

SLOVENSKÁ POĽNOHOSPODÁRSKA UNIVERZITA
V NITRE
TECHNICKÁ FAKULTA

2118 198

DIPLOMOVÁ PRÁCA

2010

Bc. Monika Bödörová

**SLOVENSKÁ POĽNOHOSPODÁRSKA UNIVERZITA V
NITRE
TECHNICKÁ FAKULTA**

**VPLYV TEPLA NA KVALITU ZVARU MANGÁNOVÝCH
OCELÍ**

Diplomová práca

| | |
|----------------------|--|
| Študijný program: | Kvalita produkcie |
| Študijný odbor: | 5. 2. 57 Kvalita produkcie |
| Školiace pracovisko: | Katedra kvality a strojárskych technológií |
| Školiteľ: | Ing. Rastislav Bernát, PhD. |
| Konzultant: | Ing. Peter Žúbor, PhD. |

Nitra 2010

Bc. Monika Bödörová

Čestné vyhlásenie

Podpísaná Monika Bödörövä vyhlasujem, že som záverečnú prácu na tému „Vplyv tepla na kvalitu zvaru mangánových ocelí“ vypracovala samostatne s použitím uvedenej literatúry.

Som si vedomá zákonných dôsledkov v prípade, ak uvedené údaje nie sú pravdivé.

V Nitre 15. apríla 2010

.....

Monika Bödörövä

Pod'akovanie

Dovoľujem si poďakovať vedúcemu mojej diplomovej práce Ing. Rastislavovi Bernátovi, PhD. za odborné rady a usmerňovanie pri jej vypracovaní . Rovnako ďakujem aj konzultantovi diplomovej práce, Ing. Petrovi Blaškovi, pánovi Danielovi Komendovi, celému kolektívu pracovníkov Katedry kvality a strojárskych technológií a kolektívu pracovníkov laboratória SES a.s., Tlmače.

.....
Monika Bödörövä

Abstrakt

Bc. Monika Bödöröová: monika.bodorova@gmail.com, 2010. „VPLYV TEPLA NA KVALITU ZVARU MANGÁNOVÝCH OCELÍ“. [Diplomová práca] Slovenská poľnohospodárska univerzita v Nitre. Technická fakulta, Katedra kvality a strojárskych technológií (KKST). Vedúci diplomovej práce: Ing. Bernát Rastislav, PhD.

Obsahom diplomovej práce je sledovanie a vyhodnotenie vplyvu tepla na dosiahnutie kvalitného zvaru pri zváraní mangánovej ocele. Na základe štúdia literatúry sú charakterizované vstupné materiály a technológie zvárania mangánových ocelí. Predmetom diplomovej práce je zhodnotenie pôsobenia tepelných režimov zvárania mangánových ocelí vzhľadom na kvalitu zvaru. Po aplikácii tepelných režimov sme overovali kvalitu zvarov prostredníctvom vizuálnej kontroly, kapilárnej skúšky, röntgenovej skúšky, skúšky ťahom, skúšky lámavosti, metalografickej skúšky a skúšky tvrdosti.

Jednotlivé zvary boli vyhodnotené skúškami zvaru v laboratórnych podmienkach Katedry kvality a strojárskych technológií, v laboratóriách NDB s.r.o. a SES Tlmače a.s. na základe dosiahnutých poznatkov vplyvu tepelného pôsobenia na kvalitu zvaru.

Kľúčové slová: tepelné pôsobenie, kvalita zvaru, mangánová oceľ.

Das Abstrakt

Bc. Monika Bödöröová: monika.bodorova@gmail.com, 2010. „Der Einfluss die Wärme zu der Qualität die Schweißnaht den Manganerzstahl“. [Die Diplomarbeit] Die Landwirtschaftliche Universität in Nitra. Die Technische Fakultät, Das Instituts der Qualität und der Maschinentechologie (KKST). Der Leiter der Diplomarbeit: Ing. Bernát Rastislav, PhD.

Des Inhalts der Diplomarbeit ist die Betrachtung und die Auswertung des Einfluss der Wärme am die Erreichung die Qualitätsnaht bei der Schweißung den Manganerzstahl. Am dem Grundbau des Studium der Literatur sind charakterisieren die Eintrittsmaterials und die Technologie der Schweißung des Manganerzstahl. Des Objekts der Diplomarbeit ist der Auswertung der Wirkung der Thermoregimes der Schweißung des Manganerzstahl angesichts zu der Qualität die Schweißnaht. Nach die Applikation der Thermoregimes wir haben die Qualitäts der Schweißnaht des Vermittlung der Visuellkontrolle, die Kapillarprüfung, die Röntgenprüfung, der Prüfung des Zugkraft, der Prüfung der Brüchigkeit überprüft, die Metallographischeprüfung und die Härteprüfung.

Die einzelne Schweißnähte waren der Nahtprüfungen in der Laborvoraussetzung des Instituts der Qualität und der Maschinentechologie, in der Labor NDB s.r.o. und SES Tlmače a.s. am dem Grundbau der erwirkene Erkenntnisse des Einfluss der Thermowirkung zu der Qualität die Schweißnaht ermittelt.

Die Schlüsselwörter: die Thermowirkung, die Qualitätsnaht, der Manganerzstahl.

Obsah

| | |
|---|-----------|
| Zoznam skratiek a značiek..... | 9 |
| Úvod..... | 11 |
| 1 Prehľad o súčasnom stave riešenej problematiky..... | 12 |
| 1.1 Charakteristika ocelí na zušľachtovanie..... | 12 |
| 1.2 Charakteristika mangánových ocelí..... | 12 |
| 1.3 Zvariteľnosť..... | 13 |
| 1.4 Zvariteľnosť ocelí..... | 14 |
| 1.5 Technológie zvárania mangánových ocelí..... | 15 |
| 1.5.1 Zváranie plameňom..... | 15 |
| 1.5.2 Ručné oblúkové zváranie obalenou elektródou..... | 17 |
| 1.5.3 Zváranie elektrickým oblúkom v ochranných atmosférach..... | 18 |
| 1.5.4 Zváranie v ochrannej atmosfére inertných plynov netaviacou sa elektródou..... | 20 |
| 1.5.5 Zváranie v ochranných atmosférach taviacou sa elektródou..... | 22 |
| 1.6 Rozbor problematiky zvárania mangánových ocelí..... | 23 |
| 1.6.1 Praskavosť zvarových spojov mangánových ocelí..... | 23 |
| 1.6.2 Studené trhliny..... | 23 |
| 1.6.2.1 Hodnotenie náchylnosti ocelí k studeným trhlinám..... | 25 |
| 1.6.2.2 Skúšky praskavosti pre studené trhliny..... | 25 |
| 1.6.2.3 Opatrenia k zamedzeniu vzniku studených trhlín..... | 26 |
| 1.6.3 Horúce trhliny..... | 27 |
| 1.6.3.1 Hodnotenie náchylnosti ocelí k horúcim trhlinám..... | 27 |
| 1.6.3.2 Skúšky praskavosti pre horúce trhliny..... | 28 |
| 1.6.3.3 Opatrenia k zamedzeniu vzniku horúcich trhlín..... | 28 |
| 1.6.4 Lamelárne trhliny..... | 28 |
| 1.6.4.1 Hodnotenie náchylnosti ocelí k lamelárnym trhlinám..... | 29 |
| 1.6.4.2 Skúšky praskavosti pre lamelárne trhliny..... | 30 |
| 1.6.4.3 Opatrenia k zamedzeniu vzniku lamelárnych trhlín..... | 30 |
| 1.6.5 Žihacie trhliny..... | 30 |
| 1.6.5.1 Hodnotenie náchylnosti ocelí k žihacím trhlinám..... | 32 |
| 1.6.5.2 Skúšky praskavosti pre žihacie trhliny..... | 32 |

| | |
|--|-----------|
| 1.6.5.3 Opatrenia k zamedzeniu vzniku žihacích trhlín..... | 32 |
| 1.7 Vplyv tepla na zvarový spoj..... | 33 |
| 1.7.1 Vlastnosti TOO..... | 38 |
| 1.7.2 Húževnatosť TOO..... | 38 |
| 1.8 Deformácie zvarokv..... | 38 |
| 2 Cieľ práce..... | 40 |
| 3 Metodika práce..... | 41 |
| 3.1 Výber základného a prídavného materiálu..... | 41 |
| 3.2 Výber technologických zariadení..... | 43 |
| 3.2.1 Technológia TIG..... | 43 |
| 3.2.2 Technológia MAG..... | 44 |
| 3.2.3 Technológia MMA..... | 45 |
| 3.3 Výber ochranných plynov..... | 45 |
| 3.4 Výpočet tepelného príkonu zvarania..... | 45 |
| 3.5 Skúšky zvarov..... | 46 |
| 3.5.1 Vizuálna skúška..... | 46 |
| 3.5.2 Kapilárna skúška..... | 46 |
| 3.5.3 Röntgenová skúška..... | 47 |
| 3.5.4 Skúška ťahom..... | 47 |
| 3.5.5 Skúška lámavosti..... | 48 |
| 3.5.6 Metalografická skúška..... | 49 |
| 3.5.6.1 Makroskopická analýza..... | 49 |
| 3.5.6.2 Mikroskopická analýza..... | 50 |
| 3.5.7 Skúška tvrdosti..... | 50 |
| 4 Výsledky práce..... | 51 |
| 4.1 Návrh technologických parametrov zvarania..... | 51 |
| 4.1.1 Stanovenie parametrov pre TIG..... | 51 |
| 4.1.2 Stanovenie parametrov pre MAG..... | 52 |
| 4.1.3 Stanovenie parametrov pre MMA..... | 53 |
| 4.2 Vizuálna kontrola zvarov..... | 54 |
| 4.3 Kapilárna skúška zvarov..... | 56 |

| | |
|---|-----------|
| 4.4 Röntgenová skúška zvarov..... | 56 |
| 4.5 Návrh rezania vzoriek..... | 58 |
| 4.6 Skúška ťahom..... | 59 |
| 4.7 Skúška lámavosti..... | 60 |
| 4.8 Metalografická skúška..... | 62 |
| 4.8.1 Zvar technológie MMA elektródou E 307-16..... | 62 |
| 4.8.2 Zvar technológie MMA elektródou E-R 117..... | 64 |
| 4.8.3 Zvar technológie TIG..... | 65 |
| 4.8.4 Zvar technológie MAG..... | 66 |
| 4.9 Skúška tvrdosti..... | 68 |
| 5 Vyhodnotenie výsledkov a diskusia..... | 73 |
| Záver..... | 76 |
| Zoznam použitej literatúry..... | 77 |
| Prílohy..... | 80 |

Zoznam skratiek a značiek

| Značka | Názov | Jednotka |
|--------------------|--|--------------------|
| α | uhol sklonu | ° |
| a | hrúbka materiálu | mm |
| A ₁ | eutektoidná teplota systému železo – uhlík | |
| A ₃ | krivka vymedzujúca dolnú hranicu oblasti stability austenitu | |
| A ₅ | ťažnosť | % |
| AC | striedavý prúd | |
| Al | Hliník | |
| Ar | Argón | |
| C | Uhlík | |
| C _e | uhlíkový ekvivalent | |
| CO ₂ | Oxid uhličitý | |
| Cr | Chróm | |
| Cu | Meď | |
| d | priemer drôtu | mm |
| DC | jednosmerný prúd | |
| FBB | lícna strana zvaru | |
| F _e | sila | N |
| F _m | maximálna sila | N |
| ΔG | parameter praskavosti pre žihacie trhliny | |
| H _{D(GI)} | obsah difúzneho vodíka | mlH/100 g |
| He | Hélium | |
| HV | tvrdosť podľa Vickersa | |
| I | prúd | A |
| K | konštanta tuhosti | 10N/mm.mm |
| K ₀ | merná tuhosť | |
| l | súčet dĺžok plošných nečistôt | μm^{-2} |
| L | vzdialenosť podpier | mm |
| MAG | Metal Aktiv Gas | |
| MIG | Metal Inert Gas | |
| MMA | Manual Metal Arc Welding | |
| Mn | Mangán | |

| | | |
|-----------------|-------------------------------------|-----------------------|
| Mo | Molybdén | |
| η | účinnosť | |
| Nb | Nubium | |
| Ni | Nikel | |
| P | Fosfor | |
| P _{CM} | uhlíkový ekvivalent | |
| P _L | parameter lamelárnej praskavosti | % |
| P _W | parameter studenej praskavosti | % |
| ϕ | priemer zaťažovacieho tŕňa | mm |
| R _m | medza pevnosti | MPa |
| RBB | koreňová strana zvaru | |
| ROZ | Ručné Oblúkové Zváranie | |
| Q | tepelný príkon | kJ . mm ⁻¹ |
| R _e | medza klzu | MPa |
| S | Síra | |
| S ₀ | počiatočný prierez tyče | mm ² |
| SBB | bočná strana zvaru | |
| Si | Kremík | |
| T | predohrev | °C |
| t | čas zvárania | s |
| Δt | čas ochladzovania | s |
| Ti | Titán | |
| TIG | Tungsten Inert Gas | |
| TOO | Tepelne Ovplyvnená Oblasť | |
| U | napätie | V |
| V | Vanád | |
| v | rýchlosť zvárania | mm . s ⁻¹ |
| v _d | rýchlosť podávania prídavného drôtu | m . min ⁻¹ |
| WIG | Wolfram Inert Gas | |
| ZPT | Zváranie Pod Tavivom | |
| Zr | Zirkón | |
| Z _z | kontrakcia v smere osi z | % |
| y | koreňová medzera | mm |

Úvod

Zváranie je najprogressívnejšia strojárská výrobná technológia. Je technológia spájania dvoch tavitelných materiálov pomocou lokálneho roztavenia, zliatia a následného ochladenia. Oblasť spojenia materiálov sa nazýva zvar. Produktom zvárania sú zvarky a zvárané konštrukcie.

