne ľahko do vrtule 7,28mm (priehyb), vizuálne ovplyvnený povrch 3,91mm na pravej i ľavej strane od zvaru
Materiál 1.4571 v=50 cm/min	Koreň	Vizuálna kontrola hodnotenie zvaru	Deformácie
		šírka zvaru je 7,63mm, výška je 1,10mm, šírka koreňa je 5,6mm, výška koreňa je 0,97mm	deformácia v mieste zvaru je lineárna/vrtule 8,38mm (priehyb), vizuálne ovplyvnený povrch 4,4mm na pravé i ľavej strane od zvaru
Materiál 1.4571 v=50 cm/min	Koreň	Vizuálna kontrola hodnotenie zvaru	Deformácie
		šírka zvaru je 8,25-9,14mm, výška je 0,91mm, šírka koreňa je 6,58mm, výška koreňa je 1,34mm	deformácia v mieste zvaru je lineárna/vrtule 8,26mm (priehyb), vizuálne ovplyvnený povrch 4,09mm na pravej i ľavej strane od zvaru
Materiál 1.4571 v=70 cm/min	Koreň	Vizuálna kontrola hodnotenie zvaru	Deformácie
		šírka zvaru je 6,9mm, výška je 1,48mm, šírka koreňa je 3,13mm, výška koreňa je 0,56mm	deformácia v mieste zvaru je jemne do vrtule 7,66mm (priehyb), vizuálne ovplyvnený povrch 4,10mm na pravej i ľavej strane od zvaru
Materiál 1.4571 v=60 cm/min	Koreň	Vizuálna kontrola hodnotenia zvaru	Deformácie
		šírka zvaru je 7,15mm, výška je 0,90mm, šírka koreňa je 4,98mm, výška koreňa je 1,45mm	deformácia v mieste zvaru je 9,66mm (priehyb), vizuálne ovplyvnený povrch 4,67mm na pravej i ľavej strane od zvaru
Materiál 1.4571 v=80 cm/min	Koreň	Vizuálna kontrola hodnotenia zvaru	Deformácie
		šírka zvaru je 6,88mm, výška je 1,54mm, šírka koreňa je 2,14-1,55mm, výška koreňa je 0,64mm	deformácia v mieste zvaru je 7,73mm (priehyb), vizuálne ovplyvnený povrch 1,99mm na pravej i ľavej strane od zvaru

Tabuľka 14 Namerané hodnoty pre mat. X6CrNiMoTi 17-12-2 (1.4571)

Rýchlosť [cm/min]	70-150A, 20V	50-150A, 20V	50-140A, 20V	60-140A, 20V	70-140A, 20A	80-140A, 20V
Šírka zvaru [mm]	6,5	7,63	8,695	7,15	8,43	6,88
Šírka koreňa zvaru [mm]	3,8	5,6	6,58	4,98	3,13	1,845
Výška zvaru [mm]	1,46	1,1	0,91	0,9	1,48	1,54
Výška koreňa [mm]	1,21	0,97	1,34	1,45	0,56	0,64



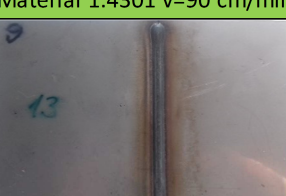
Graf 4 Závislosť rýchlosti zvarania na šírke koreňa pre mat. X6CrNiMoTi 17-12-2 (1.4571)



Graf 5 Závislosť rýchlosti zvarania na šírku koreňa pre mat. X6CrNiMoTi 17-12-2 (1.4571)

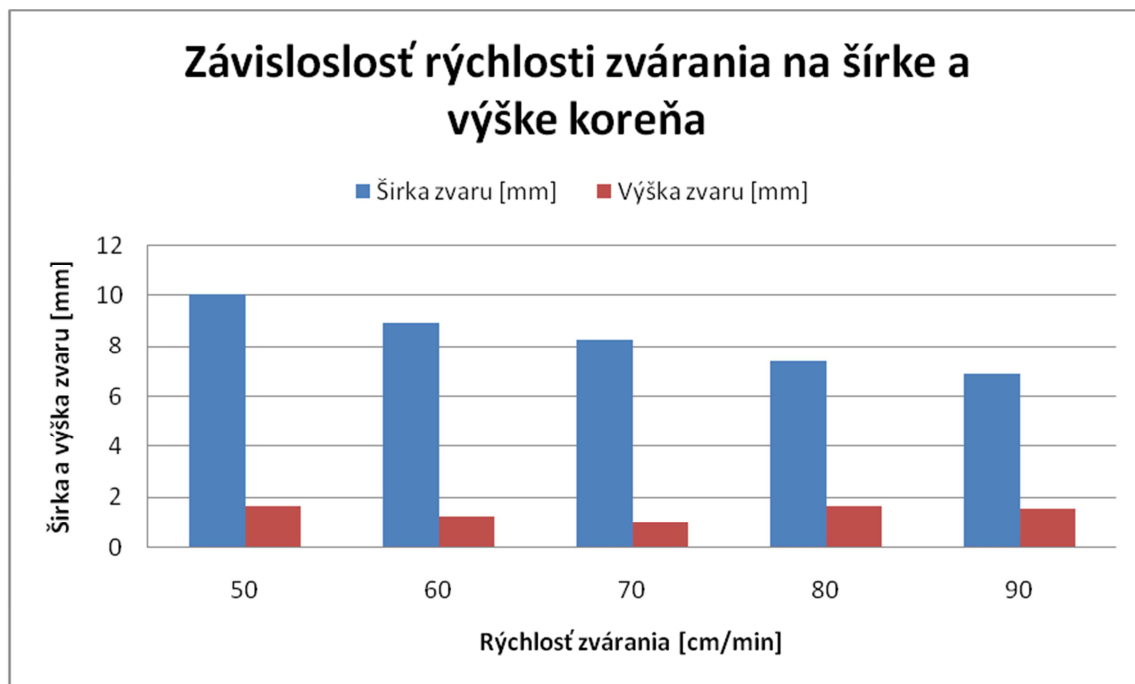
Pri zväčšujúcej rýchlosti zvarania je viditeľný pokles šírky a výšky zvaru, ale je stále vyhovujúci. Pri koreni zvaru je táto tendencia podobá , ale pri rýchlosti zvarania 80cm/min začína miznúť koreň zvaru a preto ako vhodnú rýchlosť zvarania vyhodnocujem **70cm/min.**

Tabuľka 15 Vyhodnotenie pre materiál X5CrNi 18-10 (1.4301)

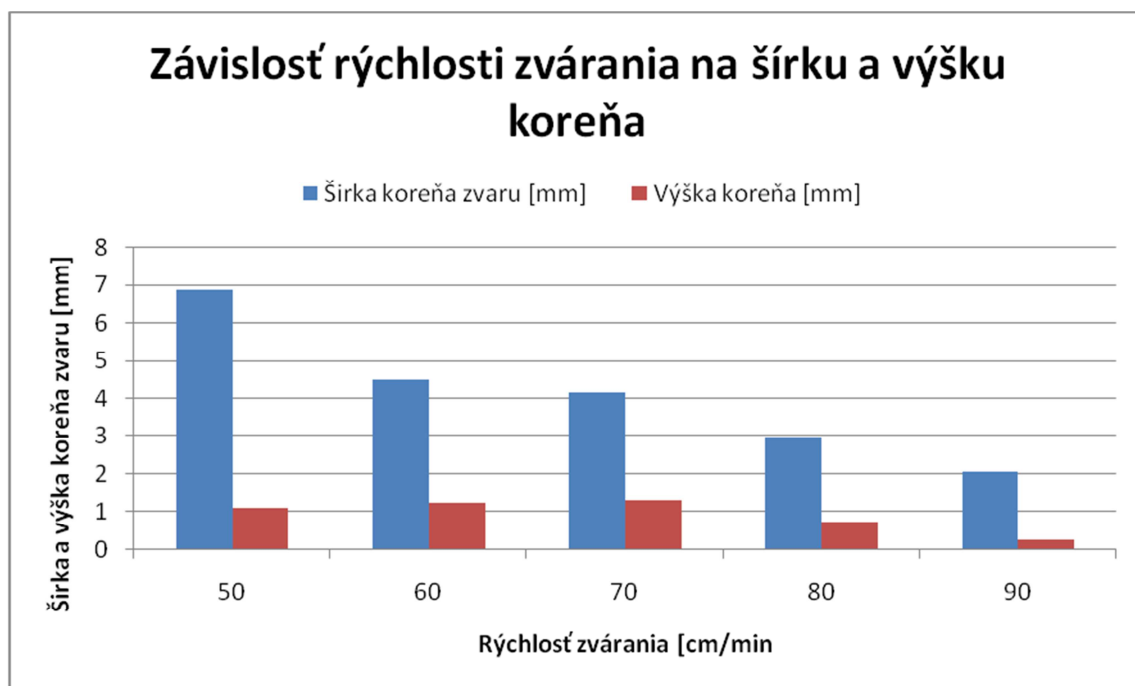
Materiál 1.4301 v=50 cm/min	Koreň	Vizuálna kontrola hodnotenia zvaru	Deformácie
		šírka zvaru je 10,08mm, výška je 1,66mm, šírka koreňa je 6,87mm, výška koreňa je 1,11mm koreň je ovplyvnený medeným pravítkom	deformácia v mieste zvaru je čisto do vrtule (priehyb), vizuálne ovplyvnený povrch 4,77mm na pravej i ľavej strane od zvaru
Materiál 1.4301 v=60 cm/min	Koreň	Vizuálna kontrola hodnotenia zvaru	Deformácie
		šírka zvaru je 8,97mm, výška je 1,25mm, šírka koreňa je 4,5mm, výška koreňa je 1,24mm	deformácia v mieste zvaru je lineárna 8,52mm (priehyb), vizuálne ovplyvnený povrch 4,91mm na pravej i ľavej strane od zvaru
Materiál 1.4301 v=70 cm/min	Koreň	Vizuálna kontrola hodnotenia zvaru	Deformácie
		šírka zvaru je 8,31mm, výška je 1mm, šírka koreňa je 4,17mm, výška koreňa je 1,32mm	deformácia v mieste zvaru je lineárna 8,82mm (priehyb), vizuálne ovplyvnený povrch 3,3mm na pravej i ľavej strane od zvaru
Materiál 1.4301 v=80 cm/min	Koreň	Vizuálna kontrola hodnotenia zvaru	Deformácie
		šírka zvaru je 7,43mm, výška je 1,68mm, šírka koreňa je 3,11-2,84mm, výška koreňa je 0,74mm	deformácia v mieste zvaru je lineárna 11,03mm (priehyb), vizuálne ovplyvnený povrch 3,77mm na pravej a na ľavej strane od zvaru je 1,4mm
Materiál 1.4301 v=90 cm/min	Koreň	Vizuálna kontrola hodnotenia zvaru	Deformácie
		šírka zvaru je 6,89mm, výška je 1,59mm, šírka koreňa je 2,08mm, výška koreňa je 0,28mm	deformácia v mieste zvaru je lineárna 9,62mm (priehyb), vizuálne ovplyvnený povrch 3,44mm na pravej a na ľavej strane od zvaru je 1,84mm