Zvárať sa dajú nielen kovové materiály rovnakého druhu, ale aj kovy s nekovovými materiálmi. Zváraním sa dajú vzájomne spájať rôzne druhy ocelí, liatin alebo kombinácie ocelí s neželeznými a ľahkými kovmi. Zvárať je možné oceľ so sklom, keramikou a oxidmi.

V súčasnosti je známy veľký počet rôznych technologických procesov zvárania, čo je dôsledkom vývoja nových materiálov a technológií zvárania. Dnes je zváranie neodmysliteľnou časťou výroby a opravy súčiastok. Na každý druh práce boli podľa špecifických požiadaviek vyvinuté zvaracie zariadenia.

Cieľom všetkých technických opatrení pri navrhovaní a výrobe zvariek je dosiahnuť dokonalé spoje, resp. dosiahnuť úžitkové vlastnosti zváraných dielov, ktoré sa blížia k vlastnostiam homogénneho základného materiálu.

V technickej praxi sa používajú ušľachtilé zliatinové oceľe. V oceliach sa nachádza veľké množstvo zliatinových prvkov a ich prítomnosť má rôzne príčiny. Mangánové oceľe (oceľ triedy 14) patria tiež medzi ušľachtilé zliatinové oceľe, ktoré sa dajú zvárať určitými technológiami (MIG, MAG, TIG . . .).

Kvalitu zvaru ocelí ovplyvňuje napr. druh materiálu, hrúbka materiálu a parametre zvárania.

Preto aj téma mojej diplomovej práce bola zameraná na problematiku vplyvu tepla na kvalitu zvaru pri zváraní mangánových ocelí.

Cieľom práce bol návrh tepelných režimov zvárania mangánových ocelí pri rôznych technológiách zvárania vzhľadom na overenie kvality zvarov. Zvary boli podrobené vizuálnej skúške, kapilárnej skúške, röntgenovej skúške, skúške ťahom, skúške lámavosti, metalografickej skúške a skúške tvrdosti.

1 Prehľad o súčasnom stave riešenej problematiky

1.1 Charakteristika ocelí na zušľachtenie

Konštrukčné ocele na zušľachtovanie majú spravidla stredný obsah uhlíka $0,3 \div 0,6$ %. Väčšinou sa používajú v stave zušľachtenom, t.j. zakalené a popustené na vysoké teploty. Výška popúšťacej teploty má vplyv na vzťah medze pevnosti a medze klzu k ťažnosti, zúženiu a vrubovej húževnatosti. Podľa toho rozoznávame zušľachtovanie na: dolnú, strednú a hornú pevnosť, obvyklú pri príslušnej oceli.

Používajú sa väčšinou na namáhané súčiastky strojov, lebo majú priaznivý pomer medzi medzou klzu a vrubovou húževnatosťou. Zlepšenie mechanických vlastností zušľachtením je spôsobené zjemnením zrna a predovšetkým rovnomerným rozdelením jemných karbidov.

Ocele vhodné na zušľachtovanie sú obsiahnuté vo všetkých triedach konštrukčných ušľachtilých ocelí (triedy 12 až 16).

Zvyšovaním obsahu uhlíka sa znižuje kaliaca teplota a zväčšuje sa pevnosť po kalení. Zliatinové prvky posúvajú body premeny, a tým menia i teploty jednotlivých operácií tepelného spracovania. Všetky zliatinové prvky v oceliach na zušľachtovanie zvyšujú prekaliteľnosť, a tým majú vplyv aj na voľbu vhodného ochladzovacieho prostredia. Zliatinové prvky majú významný vplyv tiež na mechanické vlastnosti ocelí a hlavne na ich zmeny pri popúšťaní (Balla, J., 2003).

1.2 Charakteristika mangánových ocelí

Zvýšenie pevnosti sa u konštrukčných ocelí na odliatky dosahuje prísadou mangánu. Obsah mangánu zároveň zvyšuje oteruvzdornosť materiálu. Významným druhom oceli, kde sa vyžaduje vysoká odolnosť proti opotrebeniu, je austenitická mangánová oceľ. Mangánová oceľ obsahuje minimálne 0,9 % Mn. Zvariteľnosť týchto ocelí je obtiažna.

Tieto ocele sú veľmi húževnaté a nemagnetické materiály, ktoré si účinkom vysokého obsahu mangánu zachovávajú aj pri teplote miestnosti austenitickú mikroštruktúru. Používané mangánové ocele s obsahom 12 až 14 % Mn a 1,1 až 1,5 % C sa často

označujú ako Hadfieldová mangánová oceľ, ktorá v liatom stave odpovedá norme STN 422920 alebo STN 422921.

Mangánové ocele sú citlivé na hrubnutie zrna, pretože mangán zvyšuje prekaliteľnosť. Prítomnosť mangánu zväčšuje medzu sklzu aj pevnosť v ťahu, bez zhoršenia plasticity (ťažnosti, kontrakcie), zlepšuje zvariteľnosť ocele za studena, zväčšuje odolnosť ocele proti opotrebeniu, zväčšuje súčiniteľ teplotnej rozťažnosti a znižuje tepelnú vodivosť. Mangán ako legovací prvok nemá výraznejší vplyv na odolnosť voči korózii v elektrolytoch a v plynnom prostredí. Až pri vyššom obsahu, kedy vzniká austenitická štruktúra, a hlavne za súčasného prídania Cr, je odolnosť voči korózii výrazne zlepšovaná (Hrivňák, I., 1989).

Mangánové ocele sú náchylné na rast austenitického zrna (okrem Mn-V), preto je nutné pri nich presne dodržiavať podmienky tepelného spracovania. Tieto ocele sa používajú na stredne namáhané súčiastky (hriadele, nápravy, čapy, ojnice a pod.).

1.3 Zvariteľnosť

Cieľom všetkých technických opatrení pri navrhovaní a výrobe zvariek je dosiahnuť dokonalé spoje, resp. dosiahnuť úžitkové vlastnosti zvaraných dielov, ktoré sa blížia k vlastnostiam homogénneho základného materiálu. Riešenie týchto problémov je náplňou všeobecnej zvariteľnosti. Do tohto okruhu sa zahŕňajú problémy výroby a voľby materiálov vhodných na zváranie, návrh technológie zvarania vhodnej pre zvolený materiál, ako aj realizácia vhodných konštrukčných úprav potrebných pre úspešné zváranie. Z toho vyplýva, že na zvariteľnosť vplyvajú tri hlavné skupiny vzájomne súvisiacich činiteľov – materiál – technológia – konštrukcia. Vzájomnú väzbu troch hlavných činiteľov nie je možné rozdeliť a posudzovať nezávisle od seba. Vždy sa musí vyjadriť komplexne. Na základe uvedených faktorov bola zvariteľnosť vyjadrená definíciou VÚZ Bratislava takto: „Zvariteľnosť je spôsobilosť materiálu, ktorá umožňuje vytvoriť za určitých podmienok zvarania spoje určitých vlastností“ (VUZ, 2010).

Podľa teraz platnej STN, zvariteľnosť je komplexná charakteristika materiálu, ktorá určuje za daných podmienok zvarania jeho technickú vhodnosť pre spoje predpísanej kvality.

Zvariteľnosť treba vzťahovať na celý zvarový spoj a nielen na základný materiál.

1.4 Zvariteľnosť ocelí

Zastúpenie ocelí ako konštrukčného materiálu v strojárskom priemysle predstavuje v oblasti zvárania 92 až 96 %.

Kritériá zvariteľnosti závisia od druhu ocele, teda predovšetkým od ich chemického zloženia.

Podľa chemického zloženia a hrúbky prierezu polotovaru, ako aj ďalších činiteľov rozlišuje sa zvariteľnosť ocelí na stupne 1a, 1b, 2 a 3, pričom:

- stupeň 1a, *zaručená*, znamená, že výrobca zaručuje zvariteľnosť ocele pri zváraní za teplôt až do 0 °C bez osobitných opatrení,
- stupeň 1b, *zaručená podmienená*, kde výrobca zaručuje zvariteľnosť ocele pri dodržaní vopred určených podmienok pri zváraní, ktoré sa uvádzajú v normách akosti ocelí,
- stupeň 2, *dobrá*, znamená, že výrobca síce nezaručuje zvariteľnosť, ale tieto ocele dávajú vo väčšine prípadov vyhovujúce zvarové spoje. Osobitné opatrenia sú potrebné len výnimočne,
- stupeň 3, *obtiazna*, znamená, že v týchto oceliach sa nedá spravidla dosiahnuť vyhovujúcu akosť zvarových spojov ani pri dodržaní osobitných opatrení pri zváraní. Tieto ocele sa neodporúča používať na zvárané konštrukcie.

Pre ocele triedy 10 až 16 a ocele na odliatky triedy 26, 27 a 28 určené na zváranie majú mať pri zváraní bez osobitných opatrení obsah uhlíka v tavbovom rozboře pod hodnotu 0,22 % a ekvivalentný uhlík C_e je obmedzený do 0,5 %. Ekvivalentný obsah uhlíka môžeme vypočítať podľa vzorca (1):

$$C_e = C + \frac{Mn}{6} + \frac{Cr}{5} + \frac{Ni}{15} + \frac{Mo}{4} + \frac{Cu}{13} + \frac{P}{2} + 0,0024 \cdot a \quad [\%] \quad (1)$$

kde: a – hrúbka materiálu v mm.

Z hľadiska praxe pri hodnotení zvariteľnosti, vychádza sa z požiadavky, že zvarový spoj má byť celistvý, to znamená, že nemá mať trhliny akéhokoľvek pôvodu, mikrotrhliny, neprievary, póry a iné. Druhá požiadavka je na súbor takých úžitkových vlastností, ktoré sa požadujú v procese exploatacie. Pri takejto interpretácii máme dve kritériá: celistvosť a vlastnosti, ktoré integrálne dávajú bezpečnosť zvárannej konštrukcie (Tolnai, R., 2000).

1.5 Technológie zvárania mangánových ocelí

1.5.1 Zváranie plameňom

Zváranie plameňom patrí do skupiny tavného zvárania. Tavný kúpeľ je vytváraný teplom, ktoré vzniká horením zmesi vhodného horľavého plynu s kyslíkom. Použitelnosť horľavého plynu je daná rýchlosťou spaľovania v prvej fáze horenia, ktorá určuje najvyššiu dosažiteľnú teplotu v redukčnej oblasti plameňa a množstvo tepla uvoľneného v tejto fáze horenia – tzv. zváracia výhrevnosť plameňa.

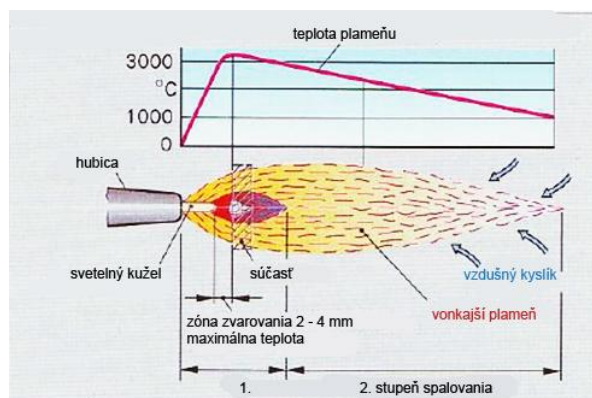
Najvyššia teplota zváracieho plameňa sa dosiahne pri horení kyslíko – acetylénovej zmesi.

Veľkou výhodou acetylénu je redukčný účinok zváracieho plameňa, ktorý možno ľahko nastaviť a regulovať. Zváranie plameňom sa vyznačuje dobrým premostením medzier. Nie je nutná žiadna, alebo len minimálna príprava zvarových plôch (Linde, 2006).

Ostatné horľavé plyny sú pre zváranie menej vhodné.

Všeobecné rozdelenie plameňov je možné z niekoľkých hľadísk:

- podľa horľavého plynu v zmesi s kyslíkom: plameň kyslíkoacetylénový (obrázok 1), kyslíkovodíkový a pod.,
- podľa intenzity, t.j. podľa rýchlosti, ktorou vystupuje zmes plynov z hubice horáku – plameň: mäkký, stredný, ostrý. Výstupná rýchlosť zmesi pre použitú veľkosť zvarovacieho horáku je daná nastavením hodnôt pracovných tlakov, tým i prietochného množstva oboch plynov, jemnejšie doregulovanie umožňujú horákové ventily,
- podľa pomeru kyslíka a acetylénu v zmesi – plameň: neutrálny, redukčný a oxidačný.



Obr. 1

[Kyslíkovo-acetylénový plameň], (Fajnorka, 2010)

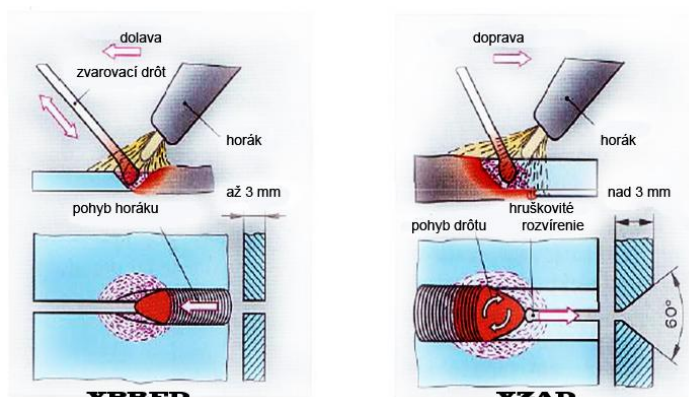
Kvalita zvarového kovu je vo veľkej miere závislá na nastavení plameňa, polohe zvárania a pracovnej technike.

Pri zváraní plameňom prebieha ohrievanie, natavovanie a pridávanie materiálu v zreteľných časových intervaloch, ktoré zvárač môže z časti ovplyvňovať. Skôr ako sa prídavný materiál pridá do zvarového kúpeľa, musia byť vždy spoľahlivo nastavené zvarové plochy a vytvorený primeraný tavný kúpeľ.

Bez ohľadu na polohu sa rozoznávajú dva základné spôsoby zvárania: dopredu a dozadu (obrázok 2).

Plameňom sa zvárajú najčastejšie spoje tupé, kútové a rohové. Tvary a rozmery zvarových plôch sú stanovené normou STN 05 0025. Zvarové hrúbky sú obvykle v rozsahu 0,6 – 6 mm.

Materiály, u ktorých hrúbka steny nepresahuje 1 mm sa zvárajú bez použitia prídavného materiálu. Väčšie hrúbky stien sa zvárajú s použitím prídavného materiálu. Voľba priemeru drôtu sa riadi hrúbkou zváraného materiálu (Tolnai, R. 2000).



Obr. 2

[Zváranie plameňom], (Fajnorka, 2010)

1.5.2 Ručné oblúkové zváranie obalenou elektródou

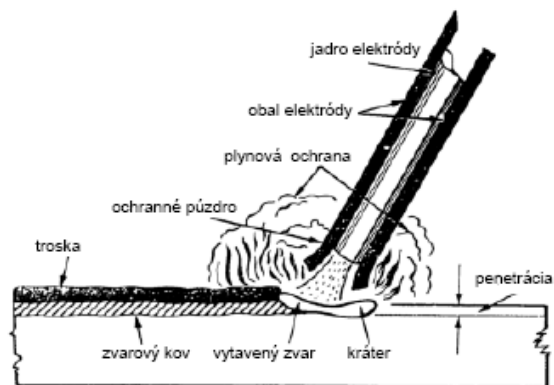
Ručné oblúkové zváranie obalenou elektródou (skratka ROZ, MMA) je spôsob zvárania, charakterizovaný nasledovnými znakmi:

- Zdrojom tepla je elektrický (zvárací) oblúk, ktorý sa počas zvárania udržuje („horí“) medzi koncom elektródy a blízkym povrchom zváraného materiálu.
- Prídavný materiál (obalená elektróda) pozostávajúca z kovového jadra a obalu, ktorý sa postupne taví a vo forme kvapiek prechádza do zvarového kúpeľa, pričom tvorí podstatný podiel zvarového kovu.
- Pohyb (vedenie) elektródy vykonáva ručne zvárač.

Elektrický oblúk je energeticky dotovaný zdrojom elektrického napätia - zváracím zdrojom - ktorý musí mať špecifické vlastnosti. Prídavný materiál (obalená elektróda) má kovové jadro (zvyčajne ťahaný drôt, zriedkavo inak, napr. odlievaná tyčka, lisovaný kovový prášok) obalené špeciálnym, prevažne keramickým obalom, ktorý zabezpečuje minimálne stabilitu a ochranu elektrického oblúka a ochranu zvarového kovu pred vzdušnými plynmi.

Proces zvárania začína vznikom („zapálením“) elektrického oblúka obvykle v mieste začiatku zvárania a bez prerušenia pokračuje až do chvíle odtavenia celej použiteľnej dĺžky elektródy alebo vytavenia potrebného množstva zvarového kovu. Odtavovanie elektródy je postupné, rýchlosť odtavovania konkrétnej elektródy je predovšetkým funkciou intenzity zváracieho prúdu. Prenos zvarového kovu cez oblúk sa deje vo forme malých kvapiek (MatNet, 2006).

Princíp ručného oblúkového zvárania obalenými elektródami je na obrázku 3.



Obr. 3

[Ručné oblúkové zváranie obalenou elektródou], (Hrivňák, I., 2009)

Výhodami ručného oblúkového zvarovania obalenou elektródou sú:

- vysoká kvalita zvarových spojov,
- najširší sortiment prídavných materiálov pre všetky skupiny zvaraných materiálov,
- maximálna flexibilita a rýchlosť nasadenia,
- maximálna dostupnosť a relatívne nízka závislosť na vplyvoch prostredia,
- univerzálnosť a použiteľnosť aj v najkomplikovanejších situáciách a polohách,
- použiteľnosť pre všetky triedy zvarkov podľa veľkosti,
- vysoká spoľahlivosť počas realizácie a nižšie investičné náklady.

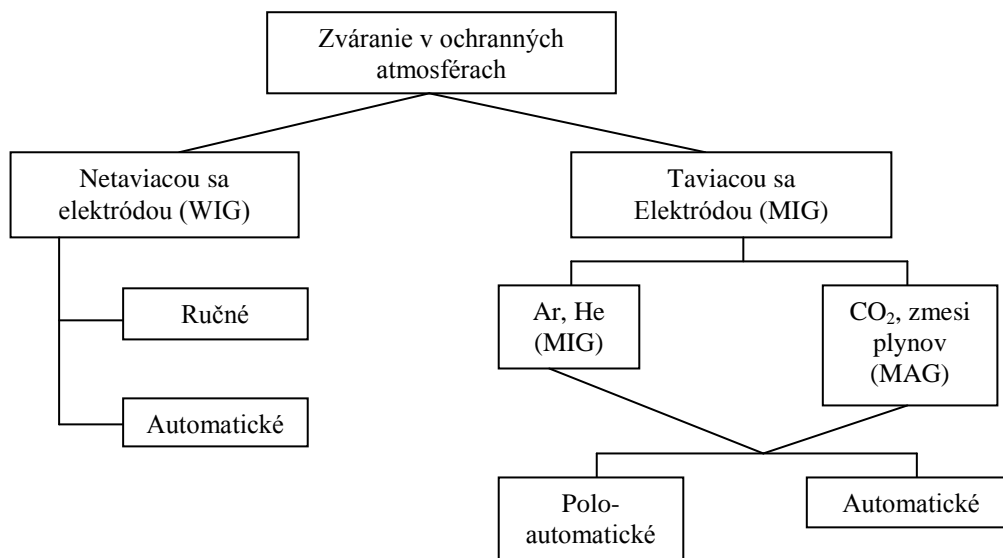
Nevýhodami ručného oblúkového zvarovania obalenou elektródou sú:

- nižšia produktivita v porovnaní s metódami MIG, MAG a ZPT,
- zvýšená možnosť tvorby chýb ako napr. pórovitosť,
- nutnosť odstraňovať trosku, nemožnosť automatizácie a mechanizácie,
- zvýšené percento škodlivých látok, resp. vyššie požiadavky na hygienu práce.

Zváracie zariadenie pre MMA pozostáva zo zvaracieho zdroja a z pomocných zvaracích zariadení. Zvárací zdroj dodáva, prípadne vyrába elektrický prúd s požadovanými elektrickými parametrami. Pomocné zvaracie zariadenia zabezpečujú prenos elektrického prúdu medzi zvaracím zdrojom, elektródou a zvarkom a uzatvárajú elektrický obvod (MatNet, 2006).

1.5.3 Zváranie elektrickým oblúkom v ochranných atmosférach

Zváranie v ochranných atmosférach nachádza uplatnenie vo všetkých oblastiach výroby zvaraných konštrukcií. V súčasnej dobe patrí k technológiám, ktoré prekonávajú najväčší rozvoj v strojárskych podnikoch. Jeho podiel sa oproti iným technológiám zväčšuje. Je to spôsobené nasledovnými výhodami: vysokou produktivitou, zlepšením hygieny prostredia, možnosťou zvarať vo všetkých polohách, umožnením automatizácie a robotizácie zvarovania. Rozdelenie tohto spôsobu zvarovania je na obrázku 4.



Obr. 4

[Rozdelenie zvárania v ochranných atmosférach], (Tolnai, R., 2000)

Pri tomto spôsobe zvárania je tavný kúpeľ chránený pred nepriaznivými účinkami okolitej atmosféry (hlavne kyslíka a dusíka) ochranou atmosférou, ktorá môže byť inertná alebo aktívna. Ochranné plyny používané pre zváranie v ochranných atmosférach sú v tabuľke 1. Inertné atmosféry (argón Ar, hélium He alebo ich zmes) nevstupujú do chemických reakcií s tavným kúpeľom. Aktívne atmosféry (CO₂, zmesné plyny) sa podieľajú na chemických reakciách v tavnom kúpeľi (Tolnai, R., 2000).

Tab. 1**[Ochranné plyny používané pre zváranie v ochranných atmosférach]**

| Druh a zloženie plynov | Použitie |
|---------------------------------------|--|
| Ar | WIG, MIG, neželezné kovy, vysokolegované ocele |
| CO ₂ | pre MAG zváranie krátkym oblúkom, nízkouhlíkové ocele |
| Ar + 1-3 % O ₂ | pre stredne a vysokolegované, ako aj nehrdzavejúce ocele |
| Ar + 1-5 % O ₂ | pre sprchový prenos |
| Ar + 8 % O ₂ | zváranie tenkých plechov |
| Ar + 12 % O ₂ | pre plechy stredných a veľkých hrúbok |
| Ar + 5 % CO ₂ | pre zváranie krátkym oblúkom |
| Ar + 5-10 % CO ₂ | nelegované a nízkolegované ocele, pre sprchový a skratový prenos |
| Ar + 18-20 % CO ₂ | na zváranie sprchovým prenosom s minimálnym rozstrekom stredne a vysokolegovaných ocelí, kľudné horenie oblúka, lepšie tvarovanie povrchu zvaru |
| Ar + O ₂ + CO ₂ | najčastejšie v zmesi s obsahom do 15 % CO ₂ a do 6 % O ₂ pre zváranie nelegovaných a nízkolegovaných ocelí |
| Ar + He + CO ₂ | zváranie ocelí s nízkym oxidačným stupňom s ohraničením obsahu CO ₂ do 5 % a 35 % He, zváranie krátkym oblúkom vysokopevných a legovaných ocelí |

1.5.4 Zváranie v ochrannej atmosfére inertných plynov netaviacou sa elektródou

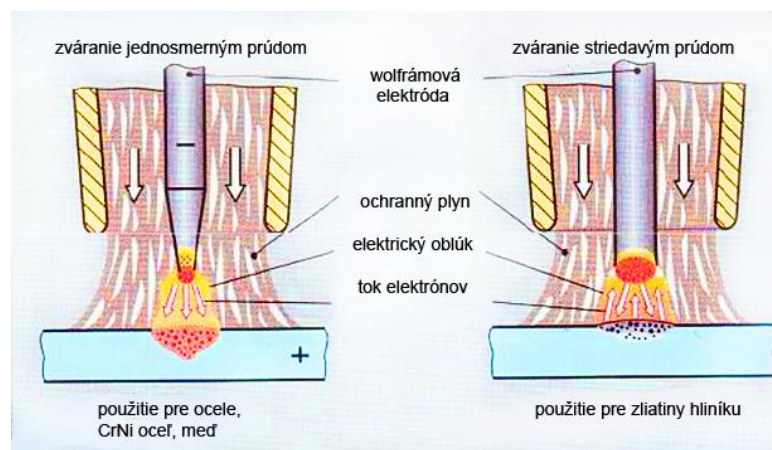
Tento spôsob zvárania je označovaný ako WIG (Wolfram Inert Gas), v anglosaskej literatúre TIG (Tungsten Inert Gas). Spôsob je univerzálny aj pre ručné a automatické zváranie i naváranie. Používa sa pre zváranie hliníkových zliatin, koróziivzdorných aj vysokolegovaných ocelí, zliatin medi.