Tabuľka 16 Namerané hodnoty pre mat. X5CrNi 18-10 (1.4301)

Rýchlosť [cm/min]	50	60	70	80	90
Šírka zvaru [mm]	10,08	8,97	9,31	7,43	6,89
Šírka koreňa zvaru [mm]	6,87	4,5	4,17	3	2,08
Výška zvaru [mm]	1,66	1,25	1	1,68	1,59
Výška koreňa [mm]	1,11	1,24	1,32	0,74	0,28



Graf 6 Závislosť rýchlosti zvarania na šírke koreňa pre mat. X5CrNi 18-10 (1.4301)



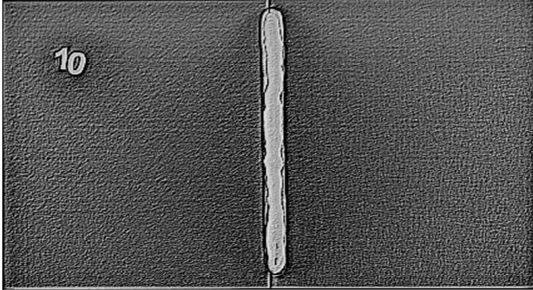
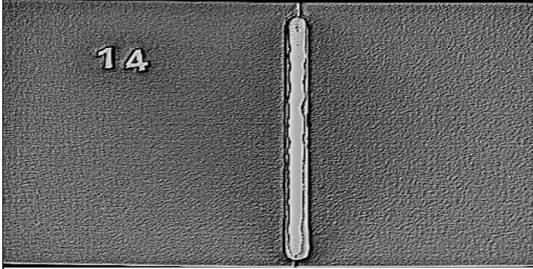
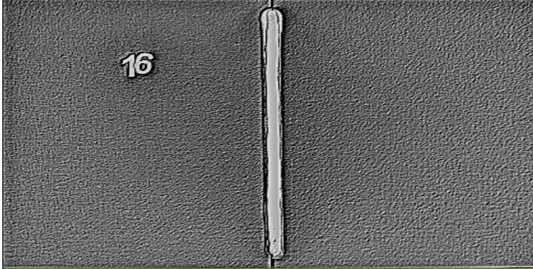
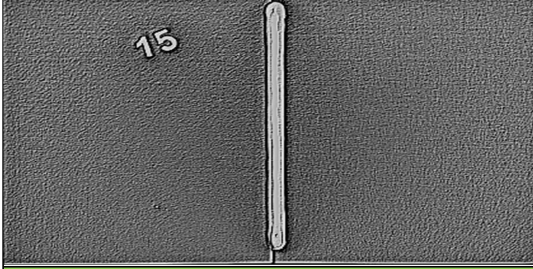
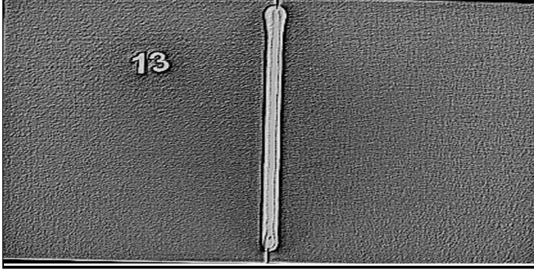
Graf 7 Závislosť rýchlosti zvarania na šírku koreňa pre mat. X5CrNi 18-10 (1.4301)

Pri zväčšujúcej rýchlosti zvarania je viditeľný pokles šírky a výšky zvaru, ale je stále vyhovujúci. Pri koreni zvaru je táto tendencia podobá , ale pri rýchlosti zvarania 90cm/min začína miznúť koreň zvaru a preto ako vhodnú rýchlosť zvarania vyhodnocujem **80cm/min.**

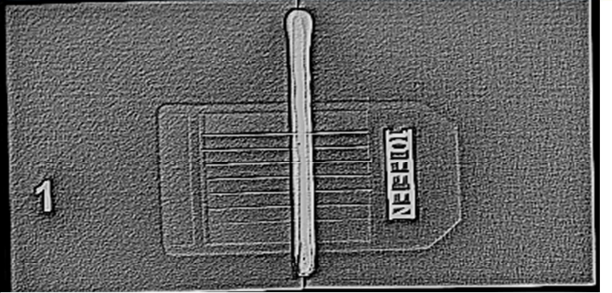
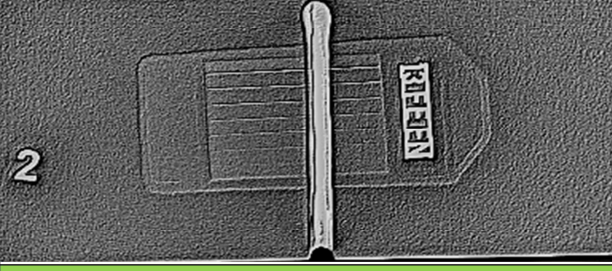
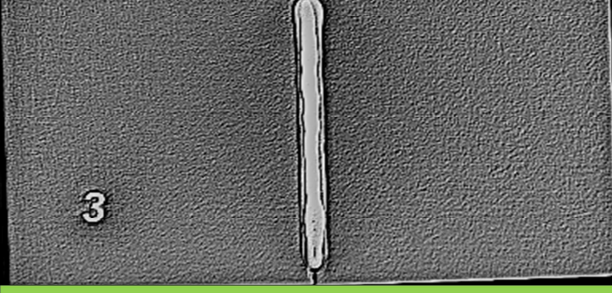
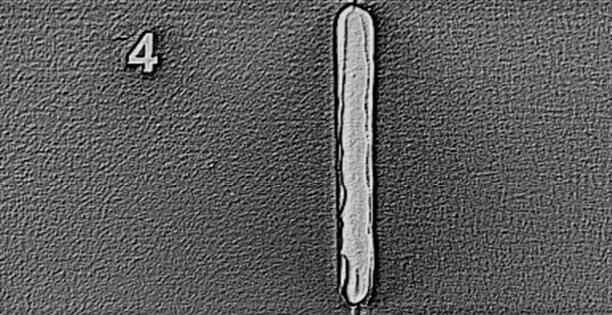
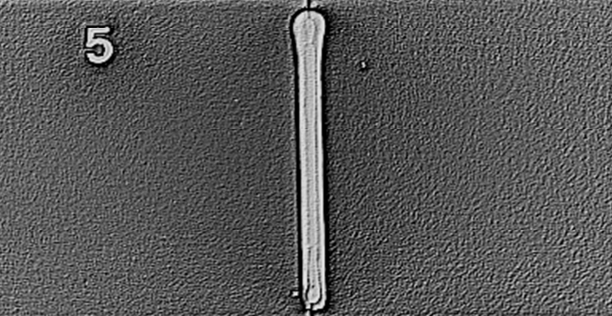
3.4.3 Radiografické skúšanie RTG podľa ČSN EN ISO 17636-1

Priebeh skúšky bol vykonaný na prežiarovacom zariadení na katedre KMM na ZČU. Vyhodnotenie je v tabuľkách č.13.

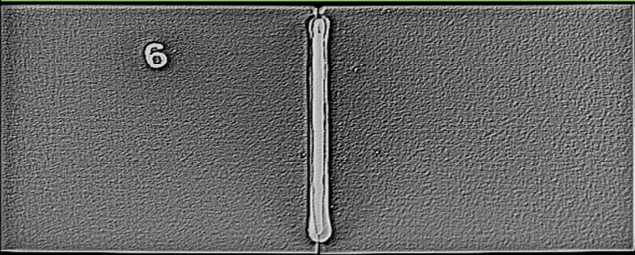
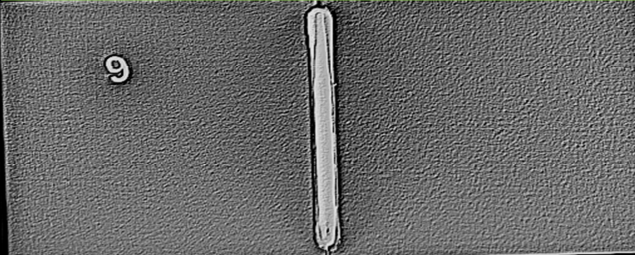
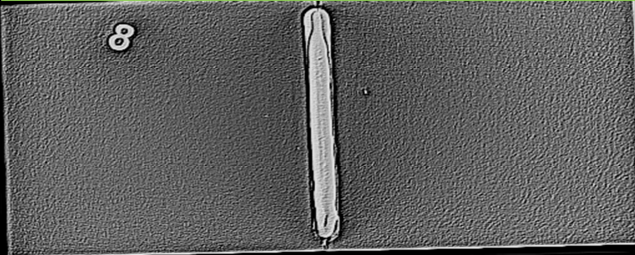
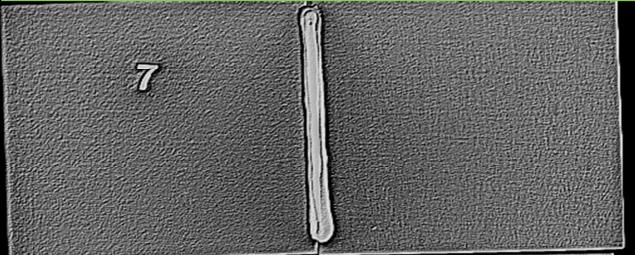
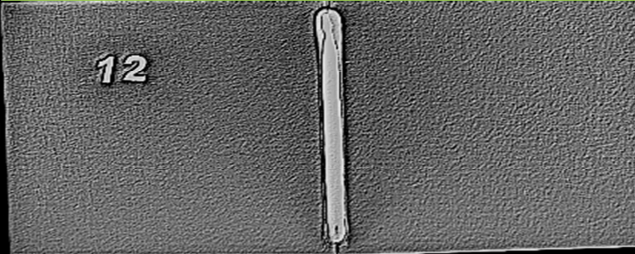
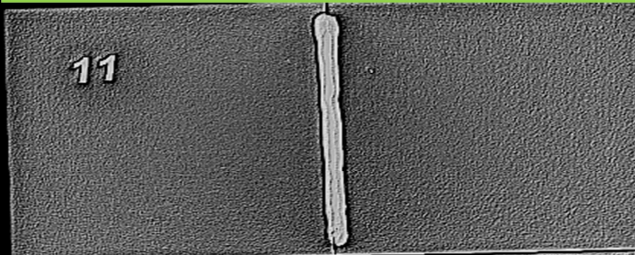
Tabuľka 17 Hodnotiaci list pre radiografické skúšanie ocel X5CrNi 18-10 (1.4301)

Material 1.4301 v=50 cm/min	Hodnotenie RTG snímku
	O. K. výhovuje
Material 1.4301 v=60 cm/min	Hodnotenie RTG snímku
	O. K. výhovuje
Material 1.4301 v=70 cm/min	Hodnotenie RTG snímku
	O. K. výhovuje
Material 1.4301 v=80 cm/min	Hodnotenie RTG snímku
	O. K. výhovuje
Material 1.4301 v=90 cm/min	Hodnotenie RTG snímku
	O. K. výhovuje

Tabuľka 18 Hodnotiaci list pre radiografické skúšanie ocel X2CrNiMo 17-12-2 (1.4404)

Material 1.4401 v=50 cm/min	Hodnotenie RTG snímku
	O. K. výhovuje
	O. K. výhovuje
	O. K. výhovuje
	O. K. výhovuje
	O. K. výhovuje

Tabuľka 19 Hodnotiaci list pre radiografické skúšanie ocel X6CrNiMoTi 17-12-2 (1.4571)

Material 1.4571 v=70 cm/min	Hodnotenie RTG snímku
	O. K. vyhovuje
Material 1.4571 v=50 cm/min	Hodnotenie RTG snímku
	O. K. vyhovuje
Material 1.4571 v=50 cm/min	Hodnotenie RTG snímku
	O. K. vyhovuje
Material 1.4571 v=70 cm/min	Hodnotenie RTG snímku
	O. K. vyhovuje
Material 1.4571 v=60 cm/min	Hodnotenie RTG snímku
	O. K. vyhovuje
Material 1.4571 v=80 cm/min	Hodnotenie RTG snímku
	O. K. vyhovuje

Na skúšku bol použitý kabínový röntgenový systém s priamou detekciou obrazu pre nedeštruktívnu kontrolu materiálu. Jedná sa o experimentálne zariadenie používané k vnútornej inšpekcii konštrukčných celkov z hľadiska kontroly materiálu na prítomnosť vnútorných alebo pod povrchových chýb.

Röntgenová kabína:

rozmery (šxhxv) : 2000 mm x 1400 mm x 1400 mm

rentgenovanie v horizontálnej polohe

max. hmotnosť vzorku: 40 kg

Röntgenová lampa: ERESCO 42 MF-4

napät'ový rozsah: 5 – 200 kV

rozsah prúdu: 0,5 – 10 mA

konštantní výkon: 900 W

rozsah prežiarovania: 1 – 42 mm Fe

Priamy detektor: GE DXR250U-W

scintilátor: GOS

aktívna plocha: 410 x 410 mm

obrazový formát: 2048 x 2048 pixelov

rozteč bodov: 200 µm

Pri skúške zvarov prežiarovaním za pomoci RTG lúčov sme dospeli k záveru, že všetky vzorky zvarov boli hodnotené ako vyhovujúce, v žiadnom skúšanom vzorku neboli viditeľné vnútorné pory ani trhliny a iné defekty, ktoré by znížili kvalitu zvarov.

3.5 Deštruktívne skúšky

Deštruktívne skúšky môžeme definovať ako skúšky, pri ktorých dochádza k porušeniu materiálu a následne skúšanú súčiastku nie je možné použiť na jej funkciu.

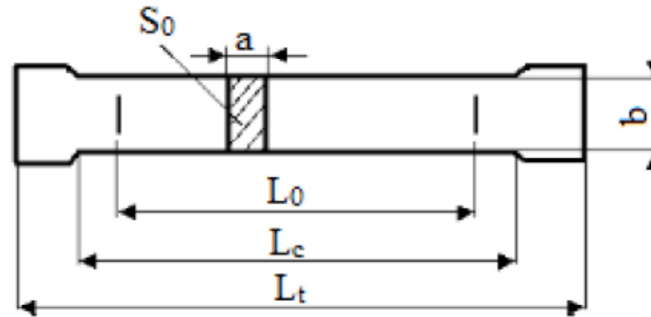
3.5.1 Priechna skúška ťahom podľa ČSN EN ISO 4136

Princíp: skúšobná tyč, odobraná priechne zo zváraného spoja, je plynule zaťažovaná až do pretrhnutia.

Bola vykonaná v univerzitných laboratóriách na univerzálom trhacom stroji DMG s maximálnou silovou kapacitou 500 kN. Skúšobné vzorky vyrobené frézovaním, aby nedošlo k ich tepelnému ovplyvneniu pri použití inej technológie (laser).

Tabuľka 20 Namerané hodnoty pri ťahovej skúške

Rýchlosť zvarovania v [cm/min]	50	60	70	80	90
Materiál	Medz Pevnosti v ťahu[Mpa]				
1,4301	697	688	711	697	701
1,4404	619	629	630	628	623
1,4571	610	603	616	617	622



Obrázok 3.5-1 Skúšobná vzorka pre ťahovú skúšku

S_0 - prierez skúšanej vzorky mm^2

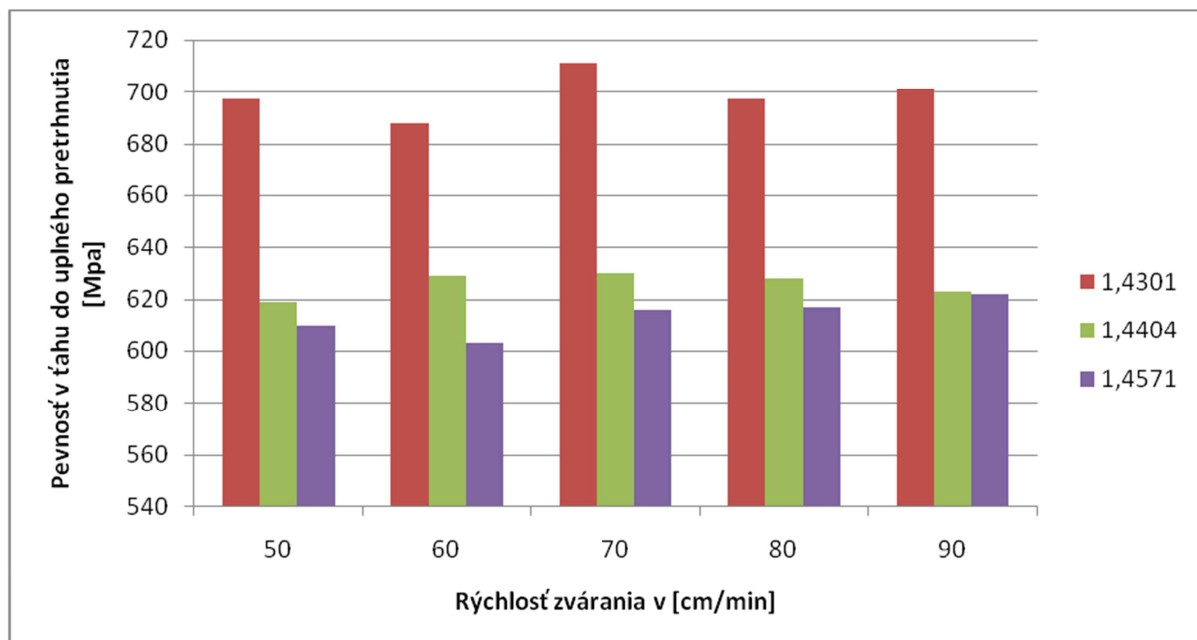
L_0 - meraná dĺžka 120 mm

L_c - rovnobežná dĺžka 140 mm

L_t - celková dĺžka skúšanej tyčky 200 mm

b - šírka rovnobežnej dĺžky 20 mm

a - hrúbka skúšanej vzorky 2 mm



Graf 8 Pevnosť v ťahu zvarov podľa rýchlostí zvarania pre skúšané materiály



Obrázok 3.5-2 Skúšobné vzorky po pretrhnutí

Pri skúške nebol zaznamenaný žiadny pokus, pri ktorom by došlo k poškodeniu (pretrhnutiu) skúšobnej vzorky v mieste zvaru. Touto skúškou sme vyhodnotili kvalitu zvaru na ťah.

3.5.2 Makroskopická kontrola zvarov podľa ČSN ISO 17639

Princíp: Makroskopická a mikroskopická kontrola sa používa k odhaleniu makroskopických alebo mikroskopických charakteristík zváraného spoja, obvykle kontrolou priečného rezu.

Príprava vzoriek na skúšku: príprava vzoriek sa uskutočnila v školských dielňa za použitia CNC rezačky, ktorá pomocou vodného lúča vyrezala vzorky. Pre rezanie pomocou vodného lúča sme sa rozhodli z dôvodu, že pri rezaní skúšobnej vzorky za použitia vodného lúča nedochádza k tepelnému ovplyvneniu skúšanej vzorky. Príprava vzorky pomocou rezacieho zariadenia je rýchla a dosiahneme požadovaný tvar.