Tavný kúpeľ je chránený pred účinkami atmosféry argónom, príp. héliom, ktorý je privádzaný pozdĺž osi volfrámovej elektródy a usmerňovaný do miesta zvaru keramikou hubicou. Oblúk horí medzi netaviacou sa volfrámovou elektródou a základným materiálom. Charakteristika a rozsah použitia zvárania TIG je v tabuľke 2 a princíp zvárania TIG je na obrázku 5.

Technológia sa používa pre najnáročnejšie zvary v jadrovej energetike, kozmickej a leteckej technike. Pre malosériovú výrobu sa používa ručné zváranie TIG a prídavný materiál sa do oblúka dodáva ručne vo forme tyčinky, piestika, ale najčastejšie vo forme drôtu (Tolnai, R., 2000).

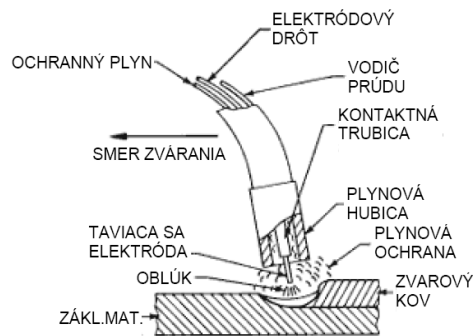
Tab. 2**[Charakteristika a rozsah použitia zvarania TIG]**

| | |
|---------------------------------|---|
| Poloha zvarania | Všetky polohy |
| Hrúbka základného materiálu | 0,5 až 10 mm |
| Druh základného materiálu | Všetky druhy ocelí vrátane legovaných, zliatiny Ni, Cu, Al, Ti, Ag, Zr |
| Zvárací prúd | 10 až 400 A |
| Druh prúdu | Striedavý pre Al a jeho zliatiny, jednosmerný pre ostatné materiály (elektroda mínus pól) |
| Priemer elektródy | 1 až 8 mm |
| Chladienie horáka | Do 150 A plynom, nad 150 A kvapalinou (vodou) |
| Statická charakteristika zdroja | Strmo klesajúca |
| Zapaľovanie oblúka | Vysokofrekvenčným výbojom |
| Ochranný plyn | Argón, hélium, ich zmes |

**Obr. 5****[Princíp zvarania TIG], (Fajnorka, 2010)**

1.5.5 Zváranie v ochrannej atmosfére taviacou sa elektródou

Tieto spôsoby zvárania sa označujú pri použití aktívnych plynov (CO₂, zmesi plynov) MAG (Metal Aktiv Gas) a pri použití inertných plynov (Ar, He) MIG (Metal Inert Gas). Elektrický oblúk horí medzi prídavným drôtom a základným zváraným materiálom. Princíp zvárania MIG, MAG je na obrázku 6 a charakteristika a rozsah použitia zvárania MIG, MAG je v tabuľke 3.



Obr. 6

[Schéma a opis horáka pri zváraní MIG], (Hrivňák, I., 2009)

Ochranná atmosféra sa volí podľa druhu zváraného materiálu. Ochranná atmosféra ovplyvňuje prenos materiálu, rozstrek a teplotné pomery v oblúku (Tolnai, R., 2000).

Tab. 3

[Charakteristika a rozsah použitia zvárania MIG, MAG]

| | |
|-----------------------------|---|
| Poloha zvárania | Všetky polohy |
| Hrúbka základného materiálu | 0,8 až 40 mm |
| Druh základného materiálu | MAG: nelegované a nízko legované ocele MIG: vysokolegované ocele, zliatiny Al, Ni, Cu |
| Prenos prídavného materiálu | Skratový: $I_z = 40$ až 190 A $U_{EO} = 16$ až 21 V Sprchový: $I_z = 120$ až 500 A $U_{EO} = 20$ až 36 V |
| Druh prúdu | Jednosmerný, elektróda na plus pôle |
| Priemer prídavného drôtu | 0,8 až 2,6 mm |

1.6 Rozbor problematiky zvárania Mn ocelí

1.6.1 Praskavosť zvarových spojov Mn ocelí

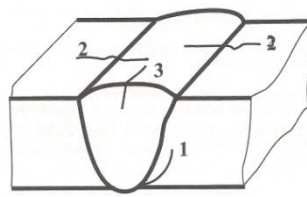
Chyby trhlín alebo mikrotrhlín v oblasti zvarových spojov možno z hľadiska teplotnej oblasti ich vzniku rozdeliť do nasledovných skupín:

- Studené trhliny indukované vodíkom (oneskorené) trhliny, ktoré vznikajú po skončení zvárania pri teplotách pod 200 až 300 °C.
- Horúce trhliny alebo mikrotrhliny (vznikajú počas ochladzovania pri vysokých teplotách daných približným rozmedzením od teploty solidu / likvidu po 900 až 800 °C.
- Žihacie trhliny vznikajú po skončení zvárania v súvislosti s tepelným spracovaním (žíhaním) zvarových spojov.
- Lamelárne trhliny, ktoré síce môžu iniciovať pri vyšších teplotách, ale môžu sa šíriť za studena a majú špecifickú morfológiu (Foldyna, V. a kol., 1999).

Výsledná trhlina často nie je čistým defektom jedného typu. Môže iniciovať napr. ako horúca a šíriť sa ako indukovaná vodíkom.

1.6.2 Studené trhliny

Studené trhliny, trhliny indukované vodíkom a zbrzdené lomy sú defekty, ktoré vznikajú pri nízkych teplotách asi pod 200 °C (obrázok 7). Vyskytujú sa najčastejšie v podhúsenkovej oblasti zvarových spojov ocelí. Môžu sa vyskytovať aj v koreňovej oblasti, v koncových oblastiach spojov ale aj vo zvarovom kove. Orientácie môžu byť pozdĺžne, priečne, cez všetky oblasti zvarového spoja. Studené trhliny sú transkryštalického charakteru, povrch je lesklý, neoxidovaný, na rozdiel od horúcich trhlín (Hrivňák, I., 2009).



1 – pozdĺžne, koreňové,
 2 – priečne,
 3 – pozdĺžne
 vo zvarovom kove

Obr. 7

[Orientácia studených trhlín v tupom zvarovom spoji], (Brziak, P. a kol., 2003)

Hlavnou príčinou vzniku týchto trhlín je vzájomné pôsobenie troch faktorov:

- prítomnosť vodíka vo zvarovom spoji,
- prítomnosť štruktúry citlivej na účinok vodíka,
- prítomnosť ťahových (kontrakčných) zvyškových napätí.

Zdrojom vodíka vo zware je najčastejšie atmosférická vlhkosť, vlhkosť z obalu elektród, zvaracie drôty po povrchovej úprave. Rozpustnosť a rozloženie vodíka vo zvarovom kove závisí na teplote, koncentrácii a typu nečistôt, mikropórov a dislokácii, makropórov a rýchlosti ochladzovania. Obsah vodíka vo zvarovom kove meriame najčastejšie ortuťovou a glycerínovou skúškou.

Náchylnosť ocelí na vznik studených trhlín úzko súvisí s prekaliteľnosťou, resp. transformačným skrehnutím. Súhrnný vplyv chemického zloženia na náchylnosť ocelí na zakalenie v TOO, a tým i náchylnosť na vznik trhlín za studena sa vyjadruje uhlíkovým ekvivalentom, napr. podľa IIW/IIS vzťahom (2):

$$C_{e(IIW)} = C + \frac{Mn}{6} + \frac{Cr+Mo+V}{5} + \frac{Ni+Cu}{15} \quad [hm. \ %] \quad (2)$$

Transformačné skrehnutie TOO je dané chemickým zložením ocele, aplikovaným zvaracím cyklom, ktorý je vyjadrený napr. časom ochladzovania Δt (800-500°C). Priebeh zvaracieho cyklu možno ovplyvniť zmenou technológie zvarania, zmenou zvaracích parametrov, použitím predohrevu a dohrevu.

1.6.2.1 Hodnotenie náchylnosti ocelí k studeným trhlinám

Empirické hodnotenie náchylnosti ocele na vznik studených trhlín je spojené so zahrnutím jednotlivých vplyvov. Najjednoduchším spôsobom je kritériálne hodnotenie podľa množstva C, hrúbky, hodnoty uhlíkového ekvivalentu $C_{e(IIW)}$ podľa tabuľky 4.

Tab. 4

[Medzné hodnoty C, $C_{e(IIW)}$, hrúbky, u ktorých nie je nutný predhrev, dohrev]

| Nízkouhlíkové, nízkoaligované C-Mn ocele R_m [MPa] | C [hm. %] | $C_{e(IIW)}$ [hm. %] | Hrúbka [mm] | Poznámka |
|---|----------------------------|----------------------------|--------------------|------------------------------|
| 370-520 | ≤ 0.22 | ≤ 0.41 | ≤ 25 | |
| 500-700 | ≤ 0.20 ≤ 0.20 | ≤ 0.45 ≤ 0.41 | ≤ 25 25-27 | nízkovodíkové technológie |

Parametrická rovnica parametra praskavosti P_W , zahrňuje vplyv chemického zloženia ocele, vplyv difúzneho vodíka a vplyv tuhosti zvarového spoja. Je vyjadrená vzťahom (3, 4):

$$P_W = P_{CM} + \frac{H_{D(GI)}}{60} + \frac{K}{40.10^4} \quad [\%] \quad (3)$$

$$K = K_o h \quad [10N/mm.mm] \quad (4)$$

kde P_{CM} je uhlíkový ekvivalent, K konštanta tuhosti, K_o merná tuhosť, $H_{D(GI)}$ obsah difúzneho vodíka stanoveného glycerínovou skúškou.

Oceľ je náchylná na vznik trhlín v prípade $P_W > 0$. V takom prípade sa odporúča pri zvaraní použiť predhrev, ktorého výška sa vypočíta z rovnice (5):

$$T (^{\circ}C) = 1440 P_W - 392 \quad (5)$$

1.6.2.2 Skúšky praskavosti pre studené trhliny

Tieto experimentálne skúšky môžeme rozdeliť do 4 skupín:

- skúšky s využitím reálneho zvarania,
- skúšky so simulovaným teplotným cyklom zvarania,
- skúšky s vlastnou tuhosťou,
- skúšky s vynútenou tuhosťou.

Ku skúškam s vlastnou tuhosťou počítame napr. skúšky praskavosti Tekken, Lehigh, CTS, krížovú, RD a atď. Typickým predstaviteľom skúšok s vynútenou tuhosťou je skúška implant. Na skúšanie náchylnosti ocelí na studené praskanie môžeme využiť aj simulátory zvárania, ako sú Thermorestor, Gleeble, Smitweld atď. Do teplotného cyklu sa v takýchto prípadoch vloží navodíkovacia perióda.

Skúšky studenej praskavosti sa všeobecne označujú ako skúšky zvariteľnosti ocelí. Pri týchto skúškach hľadáme také podmienky zvárania (obsah vodíka, predhrev, dohrev), aby sa výskyt prasklín eliminoval. Inou možnosťou vyhodnocovania skúšok je výber ocelí alebo prídavných materiálov. V tomto prípade ponechávame ostatné podmienky skúšok rovnaké a meníme základný alebo prídavný materiál. V skúškach s vynútenou tuhosťou meriame závislosť aplikovaného zaťaženia (napätia) a času do lomu (iniciácie trhlinky).

Dnes je zvykom porovnávať veľkosť kritického napätia R_{krit} , pri ktorom sa trhlinky nevyskytujú, s medzou sklzu ocele. Tu musíme upozorniť, že v tepelne ovplyvnenej oblasti sa účinkom teplotného cyklu pevnosť zvyšuje o 80 až 100 %. Za dobre zvariteľné ocele pokladáme také, pri ktorých pomer $R_{krit}/R_e \approx 0,8$. Pri hodnote $R_{krit}/R_e = 1$ už hovoríme, že oceľ nie je náchylná na studené praskanie. Napokon musíme upozorniť, že všetky skúšky s reálnym cyklom zvárania sú do istej miery aj skúškami horúcej praskavosti. Najmä pri zváraní stredne legovaných ocelí sa môže stať, že trhlinky iniciujú ako horúce a iba sa šíria ako studené (Hrivňák, I., 2009).