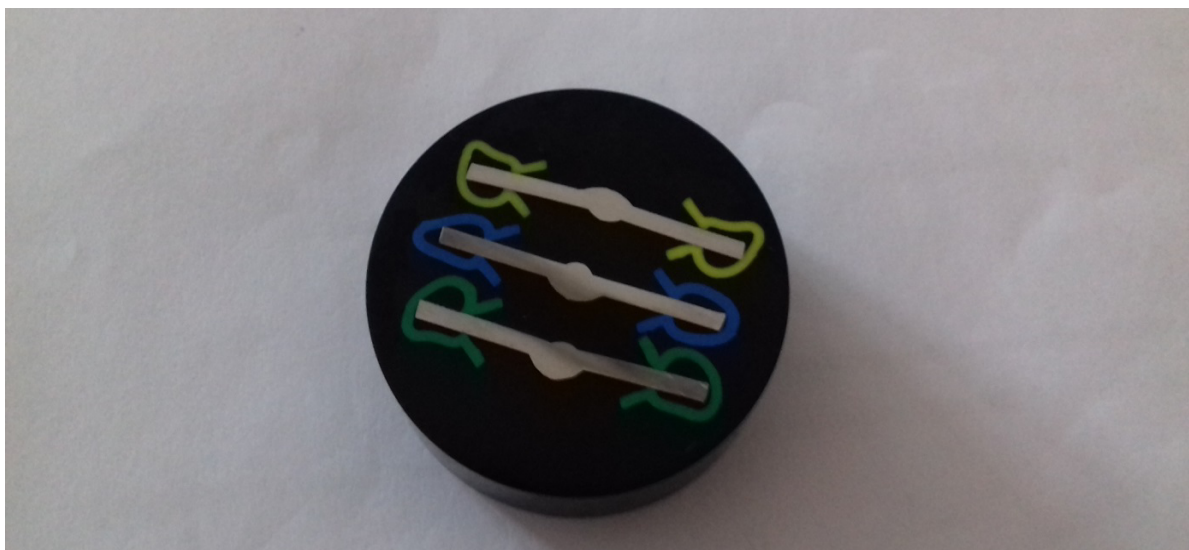
Obrázok 3.5-3 Rezanie skúšobnej vzorky pre makroskopickú kontrolu

Vzorky pre makro kontrolu: príprava vzoriek prebehla v univerzitných laboratóriách po narezaní na vodnom lúči boli vzorky označené a zaliate do skúšobnej vzorky obr. 1.5.2-2.

Následné prebehlo brúsenie zrnitosťou 400-1200 a vyleštenie 3 μ m pastou. Leptanie pomocou roztoku 2:2:1 (HNO₃, HP, glicerín).



Obrázok 3.5-4 Zatavenie zvarov do vzorky.



Obrázok 3.5-5 Pripravené vzorky pre makro a mikro kontrolu

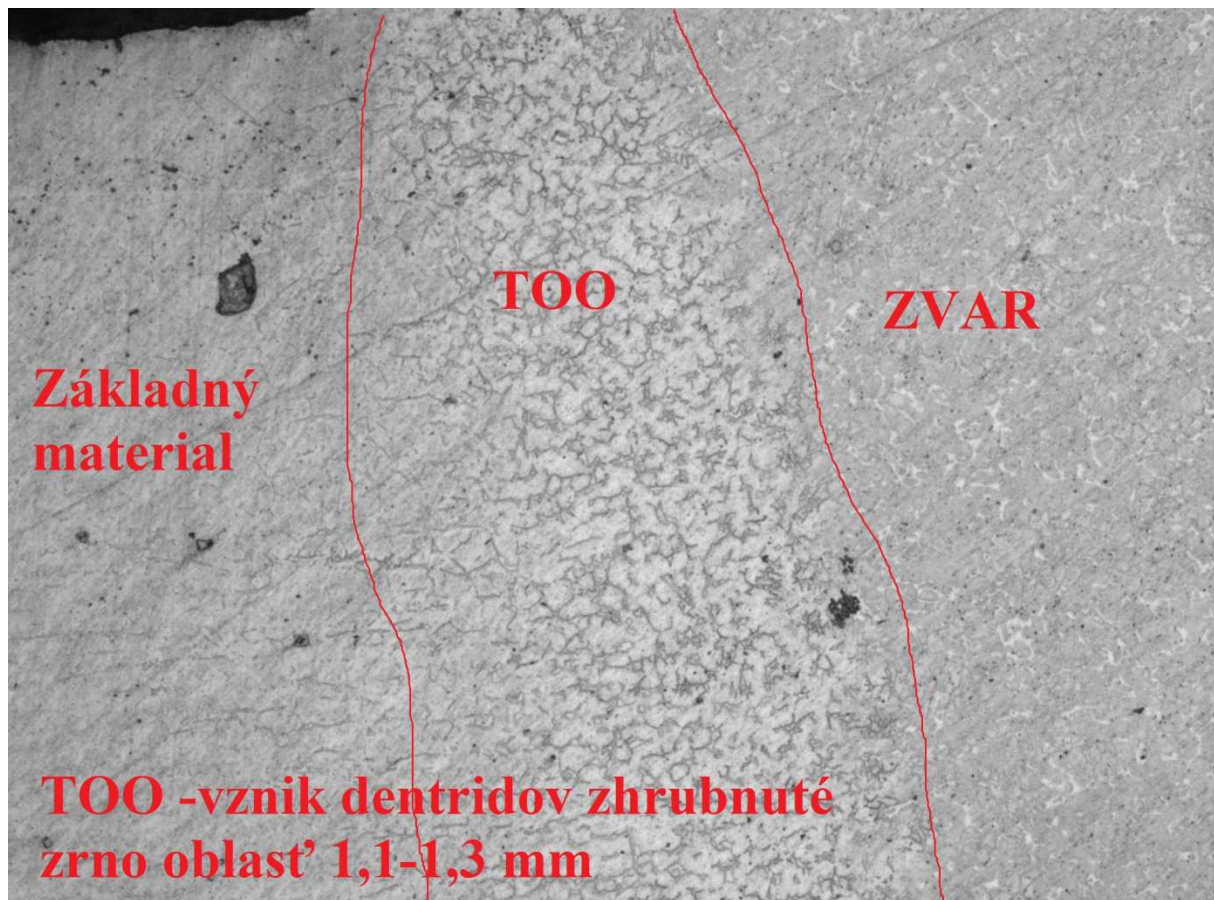
Označenie vzoriek prebehlo za použitia označovacích krúžkov:

MODRÁ - X6CrNiMoTi 17-12-2 (1.4571)

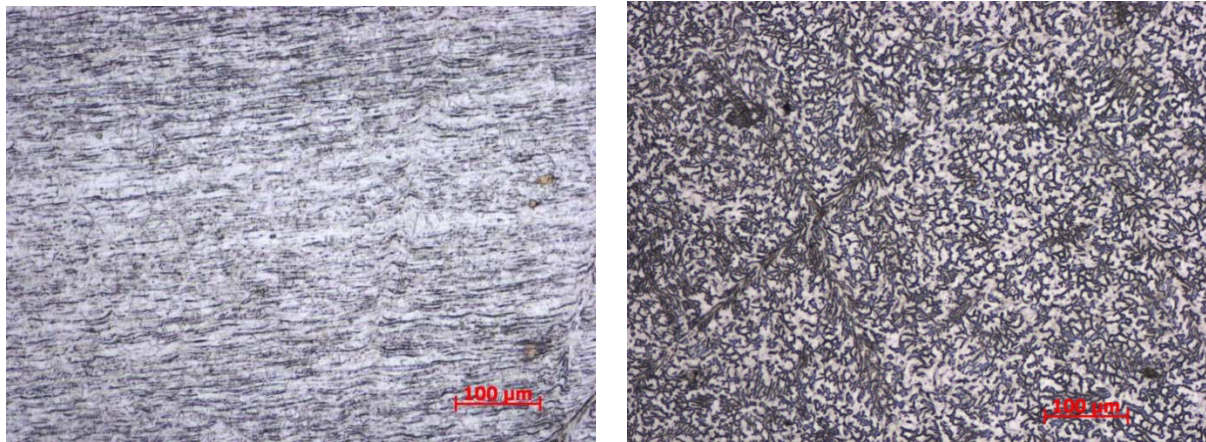
ZELENÁ - X2CrNiMo 17-12-2 (1.4404)

ŽLTÁ - X5CrNi 18-10 (1.4301)

Vyhodnotenie zvarov :



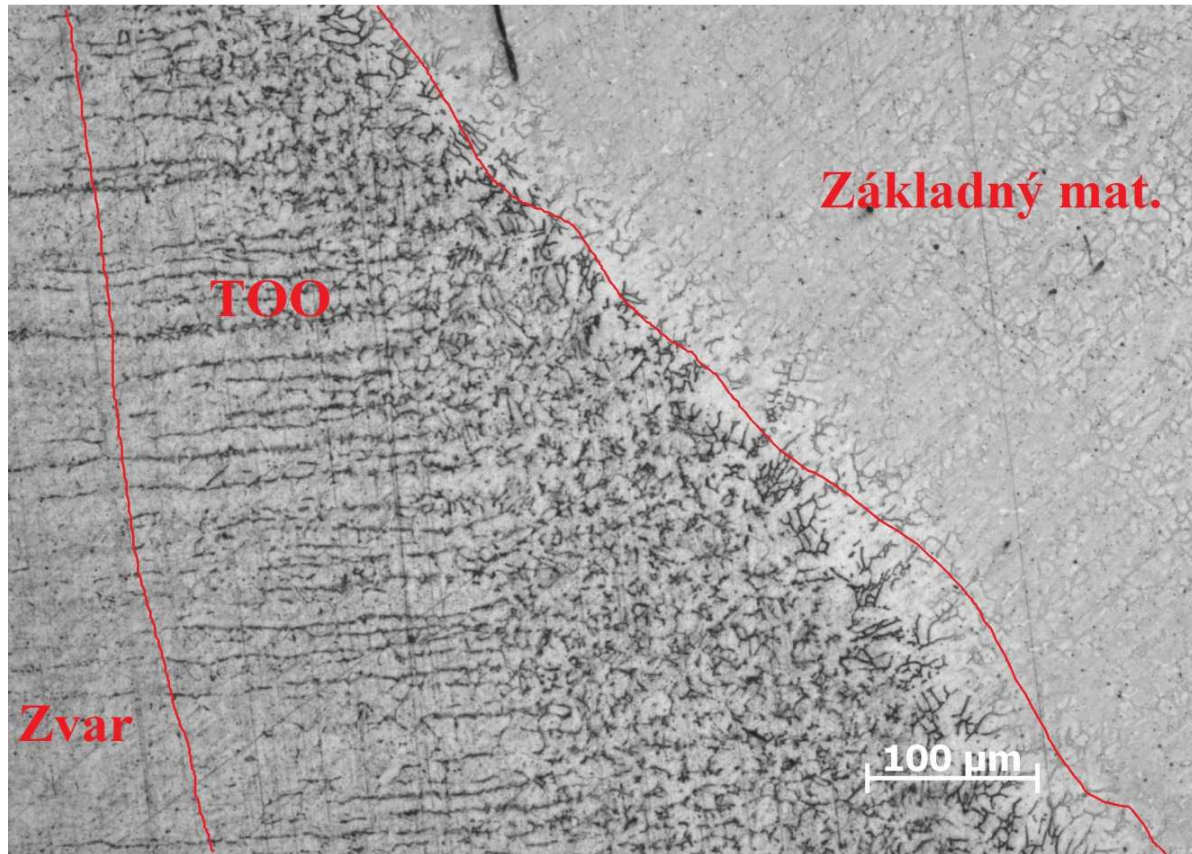
Obrázok 3.5-6 Detail TOO pre ocel X6CrNiMoTi 17-12-2 (1.4571)



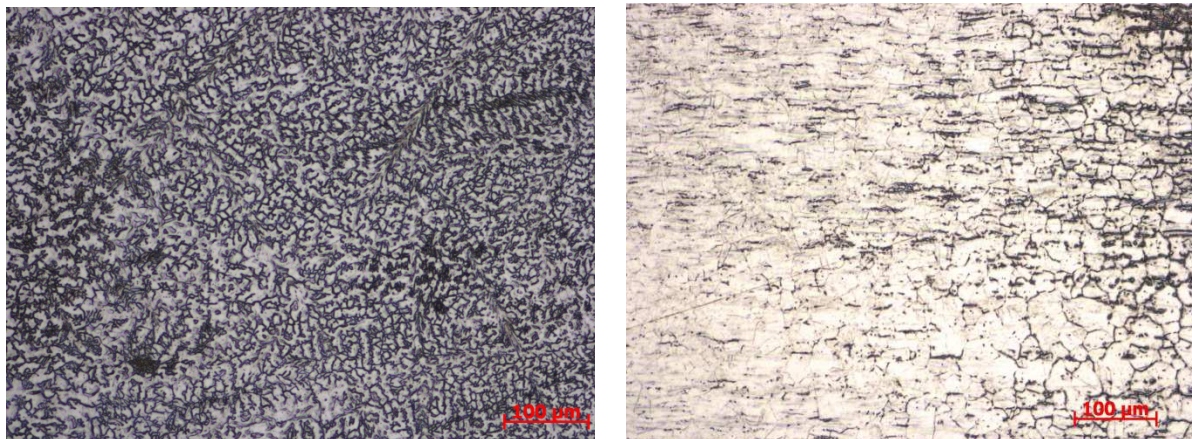
Obrázok 3.5-7 Detail mikroštruktúri základného materialu a zvaru

Základný materiál je plech s austenitickou štruktúrou, je pozorovateľná plastická deformácia čo je u valcovaných plechov typické. Ostré žlté zrna sú leguri titanu.

Na skúmaných detailoch je zaznačená tepelne ovplyvnená oblasť zvaru kde môžeme sledovať zhrubnutie zrna u všetkých troch skúšaných oceliach prechodová oblasť sa pohybuje v rozmedzí 1,1-1,3 mm.



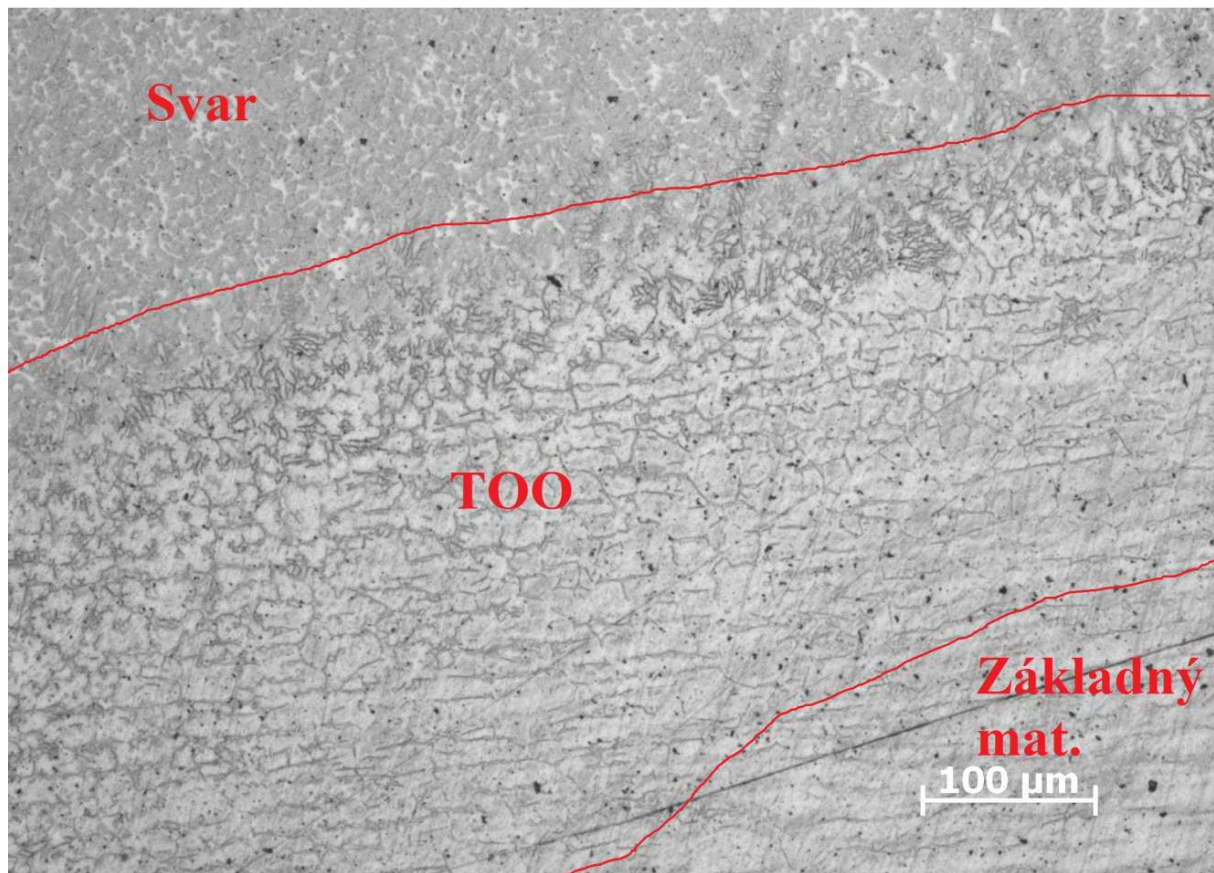
Obrázok 3.5-8 Detai TOO pre ocel X5CrNi 18-10 (1.4301)



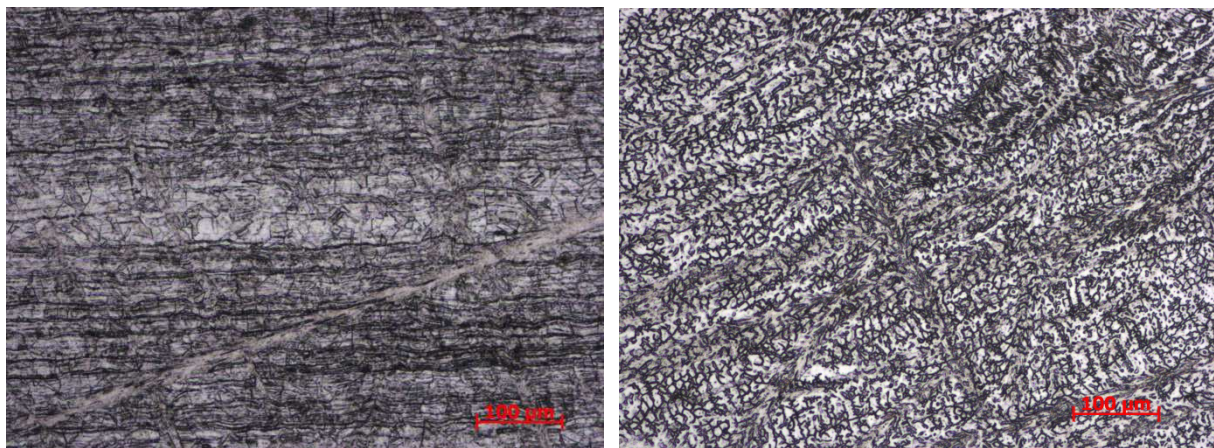
Obrázok 3.5-9 Mikroštruktúra zvaru a základného materialy

Základný materiál je korozivzdorná ocel s austenitickou štruktúrou, je pozorovateľná plastická deformácia čo je u valcovaných plechov typické.

Na obr. zvaru je 100x zväčšená mikroštruktúra zvaru - húsenica. Je na ňom vidieť austenitická dendritická štruktúra. Rast dendrických zŕn je spôsobený tuhnutím taveniny, ak je teplo odvádzané len tuhou fázou je povrch kryštalu hladký. Ak je odvádzaný aj taveninou, môže dôjsť k vychlipnutiu do taveniny, čím sa ešte viac ochladí a rastie ako výbežok, tzv. dentrit.



Obrázok 3.5-10 Detail TOO pre ocel X2CrNiMo 17-12-2 (1.4404)



Obrázok 3.5-11 Mikroštruktúra základného materiálu a zvaru




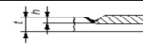




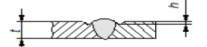

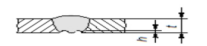
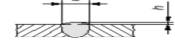


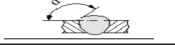

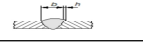

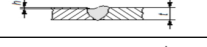

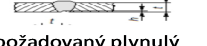






Základný materiál na obrázku 100x zväčšený je austenitická štruktúra.

Obrázok 1.5.2-8 ukazuje štruktúru prechodu tepelne ovplyvnenej oblasti do základného materiálu. Je tu dobre vidieť vylučovanie karbidov chromu na hraniciach austenitických zŕn. Tieto karbidy sa vytvárajú vplyvom tepelného spracovania, alebo zvarovania. Tvorí sa pri pozvoľnom ochladzovaní, pri prudkom ochladzovaní by sa nestihli vylúčiť.