1.6.2.3 Opatrenia k zamedzeniu vzniku studených trhlín

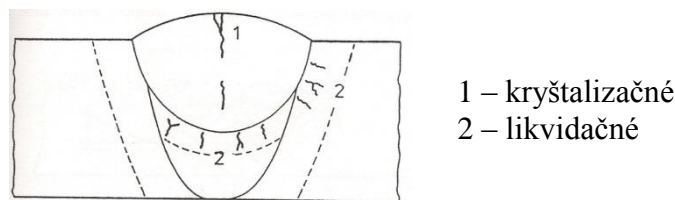
K zamedzeniu vzniku trhlín za studena je nutné:

- používať nízkovodíkové technológie zvárania,
- sušiť prídavné materiály pred použitím,
- zabrániť navlhnutiu prídavných materiálov v priebehu skladovania a manipulácie,
- aplikovať predhrev, dohrev, používať vyšší merný výkon zvárania,
- minimalizovať vznik zvyškových napätí a deformácií po zváraní voľbou vhodnej techniky zvárania,
- vyvarovať sa ostrým chybám v koreňovej oblasti ako sú neprievary, studené spoje, zápaly, ktoré sú miestami koncentrácie napätí a iniciácie trhlín v priebehu zvárania výplňových vrstiev (Foldyna, V. a kol., 1999).

1.6.3 Horúce trhliny

Horúce trhliny sú trhliny, ktoré vznikajú pri ochladzovaní zvarových spojov pri vysokých teplotách. Uvádza sa, že v oceliach vznikajú asi nad teplotou 850 °C. Podľa súčasnej klasifikácie rozlišujeme tri typy horúcich trhlín vo zvarových spojoch (obrázok 8):

- kryštalizačné (solidifikačné) vznikajú vo zvarovom kove v priebehu jeho tuhnutia (kryštalizácie),
- likvidačné vznikajú vo vysokovyhriatom (podhúsenicovom) pásme teplom ovplyvnenej oblasti základného materiálu alebo aj zvarového kovu pri viachúsenicovom zvare,
- polygonizačné, označované tiež ako trhliny z poklesu ťažnosti, môžu vznikáť rovnako ako likvidačné v teplom ovplyvnenej oblasti základného materiálu alebo zvarového kovu a pri nižšej teplote (~850°C). Polygonizačné trhliny sú však charakteristické len pre vysokolegované austenitické ocele a Ni – zliatiny (Brziak, P. a kol., 2003).



Obr. 8

[Schéma oblasti výskytu základných typov horúcich trhlín], (Brziak, P. a kol., 2003)

1.6.3.1 Hodnotenie náchylnosti ocelí k horúcim trhlinám

Náchylnosť zvarového spoja v tepelne ovplyvnenej oblasti k horúcim trhlinám sa vyjadruje parametrickými rovnicami pre parametre H.C.S. (6) a U.C.S. (7):

$$H.C.S = \frac{C\left(S+P+\frac{Si}{25}+\frac{Ni}{100}\right) \cdot 10^3}{3Mn+Cr+Mo+V} \quad [\%] \quad (6)$$

Oceľ je náchylná k horúcim trhlinám, keď $H.C.S. > 4$ (nelegované ocele), u nízkoalegovaných ocelí $H.C.S. > 1,6$

$$U.C.S. = 230C + 190S + 75P + 45Nb - 12.1Si - 5.4Mn \quad [\%] \quad (7)$$

Oceľ je náchylná k horúcim trhlinám, keď $10 < U.C.S. < 30$ (Foldyna, V. a kol., 1999).

1.6.3.2 Skúšky praskavosti pre horúce trhliny

Skúšky praskavosti pre horúce trhliny rozdeľujeme na:

- skúšky s vlastnou tuhosťou,
- skúšky s vynútenou tuhosťou,
- skúšky s reálnym alebo simulovaným zväracím cyklom.

Skúšky sú založené na princípe využitia deformácií (ťahovej napätosti), rýchlosti deformácie alebo kontrakcie v oblasti vysokých teplôt (teplota solidu). Najznámejšie sú Murex, Varenstraint, Transvarenstraint, Frisco, Esso, LPT a atď.

1.6.3.3 Opatrenia k zamedzeniu vzniku horúcich trhlín

K zamedzeniu vzniku horúcich trhlín je potrebné:

- zníženie merného príkonu zvärania,
- používanie prídavných materiálov vysokej čistoty,
- obmedziť deformácie a napätia použitím vhodných techník zvärania, tvaru zvarového spoja, predohrevu,
- nepoužívať húsenky s vysokým tvarovým koeficientom zvaru a malým prierezom, najmä v koreňovej oblasti (Foldyna, V. a kol., 1999).

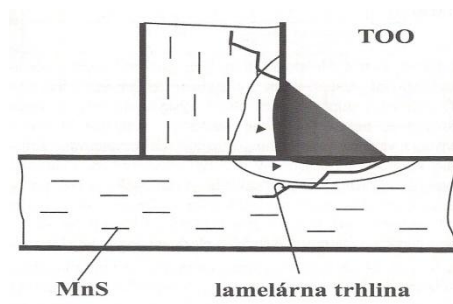
1.6.4 Lamelárne trhliny

Lamelárne praskanie je typom necelistvosti v oblasti zvarového spoja, ktorá sa môže vyskytnúť vtedy, keď je plech namáhaný v smere jeho hrúbky. Z toho vyplýva, že lamelárne praskanie pozorujeme iba vo valcovaných plechoch alebo aj vo výkovkoch s vysokým stupňom prekovania. Na obrázku 9 vidíme typickú morfológiu lamelárnej

trhliny. Tieto trhliny sa môžu vyskytovať v tepelne ovplyvnenej oblasti alebo v základnom materiáli. Trhliny majú stupňovitý (kaskádovitý) tvar rovnobežný s povrchom, plechu (Foldyna, V. a kol., 1999).

Hlavné faktory, ktoré vplyvajú na vznik lamelárnych trhlín, sú:

- vlastnosti plasticity ocele v smere jej hrúbky (v smere z),
- spôsob zvarovania a použité parametre,
- konštrukcia zvaraného uzla.



Obr. 9

[Miesto iniciácie a spôsob šírenia lamelárnej trhliny], (Brziak, P. a kol., 2003)

Lamelárne trhliny zaraďujeme medzi defekty typu studených trhlín aj keď ich vznik môže súvisieť s dejmi vo vysokovyhriatej časti tepelne ovplyvnenej oblasti.

Metalurgickou príčinou lamelárneho praskania je nízka úroveň plasticity v smere hrúbky spoja (Hrivňák, I., 2009).

1.6.4.1 Hodnotenie náchylnosti ocelí k lamelárnemu praskaniu

Pre toto hodnotenie sa používajú parametrické rovnice zahrňujúce vplyv chemického zloženia materiálu, obsahu nečistôt, obsahu difúzneho vodíka.

Parameter lamelárnej praskavosti podľa obsahu síry sa vyjadruje vzťahom (8):

$$P_L = P_{CM} + \frac{H_{GI}}{60} + 6S \quad (8)$$

Parameter lamelárnej praskavosti podľa množstva nečistôt vyjadríme vzťahom (9):

$$P_l = P_{CM} + \frac{H_{GI}}{60} + \frac{l}{1000} \quad (9)$$

kde P_{CM} – trhlinový parameter podľa Ita a Bessya,

H_{GI} – obsah difúzneho vodíka stanoveného glycerínovou metódou v [mlH/100g]

S – obsah síry v %

l – súčet dĺžok plošných nečistôt v [μm^{-2}]

Kritériálne hodnoty parametrov P_L a P_1 pre odolnosť proti lamelárnemu praskaniu pre konštrukčné a nízkolegované ocele sú $P_L \leq 0,40$, $P_1 \leq 0,35$ (Foldyna, V. a kol., 1999).

1.6.4.2 Skúšky praskavosti pre lamelárne trhliny

Pre hodnotenie náchylnosti k lamelárnym trhlinám boli vyvinuté skúšky praskavosti:

- Cranfieldová skúška praskavosti,
- Oknová skúška,
- Skúška ťahom v smere hrúbky plechu.

1.6.4.3 Opatrenia k zamedzeniu vzniku lamelárných trhlín

Medzi tieto opatrenia patria:

- používanie základného materiálu so zaručenou kontrakciou v smere osi z $Z_z \geq 15\%$,
- zlepšovanie čistoty oceli, znižovanie obsahu difúzneho vodíka,
- presmerovanie pôsobenia ťahových napätí zmenou tvaru spoja,
- používanie techniky zvarovania, ktoré minimalizujú napätie od zvarovania (Foldyna, V., 1999).

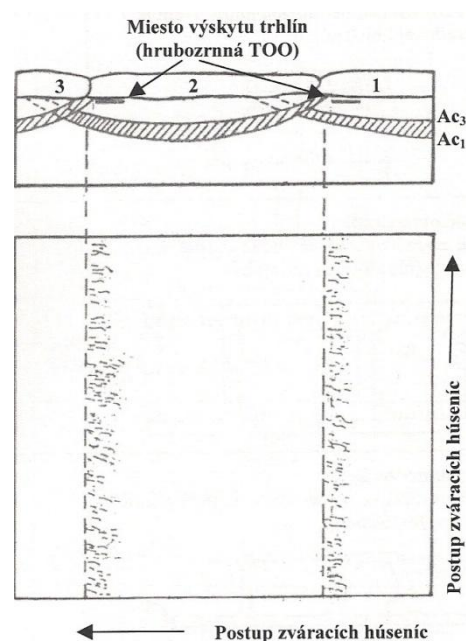
1.6.5 Žihacie trhliny

Žihacie trhliny vznikajú pri tepelnom spracovaní zvarových spojov, príp. pri mnohovrstvovom zvaraní (pozri obr. 10). Týmto tepelným spracovaním je žihanie na zníženie vnútorných napätí, teda oblasť teplôt pod A_1 , v prípade feritických ocelí.

Žihacie trhliny sa zistili nielen v zvarových spojoch ocelí, ale aj v austenitických CrNi oceliach a niklových zliatinách.

Žihacie trhliny môžu vzniknúť:

- za nízkych teplôt, t.j. v priebehu ohrevu na teploty žihania, v oblasti teplôt 200 – 300 °C,
- v oblasti žihacích teplôt (oblasť 600 – 650 °C),
- pod návarmi nízkolegovaných ocelí pri plátovaní austenitickou naváracou páskou (podnávarové trhliny).



Obr. 10

[Výskyt žihacích a podnávarových trhlín], (Brziak, P. a kol., 2003)

Vysokoteplotný typ žihacích trhlín je komplexný. Trhliny vznikajú v podhúsenicovej zóne, charakterizovanej predovšetkým zhrubnutím austenitických zŕn, ďalej výskytom rozpadových štruktúr najmä martenzitu a bainitu. Tieto trhliny sa vyskytujú najmä pri tepelnom spracovaní zvarových spojov na nízkolegovaných CrMo a CrMoV oceliach, ale zistili sa aj v iných druhoch ocelí, akými sú mikrolegované ocele a tiež v austenitických oceliach (Hrivňák, I., 2009).

1.6.5.1 Hodnotenie náchylnosti ocelí k žihacím trhlinám

Pre toto hodnotenie boli odvodené parametrické rovnice (10, 11, 12). Rovnice sa vzťahujú na nízkoaliované ocele na báze CrMo, resp. CrMoV a ocele do 21/4CrMo a ~ 0,30 V hm. %.

Parameter praskavosti podľa Nakamury a Ita:

$$\Delta G = Cr + 3,3Mo + 8,1V - 2 \quad \text{alebo} \quad (10)$$

$$\Delta G_1 = Cr + 3,3Mo + 8,1V + 10C - 2 \quad (11)$$

ocle sú citlivé, ak ΔG , resp. $\Delta G_1 > 2$

$$P_{SR} = Cr + Cu + 2Mo + 10V + 7Nb + 5Ti - 2 \quad (12)$$

Ocele sú citlivé, ak $P_{SR} > 0$. Tieto rovnice platia pre ocele s C: 0,1 ~ 0,25 hm. %, Cr: 0 ~ 1,5 hm. %, Mo: 0 - 0,2 hm. %, Cu: 0 - 1 hm. %, V a Nb: 0 - 0,15 hm. % (Hrivňák, I., 2009).

1.6.5.2 Skúšky praskavosti pre žihacie trhliny

Tieto skúšky rozdeľujeme na:

- skúšky vplyvu žihania na vlastných zvaraných telesách, príp. ich modeloch, ktoré sa vyhodnocujú defektoskopicky a metalograficky,
- ťahové skúšky na zvaraných výrobkoch pri žihacích teplotách,
- simulácia žihacieho cyklu na simulovaných telesách.

Medzi najznámejšie skúšky pre žihacie trhliny patrí kruhová skúška BWRA.