3.6 Hodnotenie kvality skúšaných zvarov

Hodnotenie kvality zvarov je vykonané na základe normy ČSN EN ISO 5817, z ktorej bol vytvorený check-list, do ktorého boli zakomponované chyby a tie boli vyhodnotené pomocou predchádzajúcich skúšok. Vyhodnotenie bolo spravené podľa stupňa kvality C, o ktorom táto norma pojednáva.

Tabuľka 21 Check-list pre hodnotenie kvality zvarov

Číslo	Referenčné číslo podľa ISO 6520-1	Názov vady	Poznámka	t[mm]	Hodnotenie pre stupeň kvality C	
Povrchové vady						
1.1	100	Trhlina		2	neprípustný	
1.2	104	Kráterová trhlina		2	neprípustný	
1.3	2017	Povrchový pór	Maximalny rozmer jednotlivého póru	2	neprípustný	
1.4	2025	Koncová kráterová sťažienina		2	neprípustný	
1.5	401	Stu. spoj/mikrost. spoj		2	neprípustný/prípustný	
1.6	4021	Neprevarený koreň	 Len pre tupé jednostranné zvary	2	neprípustný	
1.7	5011	Súvislí zápal	 Je požadovaný plynulý prechod	2	$h \leq 0,1 t$	
1.8	5013	Vrub v koreni	 je požadovaný plynulý prechod	2	$h \leq 0,1 t$	
1.9	502	Nadmerné prevýšenie tup. zvaru	 Je požadovaný plynulý prechod	2	$h \leq 1 \text{ mm} + 0,15 b$	
1.10	504	Nadmerné prevýšenie koreňa		2	$h \leq 1 \text{ mm} + 0,3 b$	
1.11	505	Strmý prechod zvaru		2	$\alpha \geq 110^\circ$	
1.12	506	pretečenie		2	neprípustné	
1.13	511	neuplné vyplnenie zvaru		2	$h \leq 0,1 t$	
1.14	515	hrubý koreň	 je požadovaný plynulý prechod	2	$h \leq 0,1 t$	
1.15	516	Pórovitý koreň	Porezny koreň zvaru spôsobí tvorbu bublín zvare behom tuhnutia	2	neprípustné	
1.16	517	Zlé napojenie		2	neprípustné	
1.17	601	Dotyk elektródy		2	neprípustné	
1.18	602	Rostrek		2	Prípustnosť závisí na použití, napr. Materialu, ochrane proti korózii	
1.19	610	Nábehové zafarbenie		2	Prípustnosť závisí na použití, napr. Materialu, ochrane proti korózii	

Vyhovuje  Nevyhovuje 

3.7 Navrhnutá technológia robotizačného zvarania

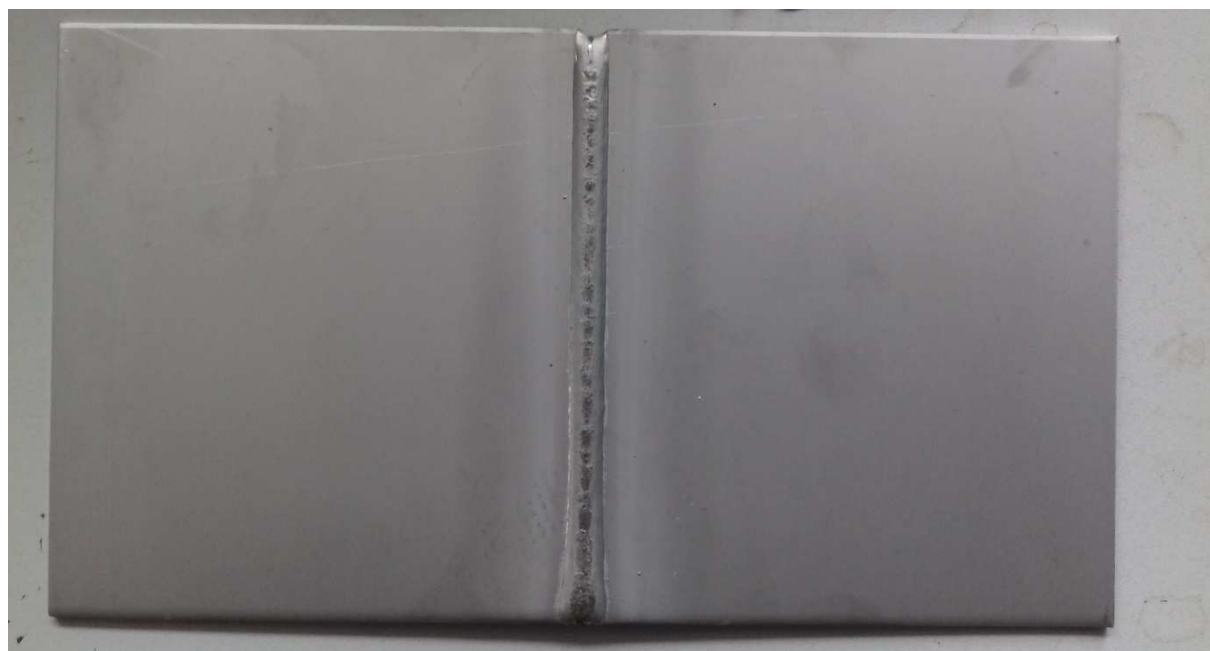
Na základe dosiahnutých výsledkov v skúškach kvality zvarov, navrhujeme nasledujúce zvaracie parametre pre robotizované zvaranie, ktoré sú vyhodnotené v tab. 17.

Tabuľka 22 Navrhnuté parametre pre robotizačné zvaranie pre dané materiály.

Materiál	Sila [mm]	Zváračia rýchlosť [cm/min]	Zváraacie napätie [V]	Zváraací prúd [A]	Prenos kovu v oblúku	Polarita prúdu
X5CrNi 18-10 (1.4301)	2	80	20	140	Pulzný	jednosmerná
X2CrNiMo 17-12-2 (1.4404)	2	80	20	140	Pulzný	jednosmerná
X6CrNiMoTi 17-12-2 (1.4571)	2	70	20	140	Pulzný	jednosmerná

Pre koncovú operáciu po zvaraní doporučujeme morenie a pasiváciu, kde je zvar dôkladne očistený a získa koróznou odolnosť. K vzniku pasívnej vrstvy dochádza na kovové čistom morenom povrchu dvoma spôsobmi:

1. Reakciou kovové čistého povrchu so vzdušným kyslíkom dôjde k vzniku pasívnej vrstvy behom niekoľkých dní (autopasivácia).
2. Použitím pasivačného prostriedku dochádza k okamžitému vzniku pasivačnej vrstvy, ktorá je niekoľkonásobne silnejšia ako autopasivácia.



Obrázok 3.7-1 Odmorený a pasivovaný zvar



Obrázok 3.7-2 Odmorený a pasivovaný koreň zvaru

3.7.1 WPS - špecifikácia postupu zvárania

Specifikace postupu svařování				Robotické Svařování tupých plechů na podložce								
číslo WPS	E5	revize	W/PQR číslo	ZI-15-331/P01								
		00	dle normy	ISO 15614								
návrh svarového spoje		provedení		Pracovní instrukce								
				<p>před svařováním prvního kusu zkontrolovat trajektorii hořáku. Nastříkat lehce sprejem proti ulpívání kuliček</p>								
Způsob svařování												
Pracoviště / zařízení	Metoda Svařování	Typ spoje	Polooha svařování	Velikost svaru	počet vrstev	stupeň mechanizace	Svařovací polarita	Podložka	Materiál podložky			
Svařovací robot Yaskawa Fronius TPS 4000 CMT	dle EN ISO 4063 135	BW	PA	s=t	1	Automatický	DC+	Ano	měď Cu			
Parametry svařování												
Svar / Vrstva	Tloušťka materiálu [mm]	Proud [A]	Napětí [V]	Postupová rychlost [mm/sec]	Hodnota na zařízení	Svařovací režim	Korekce délky oblouku	Korekce pulsu	Vyložení drátu [mm]	Průměr hubice [mm]	průtok plynu [l/min]	tepelný příkon [kJ/mm]
1	2	140 ± 5	20,5 ± 1	8,3	50	Pulz	0	0,2	12	12	12-15	0,276
2	2	140 ± 5	20,5 ± 1	10,0	60	Pulz	0	0,2	12	12	12-15	0,290
3	2	140 ± 5	20,5 ± 1	11,7	70	Pulz	0	0,2	12	12	12-15	0,197
4	2	140 ± 5	20,5 ± 1	13,3	80	Pulz	0	0,2	12	12	12-15	0,172
5	2	140 ± 5	20,5 ± 1	15,0	90	Pulz	0	0,2	12	12	12-15	0,153
Základní materiál												
Třída materiálu		Skupina Materiálu		Rozměry		Příprava spoje						
EN ISO 10027-2		ISO TR 15608		Tloušťka [mm]		průměr [mm]		Seřizání /řezání kontrola otřepů, okují Odmaštění.				
1	1.4301, 1.4404, 1.4571	8.1		2								
2	1.4301, 1.4404, 1.4571	8.1		2								
Přídavný materiál												
Označení přídavných materiálů		průměr drátu [mm]	Výrobce	Technické plyny								
EN ISO 14343-A	SFA / AWS A 5.9			použití	Značka	Skupina EN ISO 14175	průtok plynu [l/min]					
19 12 3Lsi	316 L Si	1	ESAB	Svařovací	Argomag 2.5	M12	10-15					
				Ochrana kořene								
				Ochrana povrchu								
Postup po zhotovení svaru												
Vizuální kontrola povrchu a kořene svaru, označení značkou svařeče ke svaru - razník / fix												
Vytvořil	Oddělení	Datum	Podpis, razítko									
Ján Kožehuba	Svařečský dozor	02.02.2018										

Obrázok 3.7-3 WPS

3.8 Ekonomicko-technologické hodnotenie

Po ekonomickej stránke majú veľký vplyv na cenu zvarov vhodne nastavené zväracie parametre a je to z dôvodu, že pri nekvalitnom zvarení je veľmi problematické a hlavne nákladné tieto zvary opravovať. Vhodnými zväracími parametrami sme schopný odstrániť následné operácie po robotizovanom zváraní ako sú opravy zvarov, ktoré je nutné vykonávať na inom pracovisku. Tu vznikajú nové náklady s dodatočnými opravami. Úplne ideálny stav je zabezpečiť aby z pracoviska robotizačného zvárania vystupovali výrobky, ktoré nie je potrebné opravovať.