1.6.5.3 Opatrenia k zamedzeniu vzniku žihacích trhlín

Obmedzenie možnosti vzniku žihacích trhlín súvisí väčšinou s úpravou a kontrolou žihacích režimov. Zníženie náchylnosti na vznik žihacích trhlín za nízkych teplôt je možné znížením rýchlosti ohrevu v teplotnej oblasti ~ 400 °C. Rovnaké obmedzenie platí aj pre rýchlosti ochladzovania žihacej teploty. Rýchlosť ohrevu sa má pohybovať u materiáloch náchylných na vznik žihacích trhlín a u veľkých hrúbok zvaru v rozsahu 15 – 30 °C/h.

Dohrev sa po zváraní odporúča na teplotu 300 °C, následne medzi ochladenie na medzioperačnú teplotu 150 °C a žihanie z medzioperačnej teploty (Foldyna, V. a kol., 1999).

1.7 Vplyv tepla na zvarový spoj

Pri tavných spôsoboch zvárania je použitie tepla nevyhnutné.

Zdrojom tepla potrebného na roztavenie základného a prídavného materiálu môže byť:

- elektrický oblúk, horiaci medzi elektródou a základným materiálom,
- odporový ohrev generovaný prechodom elektrického prúdu cez dotýkajúce sa zvárané materiály,
- plameň získaný spaľovaním zmesi horľavého plynu s kyslíkom,
- mechanická energia premieňaná na teplo (trenie, ultrazvukové vibrácie),
- exotermická chemická reakcia, produkujúca tekutý kov,
- lúč elektrónov,
- lúč elektromagnetického žiarenia (infračervené, svetelné - laser, ultrafialové).

Z technologického a energetického hľadiska je nevyhnutné, aby zvarový spoj vznikal postupne a nie naraz na celej šírke zvarového spoja. Z toho dôvodu je nutný pohyb zdroja tepla v priebehu zvárania. V mieste pôsobenia tepelného zdroja dôjde k roztaveniu zváraných materiálov (v prípade zvárania s prídavným materiálom i prídavného materiálu). Pohybom tepelného zdroja dochádza k postupnému taveniu ďalšieho materiálu a pôvodne roztavený materiál, ktorý sa začína vzdŕaľovať od zdroja tepla, začne chladnúť. Každé miesto zvarového spoja prejde teplotným cyklom.

Teplotný cyklus sa vyznačuje 3 oblasťami:

- oblasťou ohrevu, t. j. vzrastom teploty na maximálnu teplotu, ktorá je pri tavných spôsoboch zvárania vyššia ako teplota tavenia zváraných materiálov, alebo pri zváraní v pevnom stave nižšia,
- zotrvaním na maximálnej teplote,
- oblasťou ochladzovania (STU, 2010).

Jednotlivé metódy zvárania sú charakteristické príslušným teplotným cyklom, ktorý je zobrazený na obrázku 11.

Pri technológiách s vyššou plošnou hustotou tepelného toku je rýchlosť ohrevu na maximálnu teplotu a rýchlosť ochladzovania vyššia. K týmto technológiám môžeme zaradiť zváranie laserom, elektrónovým lúčom a elektrické odporové zváranie. Ak je

plošná hustota tepelného toku nižšia, trvá tepelnému zdroju dlhší čas, kým sa materiál roztaví. Za tento čas však časť tepla pohltí aj okolitý základný materiál, a preto i rýchlosť ochladzovania je pomalá.

K týmto technológiám je možné zaradiť napríklad zváranie plameňom alebo elektrotroskové zváranie. Energia vo forme tepla z tepelného zdroja sa do zváraných materiálov šíri vedením a žiarením. Podobným spôsobom dochádza aj k odvodu tepla zo zváraných materiálov do okolia. Pri šírení tepla vo zváraných materiáloch sa najviac uplatňuje vedenie tepla. Tepelná vodivosť materiálu spolu s energetickou hustotou zváracieho procesu sa najviac podieľajú na tvare krivky teplotného cyklu (Foldyna, V., a kol., 1999).

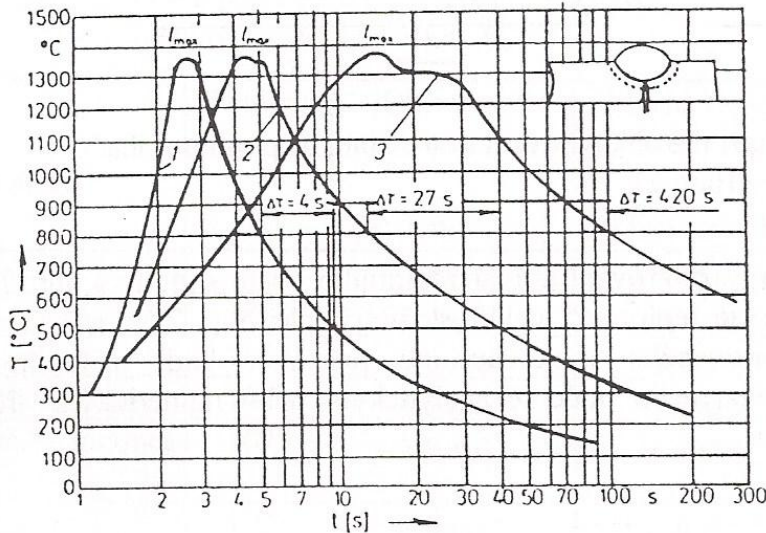
Rozloženie teploty okolo miesta, do ktorého sa koncentruje tepelný zdroj, je možné znázorniť izotermami. Vzrast teploty alebo strmosť krivky pred oblúkom je výraznejšia ako pokles teploty za ním. Je to spôsobené takmer okamžitým prestupom tepla z oblúka do materiálu a dlhšiemu času potrebnému na odvod tepla z materiálu. Dôležitý je aj vplyv hrúbky zváraného materiálu na rozloženie teplôt. V prípade identických podmienok zvárania je v rovnakej vzdialenosti od oblúka vyššia teplota v tenšom materiály. Dôvodom je vyššia hmotnosť hrubšieho materiálu a z toho vyplývajúca vyššia tepelná kapacita a šírenie sa tepla v troch smeroch. Nie všetko teplo generované tepelným zdrojom sa využije na tavenie základného a prídavného materiálu (STU, 2010).

Na vytvorenie zvarovej húsenice sa využije zhruba 20 až 75 % energie generovaného tepelným zdrojom, pričom toto percento sa líši v závislosti od použitej metódy zvárania, druhu základného materiálu, tvaru zvaru a podobne. Napr. pri ručnom oblúkovom zváraní obalenou elektródou sa na vytvorenie zvarovej húsenice využije asi 70 až 85 % tepla. Pri zváraní pod tavivom asi 80 až 90 %. Nízkou účinnosťou sú charakterizované najmä lúčové technológie (laser), pri ktorých sa značná časť dopadajúcej energie od kovovo lesklého povrchu zváraných materiálov odráža do okolia.

Najväčší podiel tepelných strát pri zváraní ide na úkor odvodu tepla do okolitého materiálu, ktorý bezprostredne susedí so zvarom. Ďalšie straty reprezentujú straty rozstrekom zvarového kovu, straty vznikajúce ohrevom elektródy a taviva a vyžiarenie energie do okolitého prostredia.

Pri analýze vplyvu tepla na zvar (zvarový spoj alebo zvarok) je nevyhnutné poznať:

- rýchlosť ohrevu,
- maximálnu dosiahnutú teplotu,
- čas zotrvania na maximálnej teplote,
- rýchlosť ochladzovania.



1-zváranie el.
oblúkom obalenou
elektrodou
2-zváranie
automatom pod
tavivom
3-elektrotroskové
zváranie

Obr. 11

[Tvary tepelných cyklov podhúsenicovej oblasti pre rôzne spôsoby zvárania],

(Foldyna, V. a kol., 1999)

Napriek zložitosti presného určenia jednotlivých faktorov, je pri určitom zjednodušení ich analýza možná. Rýchlosť ohrevu závisí najmä na veľkosti a intenzite zdroja tepla, účinnosti prenosu tepla do základného materiálu, využití tepla na tvorbu zvaru, geometrii zvaru, hustoty základného materiálu, koeficiente tepelnej vodivosti zváraných materiálov a ich špecifickej tepelnej kapacity. Termofyzikálna vlastnosť materiálov - tepelná vodivosť výrazne ovplyvňuje strmosť krivky teplotného cyklu a tým aj teplotného gradientu spoja.

Pri tavných spôsoboch zvárania je potrebné dosiahnuť teplotu tavenia základného i prídavného materiálu, alebo ju prekročiť. O koľko sa teplota tavenia prekročí, závisí na použitej technológii zvárania.

Veľkosť prekročenia nemusí byť výrazná, hoci technológie s vysokou hustotou energie (laser, elektrónový lúč) sú schopné materiál v mieste pôsobenia odpariť. Z tohto dôvodu je ich možné použiť okrem zvárania i na tepelné delenie materiálov, v závislosti od použitého tepelného príkonu.

Ak by sa použil na zváranie tenkých materiálov vysoký tepelný príkon, ich termofyzikálne vlastnosti a malá hrúbka materiálu by nestačili na dostatočné pohltenie privedeného tepla, materiály by sa nadmerne prehnali a namiesto zvaru by v materiály vznikli diery.

Ďalším faktorom je skupenské teplo tavenia zváraného materiálu, ktoré priamo ovplyvňuje množstvo tepla potrebného na jeho roztavenie. Kov s nízkou teplotou tavenia, ale s relatívne vysokým skupenským teplom tavenia môže spotrebovať na roztavenie väčšie množstvo energie ako kov s vysokou teplotou tavenia, ale malým skupenským teplom. Typickým príkladom je napr. porovnanie hliníka a uhlíkovej ocele.

Čas zotrvania na maximálnej teplote závisí od rovnováhy medzi tepelným príkonom a odvodom tepla do okolitého prostredia. V sledovanom mieste tepelný príkon pri zváraní najskôr prevažuje nad odvodom tepla do okolitého prostredia, ale pohybom zdroja tepla dochádza k postupnému prevládnutiu odvodu tepla, v dôsledku čoho zvarový kov začne tuhnúť a okolitý materiál sa začne ochladzovať. Čím je čas zotrvania na maximálnej teplote dlhší, tým je základný materiál ovplyvnený na väčšej vzdialenosti od miesta zvaru. Tepelne ovplyvnená oblasť je tá časť zvarového spoja, ktorej mikroštruktúra je ovplyvnená teplom pri vyhotovení zvarového spoja. Okrem toho je čas zotrvania nad určitou vysokou teplotou možné pokladať za mieru hrubnutia austenitického zrna. Čím je tento čas dlhší, tým je zrno hrubšie, čo sa negatívne prejavuje na mechanických vlastnostiach zvarového spoja. Z uvedených dôvodov je čas zotrvania na maximálnej teplote vhodné minimalizovať.

Rýchlosť ochladzovania súvisí, podobne ako rýchlosť ohrevu, s prenosom tepla, teplo z miesta zvaru sa do okolia prenáša konvekciou a radiáciou a vo zváraných materiáloch vedením tepla. Okrem toho sa na rýchlosti chladnutia podieľa výrazným spôsobom teplota základného materiálu pred zváraním, nazývaná predohrev. Použitím predohrevu je možné znížiť rýchlosť chladnutia (STU, 2010).

Rýchlosť chladnutia má okrem toho dôležitú úlohu pri ďalších dvoch procesoch:

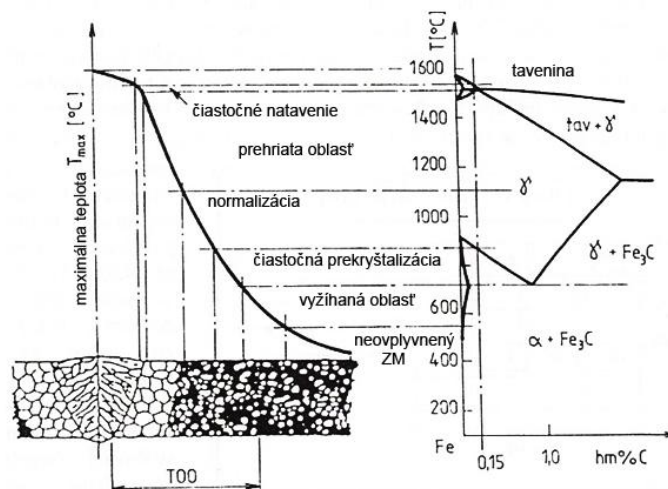
- procese štruktúrnej (polymorfnej) premeny,
- procese difúzie (najmä vodíka).

Čím je rýchlosť ochladzovania v oblasti transformačných teplôt vyššia, tým je väčšia pravdepodobnosť získania nerovnovážnych štruktúr (martenzit). Naopak, čím je menšia rýchlosť ochladzovania pri nižších teplotách (cca 300°C), tým je väčšia pravdepodobnosť difúzie vodíka z oblasti zvarového spoja (Foldyna, V. a kol., 1999).

Pri zváraní kovov bez polymorfnej premeny, (napr. Al, Cu, Ni) zostáva mikroštruktúra materiálu v TOO nezmenená, nastávajú iba subštruktúrne zmeny (rekryštalizácia, rast zŕn a pod.). V kovoch a zliatinách s polymorfnou premenou dochádza v TOO k výrazným štruktúrnym zmenám, ktoré majú vplyv na vlastnosti zvarových spojov.

TOO delíme na nasledovné oblasti (obrázok 12):

- oblasť vyhriata pod teplotu A_1 (oblasť rekryštalizačného žihania),
- oblasť vyhriata na rozmedzie teplôt A_1 a A_3 (oblasť neúplnej transformácie)
- oblasť vyhriata nad teplotu A_3 (oblasť normalizačného žihania),
- podhúsenicová oblasť (časť predchádzajúcej oblasti vyhriata nad kritické teploty rastu zŕn),
- prechodová oblasť do zvarového kovu.



Obr. 12

[Vplyv teplotného účinku zvárania na štruktúru zvarového spoja], (Foldyna, V. a kol., 1999)

Mikroštruktúrne zmeny v TOO závisia od chemického zloženia ocele, jej východiskovej mikroštruktúry, (dané tepelným spracovaním), od výšky teploty ovplyvnenia a rýchlosti ochladzovania (STU, 2010).

1.7.1 Vlastnosti TOO

Účinky tepelno-deformačného cyklu na vlastnosti zvarových spojov je možné charakterizovať takto:

- pokles pevnosti TOO iba u zušľachtených a termomechanicky spracovaných ocelí,
- zmäkčenie v oblasti vyhriatej tesne pod alebo nad A_1 (rekryštalizácia štruktúry, popustenie),
- v tepelnej oblasti nad A_3 : zhrubnutie austenitického zrna vedie k poklesu pevnosti, štruktúrne zmeny smerom k presýteným štruktúram (bainiticko-martenzitické) vedú naopak k výraznému spevneniu. Vo výsledných pevnostných vlastnostiach však preváži transformačné spevnenie (STU, 2010).

1.7.2 Húževnatosť TOO

Pevnostné spevnenie TOO nie je vážnejším problémom, čo nemožno povedať o húževnatosti. V súvislosti so zhrubnutím zrna pozorujeme najmä v podhúsenicovej zóne výraznejší pokles húževnatosti.

Jednou z možných ciest ako spomenuté zhrubnuté zrno zjemniť je normalizačné žihanie. Teplota žihania sa u podeutektoidných ocelí pohybuje 30 až 50 °C nad teplotou A_3 , čas výdrže na tejto teplote závisí na rozmeroch zvaru (STU, 2010).

1.8 Deformácie zvarkov

Nerovnomerný ohrev zváraných dielcov v dôsledku tepelného cyklu zvárania, ich tepelná rozťažnosť pri ohreve a zmršťovanie pri chladnutí spolu s tuhosťou ich upnutia a vznikom nerovnovážnych štruktúr v TOO spôsobujú vznik prechodných, premenných a trvalých napätí. Tieto napätia vedú k lokálnej alebo celkovej deformácii zvarkov.

Vzniknuté deformácie môžeme podľa ich polohy k zvaru rozdeliť nasledovne:

- pozdĺžne - vznikajú pozdĺžnym zmrštením zvarového kovu spoja pri tupých a kútových zvaroch a prejavujú sa skrátením dĺžky zvaru,
- priečne - vznikajú priečnym zmrštením zvarového kovu spoja pri tupých a kútových zvaroch a prejavujú sa skrátením šírky zvaru,
- uhlové - vznikajú rôznym priečnym zmrštením, v prípade tupých zvarov s uhlom rozovretia a kútových zvarov, pretože horné časti zvaru majú väčší rozmer a zmrstia sa viac ako dolné časti.

Problematika eliminácie zvyškových napätí je veľmi rozsiahla. Najčastejšie sa na ich zníženie používa žihanie na zníženie vnútorných napätí. Pri tomto spôsobe tepelného spracovania sa teplota volí čo najbližšie k teplote i , pretože zvyškové napätia sú tým menšie, čím je vyššia teplota žihania. Ocele sa žihajú pri teplote 500 až 650 °C, pričom nesmie nastať sferoidizácia perlitu, resp. grafitizácia cementitu.

Zníženie deformácií zvarov je možné aj vhodným technologickým návrhom zvaranej konštrukcie a s použitím limitovaného tepelného príkonu pri zváraní (STU, 2010).

2 Cieľ práce

Medzinárodná organizácia Miba Steeltec s.r.o. vyrába vysoko kvalitné a technologicky náročné komponenty strojov a zariadení. V súčasnosti je snahou organizácie redukovať vstupné náklady výroby a preto je potrebné vo výrobe navrhnuť takú technológiu zvarovania ocele HS 20 s vyšším obsahom mangánu, ktorá bude vhodnou technológiou vzhľadom na minimálne tepelné ovplyvnenie materiálu a dosiahnutie požadovaných kvalitatívnych parametrov zvarového spoja.

Cieľom mojej diplomovej práce je analyzovanie vplyvu tepla pri aplikácii rôznych technológií zvarovania na dosiahnutie kvalitného zvaru pri zvaraní mangánových ocelí.

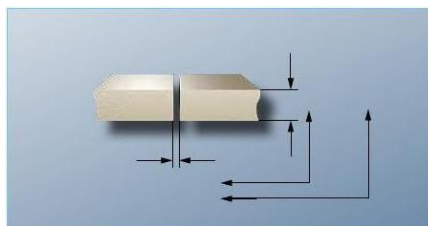
3 Metodika práce

K splneniu daného cieľa je potrebné:

- charakterizovať vstupné materiály,
- spracovať technológie zvarovania mangánových ocelí,
- určenie prídavného materiálu,
- určenie vstupných podmienok a parametrov zvarovania,
- sledovanie vplyvu tepla na kvalitu zvaru pri aplikácii rôznych technológií zvarovania,
- overenie kvality zvaru, podrobiť materiál skúškam:
 - vizuálna skúška po zvaraní,
 - kapilárna skúška po 24 hodinách po zvaraní,
 - röntgenová skúška,
 - skúška ťahom,
 - skúška lámavosti,
 - metalografická skúška,
 - skúška tvrdosti.
- vyhodnotenie dosiahnutých poznatkov vplyvu tepelného pôsobenia na kvalitu zvaru hodnotenú skúškami zvaru.

3.1 Výber základného a prídavného materiálu

Pre túto prácu sa zhotovovali I – zvary (obrázok 13) zo základného materiálu (plechu) s označením HS 20. HS 20 je konštrukčná mangánová oceľ podľa normy BS 1449-1.1:1991. Táto oceľ je náchylná na vznik studených trhlín. Hrúbka materiálu HS 20 je 3,30 mm. Certifikát ocele HS 20 je v prílohe 1. Chemické zloženie materiálu HS 20 (tabuľka 5):



Obr. 13

[I - zvar], (MatNet, 2006)

Tab. 5
[Chemické zloženie materiálu HS 20]

| | C | Si | Mn | P | S | Al |
|---------------------|----------|-----------|-----------|----------|----------|-----------|
| Min. (%) | 0,200 | 0,150 | 1,400 | - | - | 0,020 |
| Max. (%) | 0,250 | 0,300 | 1,700 | 0,025 | 0,025 | 0,050 |
| Výsledok (%) | 0,220 | 0,240 | 1,520 | 0,014 | 0,013 | 0,035 |

Mechanické vlastnosti materiálu HS 20 podľa normy BS 1449-1.1:1991:

- medza klzu $R_e = \text{min. } 340 \text{ MPa}$,
- medza pevnosti $R_m = \text{min. } 460 \text{ MPa}$,
- ťažnosť $A_5 = \text{min. } 18 \%$.

Prídavný materiál volíme podľa technológie zvárania. Ako prídavné materiály je potrebné použiť materiály podobného zloženia a vlastností ako základný materiál.

Pre technológiu TIG sme zvolili prídavný materiál podľa EN 1668: W 42 5 W3Si1 (SG 2 pre TIG) o priemere $d = 2,4 \text{ mm}$. Prídavný materiál W3Si1 patrí do skupiny nízkoalegovaných / strednealegovaných tyčiek. Používa sa na zváranie bežných konštrukcií z mäkkej ocele.

Pri zváraní technológiou MAG sme použili prídavný materiál podľa normy EN 440: G 46 4 M G3Si1 (SG 2 pre MAG) o priemere $d = 0,8 \text{ mm}$. Prídavný materiál G3Si1 je nepomedený plný drôt legovaný Mn-Si, typu G3Si1/ER70S-6 na MIG zváranie nelegovaných ocelí používaných na oceľové konštrukcie, automobilové súčiastky a tlakové nádoby.

Pre technológiu MMA sme zvolili dve elektródy ako prídavný materiál:

- EN ISO 2560-A: E 35 A RR (E-R 117) o priemere $d = 2,5 \text{ mm}$. Táto elektróda je najpoužívanejšia rutilová elektróda pre zváranie všetkých bežných konštrukčných nelegovaných ocelí o pevnosti do 480 MPa. Je vhodná pre zváranie tenkých plechov do hrúbky 3 mm.
- EN 1600: E 18 8 Mn R 53 (E 307-16) o priemere $d = 2,5 \text{ mm}$. Je to rutilbázická elektróda pre zváranie nelegovaných a nízkoalegovaných ocelí s vysokolegovanými ocelami a liatinami, pre austeniticko-feritické zváranie do pracovnej teploty $+300^\circ\text{C}$, na zváranie vysokouhlíkových ťažkozvariteľných ocelí a austenitických tvrdomanganových ocelí. Zváraný kov je austenit,

korozii vzdorný, odolný voči opalom do +850°C a vytvrditeľný za studena do tvrdosti 350 HB.

3.2 Výber technologických zariadení

Pre kvalitné vypracovanie práce je dôležitý výber vhodných technologických zariadení. Najdôležitejšou prioritou je sledovanie vplyvu tepla na kvalitu zvaru mangánových ocelí príslušnou technológiou.

Všetky I – zvary boli vyhotovené v dielenských priestoroch technickej fakulty Katedry kvality a strojárskych technológií SPU v Nitre. Zváračská dielňa je vhodne vybavená zváracími zariadeniami pre použité technológie zvarovania TIG, MAG a MMA.

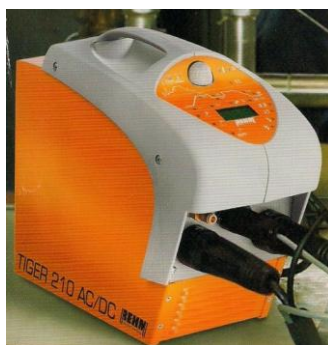
3.2.1 Technológia TIG

Zváranie I - zvarov technológiou TIG sa uskutočnilo zváracím zariadením od nemeckej firmy REHM.

Zariadenia TIGER 170/210 DC + AC/DC sú profesionálnym zdrojom. Technické parametre tohto zariadenia sú v tabuľke 5 v prílohe.

S týmto profesionálnym zdrojom je možné zvärať oceľové, nerezové, medené a hliníkové plechy o hrúbkach od 0,2 mm do 6 mm jednosmerným alebo striedavým prúdom. Zdroj TIGER zaisťuje najvyššiu možnú prevádzkovú spoľahlivosť a maximálnu výkonnosť.

V našom prípade sa použil zdroj TIGER 210 AC/DC (obrázok 14). Pri zváraní je potrebné nastaviť jednosmerný prúd I (A). Technické parametre zariadenia TIGER 210 AC/DC sú v prílohe 2.



Obr. 14
[TIGER 210 AC/DC]

3.2.2 Technológia MAG

Pre technológiu MAG sa použil zvärací agregát STEL HI-MIG 500P s podávačom drôtu STEL TOP 504-A (obrázok 15).



Obr. 15

[Zväracie zariadenie STEL HI-MIG 500P]

Technické parametre zariadenia STEL HI-MIG 500P sú v tabuľke 6.

Tab. 6

[Technické parametre zariadenia STEL HI-MIG 500P]

| | EN 60 974 - 1 | | |
|---------------|---------------------------|------|-----|
| | I - zvary | | |
| | 5 A / 20 V – 500 A / 40 V | | |
| Účinnosť (%) | 50 | 60 | 100 |
| Prúd I (A) | 500 | 470 | 400 |
| Napätie U (V) | 40 | 38,8 | 36 |

Pri zváraní technológiou MAG je potrebné nastaviť:

- podávacia rýchlosť drôtu v (m/min),
- napätie U (V),
- priemer drôtu d (mm).

Do zásobníka podávající drátu sa použil drôt o priemere 0,8 mm, ktorý bol privedený do horáka.

3.2.3 Technológia MMA

Pre technológiu ručného oblúkového zvarovania sa tak isto ako pri zvarovaní technológiou TIG použilo zariadenie TIGER 210 AC/DC (obrázok 14). Na zariadení je potrebné nastaviť jednosmerný alebo striedavý prúd I (A) podľa prídavného materiálu (elektrody).