Ďalším dôležitým aspektom pri robotizačnom zváraní je aj dosahovanie vysokých zväracích rýchlostí, ktorými sa táto práca zaoberá. Pri zvýšení rýchlosti a dosahovaní rovnakej kvality sme schopný ušetriť čas a v neposlednej rade prevádzkové náklady na energie a zvärací plyn.

Pri porovnaní rýchlosti zvárania 50 cm/min a testovanej rýchlosti 80 cm/min. Pri zváraní obvodových zvarov kruhových nádob o priemere 1000 mm, kde $d = 3400 \text{ mm} = 340 \text{ cm}$:

$$t_N = t_{AC} + \frac{t_{BC}}{d_v}$$

$$t_{AC} - \text{norma jednotkového času z podielom času smenového} \left[\frac{Nmin}{ks} \right]$$

$$t_{BC} - \text{norma času dávkového s podielom času smenového} \left[\frac{Mmin}{dávka} \right]$$

$$d_v - \text{velkosť výrobnnej dávky} \left[\frac{ks}{dávka} \right]$$

$$t_N - \text{normovaný čas na operáciu} [Nmin]$$

$$t_{N90} = t_{AC} + \frac{t_{BC}}{d_v} = 3,77 + \frac{30}{20} = 5,27 \left[\frac{Nmin}{jed} \right]$$

$$t_{N50} = t_{AC} + \frac{t_{BC}}{d_v} = 6,8 + \frac{30}{20} = 8,3 \left[\frac{Nmin}{jed} \right]$$

Pri pracovnej zmene 450 min sme schopný zavariť rýchlosťou zvárania 90 cm/min o 31ks plášťov viac ako pri zváraní rýchlosťou 50 cm/min.

4 Záver

V tejto diplomovej práci sme sa zamerali na optimalizáciu zváracích parametrov pre robotizačné pracoviská, navrhnuť ich optimálne nastavenie a využitie pri zváraní antikorozynej austenitickej ocele. Pri tejto oceli vzniká mnoho problémov pri jej zvarení, hlavne vznik neprievarov koreňa a deformácie. Z toho dôvodu boli vytypované 3 druhy antikorozynej ocele, na ktorých sa odladili parametre na zváranie týchto ocelí na robotizačných pracoviskách. Pre nastavenie ideálnych parametrov je potrebné pracovať s nastavením prúdu, napätia, rýchlosti zvárania a vhodným výberom ochranného plynu, ktorý ma tiež vysoký podiel na ucelenosti celého procesu zvárania. Práca optimalizuje technológiu MAG – 135, ktorá bola zvolená ako vhodná pre nasadenie do tejto problematiky, ale je možné použiť aj novšie a progresívnejšie technológie, ako je zváranie laserovým lúčom, plazmou a WIG. Vychádzalo sa zo vstupujúceho materiálu a doporučeného zváracieho drôtu a doporučených podmienok, pre ktoré sa optimalizovali parametre zvárania. Ako najvýhodnejšie podľa vizuálnej kontroly boli napätie 20 V a prúd 140 A kde vznikal rovnomerný zvar a koreň. Skúšali sme rôzne rýchlosti zvárania až do rýchlosti keď sa začal strácať koreň zvaru. Vyhodnotenie sme vykonali na základe kapilárnej, vizuálnej kontroly a zvary sme podrobili prežiarovacej skúške pomocou RTG žiarenia. Pre zvýšenie kvality zvarov sme spravili deštruktívne skúšky, ťahovú do úplného pretrhnutia a nakoniec sa kontrolovali pomocou makro a mikro kontroly zvarov kde bola viditeľná TOO a zhrubnutie austenitického zrna v tejto oblasti. Podľa prevedených skúšok sme vyhodnotili najoptimálnejšie parametre pre daný materiál.

Pre materiál X5CrNi 18-10 (1.4301) a X2CrNiMo 17-12-2 (1.4404) sme navrhli zváracie parametre $v = 80\text{cm/min}$, 140 A, 20V na základe vyhodnotenia skúšky zvarov, kde sme dosiahli optimálnu veľkosť deformácie, nízke prenesené teplo a TOO podľa mikroštruktúri zvarov bola vyhovujúca, u iných parametroch vznikali väčšie deformácie, výška a šírka zvaru nespĺňovala parametre podľa normy ČSN EN ISO 5817.

U ocele X6CrNiMoTi 17-12-2 (1.4571), ktorá je legovaná Ti, dochádzalo k prerušovaniu koreňa a nie plnému prievaru zvaru pri rýchlosti 80 cm/min. Preto sme pre tento druh ocele volili menšiu rýchlosť zvárania $v = 70\text{ cm/min}$ tu sme dosahovali optimálnych výsledkov ktoré spĺňali naše hodnotiace kritéria podľa stupňa kvality "C". Pri skúške prežarovania pomocou RTG lúčov boli zvary bez vnútorných trhlín a pórov. Tieto testované zváracie parametre je možné použiť priamo pre nastavenie zváračky, ktorá zvara za použitia robota. V technicko-ekonomickom hodnotení navrhnutej technológie sme vyhodnotili, že za použitia navrhnutej technológie sme schopný zvýšiť výrobnú kapacitu robotizačného pracoviska v priemere o 44 %.

Zoznam použitých zdrojov

- [1] *Príručka Automatizačná a robotická technika*. Košice, 2011, **2011**(Result 5).
- [2] *Rozdelenie manipulačných zariadení* [online]. SPS Levice: Škola, 2012 [cit. 2017-11-14]. Dostupné z: <http://www.spslevice.sk/ucebnice/SOC/SOC%20-%20PRI/index.htm>
- [3] , Wikipedia. Svařování. *Wikipedia* [online]. CR: net, 2017 [cit. 2018-02-04]. Dostupné z: <https://cs.wikipedia.org/wiki/Svařování>
- [4] KUNCIPÁL, Josef. *Teorie svařování: celostátní vysokoškolská učebnice pro strojní fakulty vysokých škol technických*. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1986.
- [5] ORSZÁGH, Peter a Viktor ORSZÁGH. *Zváranie MIG/MAG ocelí a neželezných kovov*. Bratislava: Polygrafia SAV, 2000. ISBN 80-887-8036-5.
- [6] AUTORŮ), (kolektiv. *Materiály a jejich svařitelnost: učební texty pro kurzy svářečských inženýrů a technologů*. Ostrava: ZEROSS, 1999. ISBN 80-857-7163-2.
- [7] BARTÁK, Jiří, Václav PILOUS a Rudolf KOVAŘÍK. *Učební texty pro evropské svářečské specialisty, praktiky a inspektory*. Ostrava: ZEROSS, 2002. Svařování. ISBN 80-857-7197-7.
- [8] *Typy vad , příčiny jejich vzniku a hodnocení* [online]. Praha: ANB, 2018 [cit. 2018-02-07]. Dostupné z: <http://www.cws-anb.cz/t.py?t=2&i=384>
- [9] *Technologie sva: u*. Ostrava: ZEROSS, 2001. Sva. ISBN 80.
- [10] *Svařování: Deformace a typy svarů* [online]. net: Ministerstvo školství, mládeže, a tělovýchovy, 2008 [cit. 2018-02-07]. Dostupné z: <https://www.spszengrova.cz/texty/texty/ZAV/ZAV1-svarovani.pdf>
- [11] *Svařování korozivzdorných ocelí: Obecné informace o korz. ocelích* [online]. Praha: Euro Inox, 2007 [cit. 2018-02-12]. ISBN 978-2-87997-180-3. Dostupné z: www.euro-inox.org
- [12] *Korozivzdorné oceli jako konstrukční materiály* [online]. www: MM, 2003 [cit. 2018-02-12]. Dostupné z: https://www.opi.zcu.cz/korozivzdorne_oceli_3.pdf
- [13] *Obloukové svařování* [online]. Rudná u Prahy: YASKAWA, 2013 [cit. 2018-02-26]. Dostupné z: [http://www.motoman.cz/index.php?id=183&no_cache=1&L=2&tx_catalogcasestudy_pi1\[uid\]=72](http://www.motoman.cz/index.php?id=183&no_cache=1&L=2&tx_catalogcasestudy_pi1[uid]=72)
- [14] *Zváracie horáky* [online]. web: Fronius, 2018 [cit. 2018-02-26]. Dostupné z: https://www3.fronius.com/cps/rde/xchg/SID-B8617DDD-F75C14FA/fronius_slovensko/hs.xsl/29_1127.htm#.WpQPTGdK3aE

- [15] VELÍŠEK, Karol a Peter KOŠŤÁL. *MECHANIZÁCIA A AUTOMATIZÁCIA* [online]. 2007. Bratislava: STU, 2007 [cit. 2017-10-07]. ISBN ISBN 978-80-227-2753-2. Dostupné z: http://www.sjf.tuke.sk/seminsky/APT/mechanizacia_a_automatizacia.pdf
- [16] NĚMEJC, Jiří. *Průmyslové roboty a robotizace strojírenské výroby*. 3. vyd. Plzeň: Západočeská univerzita, 1999. ISBN 80-708-2578-2.
- [17] *Metódy sváření* [online]. www: automing, 2005 [cit. 2018-02-26]. Dostupné z: <http://automig.cz/o-svarovani/metody/>
- [18] *Základy technológie zvarovania* [online]. TRNAVA: www, 2017 [cit. 2017-11-02]. Dostupné z: http://www3.fronius.com/cps/rde/xchg/SID-53DC108E-696AB0F9/fronius_slovensko/hs.xsl/29_3920.htm#.WftecLpFxEY
- [19] *Svařovací zdroje MIG/MAG* [online]. www: Fronius, 2016 [cit. 2018-02-27]. Dostupné z: https://www3.fronius.com/cps/rde/xchg/SID-3A1335D2-1898A12E/fronius_ceska_republika/hs.xsl/29_997.htm#.WpUhQ2dK3aE
- [20] *Základné zvaracie polohy* [online]. www: SOLÍK SK, 2014 [cit. 2018-02-27]. Dostupné z: <http://soliksk.sk/blog/zakladne-zvaracie-polohy/>
- [21] *Svařovací dráty MIG/MAG (GMAW)* [online]. www: ESAB, 2018 [cit. 2018-02-27]. Dostupné z: <http://www.esab.cz/cz/cz/products/index.cfm?fuseaction=home.productsbycategory&catId=54&pcount=50&pageno=2>
- [22] *Laserové zvarovanie* [online]. www: MatNet, 2006 [cit. 2018-02-27]. Dostupné z: <http://www.matnet.sav.sk/index.php?ID=573>
- [23] *Plazmové zvarovanie* [online]. www: MatNet, 2006 [cit. 2018-02-27]. Dostupné z: <http://www.matnet.sav.sk/index.php?ID=371>
- [24] *ČSN EN ISO 3452-1 Kapilární zkouška*. 2013. CNT Česka společnost: UNMZ, 2015brezen.
- [25] KOPEC, Bernard. *Nedestruktivní zkou: (nauka o materiálu IV)*. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2008. ISBN 978.
- [26] *ČSN EN ISO 4136: Destruktivní zkoušky svarů kovových materiálů - Příčná zkouška tahem*. 2013/05. Praha: UNMZ, 2013.
- [27] *Charakteristiky základných NDT metód* [online]. www: WIZACO, 2014 [cit. 2018-04-17]. Dostupné z: <http://wizaco.eu/co-je-nedestruktivne-testovanie>
- [28] *ČSN EN ISO 6520-1: Svařování a příbuzné procesy - Klasifikace geometrických vad kovových materiálů* -. 2008. Praha: ČNI, 2000.
- [29] *ČSN EN ISO 17637: Nedestruktivní zkoušení svarů - Vizuální kontrola tavných svarů*. Brno: UNMZ, 2017.

[30] ČSN EN ISO 15614-1: Stanovení a kvalifikace postupů svařování. Květen 2005. BRNO: UNMZ, 1996.

[31] ČSN EN ISO 5817: Svařování - Svarové spoje. 2008. Kladno: UNMZ, 2004.

[32] ORSZÁGH, Peter a Viktor ORSZÁGH. Zváranie MIG/MAG ocelí a neželezných kovov. Bratislava: Polygrafia SAV, 2000. ISBN 80-887-8036-5.

Zoznam symbolov a skratiek

Q_s	.....	špecifické vnesené teplo [kJ.mm ⁻¹]
η	.....	tepelná účinnosť prenosu tepla [-]
U	.....	zváracie napätie [V]
I	.....	zvárací prúd [A]
v_s	.....	rýchlosť zvárania [mm.s ⁻¹]
Q_{sv}	.....	energie vnesená do zváraného spoja [J],
Q_{cel}	.....	celková energie oblúku [J].
S_0	.....	prierez skúšanej vzorky [mm ²].
L_0	.....	meraná dĺžka [mm]
L_c	.....	rovnobežná dĺžka [mm]
L_t	.....	celková dĺžka skúšanej tyčky [mm]
b	.....	šírka rovnobežnej dĺžky [mm]
a	.....	hrúbka skúšanej vzorky [mm]

Zoznam obrázkov

Obrázok 1.2-1 Teplotné cykly podhúsenicovej oblasti.....	15
Obrázok 1.2-2 Charakteristické oblasti zváraného spoja [3]	16
Obrázok 1.2-3 Vplyv teplotného účinku zvárania na štruktúru zváraného spoja[4].....	16
Obrázok 1.3-1 Schéma MIG/MAG	17
Obrázok 1.3-2 Odtavenie kvapky z elektródy MIG [17]	18
Obrázok 1.3-3 Schéma TIG/WIG	19
Obrázok 1.3-4 Schéma plazmového oblúka [23]	21
Obrázok 1.3-5 Schéma laserového zvárania [22].....	22
Obrázok 1.4-1 Cievky so zváracím drôtom [21].....	23
Obrázok 1.6-1 Základné polohy pri zváraní [20].....	26
Obrázok 1.8-1 a) Zvárací zdroj WIG [19], b) Digitálny zvárací zdroj MIG/MAG	27
Obrázok 1.9-1 Vady v zvaroch podľa tvaru a polohy [8]	28
Obrázok 1.9-2 Uhlové deformácie	29
Obrázok 2.1-1 Medzi kryštalická korózia [7]	31
Obrázok 2.3-1 Spôsob prenosu kvapky kovu elektrickým oblúkom v závislosti na prúde, rýchlosti podávania drôtu a napätia.....	35
Obrázok 2.3-2 Závislosť tvaru zvaru na napätí, s-šírka zvaru, p-prevýšenie, z-hĺbka zvaru [6]	36
Obrázok 2.3-3 Závislosť tvaru zvaru na intenzite prúdu.[6].....	37
Obrázok 2.3-4 Vplyv rýchlosti zvárania na deformáciu zvarenca, malá(a), veľká (b) rýchlosť zvárania [5].....	37
Obrázok 3.1-1 Robotizačné pracovisko príprava vzorky pred zváraním.....	39
Obrázok 3.1-2 Medené pravítko.....	40
Obrázok 3.1-3 Priebeh zvárania	41
Obrázok 3.1-4 Zvarené vzorky.....	42
Obrázok 3.1-5 Diaľkové ovládanie zväračky pre nastavenie požadovaných parametrov	42
Obrázok 3.1-6 Porovnanie deformácie 1- rýchlosť zvárania v 50cm/min, 5- rýchlosť zvárania 90cm/min.....	44
Obrázok 3.2-1 Schéma skúšky	46
Obrázok 3.3-1 Skúšobná vzorka pre tupý zvar s plným prievarom	47
Obrázok 3.3-2 Skúšobná vzorka po zvarení.....	47
Obrázok 3.4-1 Kapilarna skúška	48
Obrázok 3.5-1 Skúšobná vzorka pre ťahovú skúšku.....	59
Obrázok 3.5-2 Skúšobné vzorky po pretrhnutí	60
Obrázok 3.5-3 Rezanie skúšobnej vzorky pre makroskopickú kontrolu	60
Obrázok 3.5-4 Zatavenie zvarov do vzorky.	61
Obrázok 3.5-5 Pripravené vzorky pre makro a mikro kontrolu	61
Obrázok 3.5-6 Detail TOO pre ocel X6CrNiMoTi 17-12-2 (1.4571).....	62
Obrázok 3.5-7 Detail mikroštruktúri základného materialu a zvaru.....	62
Obrázok 3.5-8 Detai TOO pre ocel X5CrNi 18-10 (1.4301)	63
Obrázok 3.5-9 Mikroštruktúra zvaru a základného materialy.....	63
Obrázok 3.5-10 Detail TOO pre ocel X2CrNiMo 17-12-2 (1.4404)	64
Obrázok 3.5-11 Mikroštruktúra základného materialy a zvaru.....	64

Obrázok 3.7-1 Odmorený a pasivovaný zvar	67
Obrázok 3.7-2 Odmorený a pasivovaný koreň zvaru	67
Obrázok 3.7-3 WPS	68

Zoznam tabuliek

Tabuľka 1	Vyhodnotenie technológií pre robotizačné zváranie	23
Tabuľka 2	Technologický postup zvárania	40
Tabuľka 3	Testované zvaracie parametre.....	41
Tabuľka 4	Celková tepelná účinnosť	43
Tabuľka 5	Merací formulár pre materiál 1.4301	43
Tabuľka 6	Merací formulár pre materiál 1.4404.....	43
Tabuľka 7	Merací formulár pre materiál 1.4571	44
Tabuľka 8	Chemické zloženie zváraného kovu [10].....	45
Tabuľka 9	Doporučené údaje pre zváranie[10].....	45
Tabuľka 10	Typické vlastnosti v ťahu [10].....	45
Tabuľka 11	Vyhodnotenie pre materiál X2CrNiMo 17-12-2 (1.4404).....	49
Tabuľka 12	Namerané hodnoty pri zváraní X2CrNiMo 17-12-2 (1.4404).....	49
Tabuľka 13	Vyhodnotenie pre materiál X6CrNiMoTi 17-12-2 (1.4571)	51
Tabuľka 14	Namerané hodnoty pre mat. X6CrNiMoTi 17-12-2 (1.4571)	51
Tabuľka 15	Vyhodnotenie pre materiál X5CrNi 18-10 (1.4301).....	53
Tabuľka 16	Namerané hodnoty pre mat. X5CrNi 18-10 (1.4301).....	53
Tabuľka 17	Hodnotiaci list pre radiografické skúšanie ocel X5CrNi 18-10 (1.4301).....	55
Tabuľka 18	Hodnotiaci list pre radiografické skúšanie ocel X2CrNiMo 17-12-2 (1.4404)....	56
Tabuľka 19	Hodnotiaci list pre radiografické skúšanie ocel X6CrNiMoTi 17-12-2 (1.4571)	57
Tabuľka 20	Namerané hodnoty pri ťahovej skúške	58
Tabuľka 21	Check-list pre hodnotenie kvality zvarov	65
Tabuľka 22	Navrhnuté parametre pre robotizačné zváranie pre dané materiály.	66

Zoznam grafov

Graf 1 Prestup tepla do materialu.....	44
Graf 2 Závislosť rýchlosti zvarania na šírke zvaru pre mat. X2CrNiMo 17-12-2 (1.4404)	50
Graf 3 Závislosť rýchlosti zvarania na šírke koreňa pre mat. X2CrNiMo 17-12-2 (1.4404)	50
Graf 4 Závislosť rýchlosti zvarania na šírke koreňa pre mat. X6CrNiMoTi 17-12-2 (1.4571)	52
Graf 5 Závislosť rýchlosti zvarania na šírku koreňa pre mat. X6CrNiMoTi 17-12-2 (1.4571)	52
Graf 6 Závislosť rýchlosti zvarania na šírke koreňa pre mat. X5CrNi 18-10 (1.4301)	54
Graf 7 Závislosť rýchlosti zvarania na šírku koreňa pre mat. X5CrNi 18-10 (1.4301)	54
Graf 8 Pevnosť v ťahu zvarov podľa rýchlosti zvarania pre skúšané materialy	59

Zoznam príloh

Grafický záznam zo skúšky ťahom