3.3 Výber ochranných plynov

Pri zvarovaní metódou TIG a MMA bol použitý ochranný plyn argón, ktorý je vhodný pre zvarovanie nelegovaných konštrukčných ocelí. Spotreba argónu závisí od priemeru elektrody, priemeru horáka a prúdenia okolitej atmosféry. Prietok plynu 12 l.min⁻¹.

Pri zvarovaní metódou MAG sa použila dvojzložková zmes oxidu uhličitého a argónu v pomere 82 % Ar a 18 % CO₂ o prietoku 10 l.min⁻¹.

3.4 Výpočet tepelného príkonu zvarovania

Množstvo tepla vytvoreného zdrojom tepla sa pri oblúkovom zvarovaní vyjadruje tzv. tepelným príkonom Q . Tepelný príkon závisí od použitého zvaracieho prúdu, zvaracieho napätia, rýchlosti zvarovania a použitého spôsobu zvarovania. Vypočíta sa zo vzťahu (13):

$$Q = \eta \cdot \frac{U \cdot I}{v} \cdot 10^{-3} \quad (kJ/mm) \quad (13)$$

kde U je zvaracie napätie (V),

I – zvarací prúd (A),

v – rýchlosť zvarovania (mm/s)

η – súčiniteľ tepelnej účinnosti zvaracieho procesu.

Podľa EN 1011-1 sú hodnoty činiteľa η :

- $\eta = 0,8$ pre ručné oblúkové zvarovanie,
- $\eta = 0,8$ pre zvarovanie v plynovej ochrane MIG, MAG,
- $\eta = 0,6$ pre zvarovanie TIG a plazmové zvarovanie.

3.5 Skúšky zvarov

Všetky zvary pozvárané technológiami TIG, MAG a MMA boli podrobené:

- vizuálnej skúške (hneď po zvaraní a vychladnutí),
- kapilárnej skúške (po 24 hodinách po zvaraní),
- röntgenovej skúške,
- skúške ťahom,
- skúške lámavosti,
- metalografickej skúške,
- skúške tvrdosti.

3.5.1 Vizuálna skúška

Vizuálna skúška patrí medzi nedeštruktívne metódy. Vizuálnou skúškou sa zisťujú vonkajšie nepravidelnosti skúšaných objektov pomocou špeciálnych mierok. Skúška sa najčastejšie využíva pri kontrole zvarových spojov. Podmienkou skúšania je očistenie kontrolovaného objektu na kovovo čistý povrch bez okují, trosky, náterov a pod.

Vizuálna kontrola je najjednoduchší, účinný a lacný spôsob zisťovania povrchových chýb kontrolovaných objektov (SEPS, 2003).

3.5.2 Kapilárna skúška

Pri kapilárnej skúške, ktorá patrí tiež medzi nedeštruktívne skúšky, sa využíva vysoká vzĺnavosť a zmáčavosť kvapalín s nízkym povrchovým napätím tzv. penetrantov. Penetrant po aplikácii na suchý a odmastený povrch skúšaného materiálu, prenikne do necelistvostí. Po odstránení prebytku penetrantu sa naniesie indikačná látka, do ktorej vyvzlína penetrant z necelistvostí a tým zviditeľní danú necelistvosť. Môže sa

skúšať farebnou alebo fluorescenčnou metódou. Podmienkou kapilárneho skúšania je nenasiakavosť skúšaného povrchu. Kapilárnou skúškou sa zisťujú iba chyby ústiace na skúšobný povrch. Dá sa veľmi dobre využiť na jednoduchú kontrolu netesností (povrchových trhlín v základnom materiály, resp. zvaroch) za predpokladu možnosti prístupu k obidvom stranám povrchu skúšaného objektu (SEPS, 2003).

3.5.3 Röntgenová skúška

Prežarovanie umožňuje detekciu vnútorných nehomogenít materiálu. Využíva sa interferencia neviditeľného gama-žiarenia s hmotou, rozdielne zoslabenie intenzity vplyvom vnútorných nehomogenít a jeho následné zobrazenie na RTG film. Film sa fotochemicky spracuje mokrou cestou, a preto treba počítať s časovou rezervou na vyvolanie a usušenie snímku a následné vyhodnotenie prežarovanej oblasti. Pri prežarovaní je potrebný prístup ku kontrolovanej časti z dvoch protiľahlých strán (SEPS, 2003).

3.5.4 Skúška ťahom

Predstavuje základnú skúšku používanú k overovaniu pevnostných a plastických charakteristík. Princíp skúšky spočíva v použití normalizovanej tyče kruhového prierezu. V prípade skúšania plechu sa používa plochá tyč, ktorá má hlavu pre uchytenie v skúšobnom trhacom stroji. V skúšobnom stroji dochádza za definovaných podmienok (teplota, rýchlosť, deformácia) k naťahovaniu skúšobnej tyče od nulového zaťaženia až po okamih prerušenia tyče. Z nameraných hodnôt môžeme stanoviť medzné charakteristiky materiálu – napät'ové a deformačné – pomerné zmeny rozmerových parametrov tyče. Môžeme stanoviť aj dôležité charakteristiky v elastickej a plastickej oblasti správania sa materiálu.

Zo záznamu a vyhodnotenia ťahovej skúšky získame nasledovné mechanické charakteristiky:

- medza klzu R_e , konvenciou definovaná ako pomer sily na medzi klzu F_e a počiatočného prierezu tyče S_0 :

$$R_e = \frac{F_e}{S_0} \quad (MPa), \quad (14)$$

- medza pevnosti R_m , konvenciou definovaná ako pomer maximálnej sily pri skúške F_m a počiatočného prierezu tyče S_0 :

$$R_m = \frac{F_m}{S_0} \quad (MPa). \quad (15)$$

Medza klzu a pevnosti sú charakteristiky napät'ové, zistené z grafického (alebo digitálneho) záznamu ťahovej skúšky. Zaznamenávame obvykle závislosť sila – čas ($F - t$) alebo sila – posunutie upínacích čeľustí stroja ($F - \Delta L_C$) (Brziak, P. a kol., 2003).

3.5.5 Skúška lámavosti

Skúška slúži na stanovenie schopnosti kovových materiálov plasticky sa deformovať pri zaťažovaní ohybom. Podstatou skúšky materiálu alebo zvarového spoja je ohybová deformácia skúšobného telesa pomocou zaťažovacieho tŕňa až do predpísaného uhla ohybu alebo do objavenia necelistvostí viditeľných bez zväčšenia (STN ISO 7438).

Hrúbka skúšobného telesa je rovná hrúbke skúšaného výrobku. Pri hrúbkach výrobku väčších ako 25 mm sa hrúbka skúšobného telesa zmenší opracovaním na 25 mm. Neopracovaná plocha je pri ohýbaní na ťahanej strane. Hrany telesa na ťahanej strane sú zaoblené s polomerom do jednej desatiny hrúbky telesa. Skúška plechov a pásov s hrúbkou menšou ako 3 mm sa môže vykonávať striedavým ohybom (STN EN ISO 7799).

Skúšobná tyč zo zvarového spoja môže byť odobraná v priečnom alebo pozdĺžnom smere vzhľadom k osi zvaru. Skúšaná časť zvaru je pri ohýbaní na ťahanej strane. Povrchy skúšobnej tyče sa mechanicky opracujú tak, aby sa odstránil nadbytočný zvarový kov. Zvar sa skúša z koreňovej (RBB) alebo líčnej strany (FBB), priečne zvary väčších hrúbok možno skúšať bočným ohybom (SBB).

Ohýbanie sa vykoná na valcových podperách s priemerom do 50 mm, rovnomernou rýchlosťou, zaťažovacím tŕňom predpísaného priemeru D . Vzdialenosť podpier L má byť:

$$L = (D + 3a) + \frac{a}{2} \quad (16)$$

Podmienky deformácie pri skúške sú dané pomerom medzi hrúbkou a skúšobného telesa a priemerom zaťažovacieho tŕňa D . Pomer D/a zodpovedá požiadavkám príslušnej normy na výrobok, resp. zvarový spoj. Počas skúšky sa sleduje ťahaná strana

tyče. Zaťažovanie sa ukončí, ak sa dosiahne predpísaný uhol ohybu alebo sa zistí makroskopický defekt (pór, trhlina väčšia ako 3 mm), pre ktorý sa ako výsledok skúšky uvedie dosiahnutý uhol ohybu.

Na získanie informácií o druhoch, rozmeroch a rozložení možných vnútorných chýb na lomovej ploche zvaru (dutiny, trhliny, studené spoje, neprievary, vtrúseniny) a posúdenie úrovne kvality zvaru možno použiť skúšku rozlomením (STN EN 1320).

Rozlomeniu zvarov možno napomôcť zhotovením vrubov vo zvare. Podľa použitia skúšobnej tyče sa rozlomenie vykoná ťahom, tlakom alebo rázmi (Brziak, P. a kol., 2003).

3.5.6 Metalografická skúška

V súčasnosti existuje veľa metód, ktorými je možné získať údaje o stave štruktúry na makroskopickej a mikroskopickej úrovni. Tieto metódy rozdeľujeme na dve základné skupiny:

- Priame metódy, ktoré poskytujú bezprostredný obraz štruktúry na vhodne pripravenom rovinnom reze alebo na lomovej ploche. Ide o svetelnú alebo elektrónovú mikroskopiu.
- Nepriame metódy, ktoré sú založené na využití rôznych fyzikálnych princípoch. Predstava o štruktúre a jej vlastnostiach sa získava pomocou nameraných hodnôt fyzikálnych vlastností, ktorým je možné priradiť nejaký štruktúrny parameter (difrakčné metódy, chemická mikroanalýza) (Brziak, P. a kol., 2003)

3.5.6.1 Makroskopická analýza

Patrí medzi pozorovacie metódy. Je založená na pozorovaní vzorky voľným okom alebo mikroskopicky pri malých zväčšeniach. Táto analýza je zameraná na:

- pozorovanie chýb materiálu,
- pozorovanie chemickej nerovnorodosti,
- pozorovanie makroštruktúry základného materiálu a jeho zvarových spojov,
- pozorovanie vzhľadu lomových plôch a stavu povrchov materiálu (Brziak, P. a kol., 2003).

3.5.6.2 Mikroskopická analýza

Mikroskopická analýza pomocou svetelných mikroskopov je veľmi častým spôsobom hodnotenia štruktúry kovov a zliatin. Jej podstatou je pozorovanie mikroštruktúry na pripravenom metalografickom výbruse. Na základe tejto analýzy je možné odhadnúť vlastnosti materiálov v závislosti od ich chemického zloženia a tepelného spracovania. Pomocou tejto analýzy je možné získať tieto údaje:

- štruktúrny stav materiálu a jeho približné chemické zloženie,
- veľkosť, tvar a rozloženie jednotlivých štruktúrnych zložiek,
- odmiešanie prvkov,
- čistota materiálu, druh a množstvo vylúčených prímiesok,
- vhodnosť materiálu pre daný účel, stav tepelného spracovania, príčiny poškodenia (Brziak, P. a kol., 2003).

3.5.7 Skúška tvrdosti

Skúška tvrdosti patrí k základným skúškam mechanických vlastností. Princípom tejto skúšky je registrácia odporu materiálu proti statickému alebo dynamickému vnikaniu cudzieho telesa.

Vzorky sa podrobili skúške tvrdosti podľa Vickersa – HV. Pri skúške sa použil diamantový štvorboký ihlan s vrcholovým uhlom 136 °. Tvrdosť je hodnotená podľa strednej uhlopriečky odtlačku. Bežné zaťaženie je 294 N po dobu max. 15 s (Foldyna, V. a kol., 1999).

Výpočet Vickersovej tvrdosti je podľa vzorca:

$$HV = 0,189 \cdot \frac{F}{u^2} \quad (17)$$

kde F je sila (N)

u – stredná uhlopriečka odtlačku (mm).

Táto skúška sa používa pri hodnotení materiálu vyšších pevností. Podľa normy STN EN 1043-1 je pre meranie tvrdosti vo zvarových spojoch predpísaná skúška HV 10.

4 Výsledky práce

4.1 Návrh technologických parametrov zvarovania

4.1.1 Stanovenie parametrov pre TIG

Pri zvarovaní materiálu HS 20 sme použili medenú podložku so žliabkom. Ako druh zvaru sme zvolili I – zvar, ktorý bol prevýšený (zvarovanie dvomi vrstvami) kvôli kvalite zvaru a dobre prevarenému koreňu. Zvárali sme jednosmerným prúdom s priamou polaritou. Prídavným materiálom pri zvarovaní technológiou TIG bol drôt s označením EN 1668: W 42 5 W3Si1 (SG 2 pre TIG) o priemere $d = 2,4$ mm, ktorého popis je v tabuľke 7.

Tab. 7

[Popis prídavného materiálu pre TIG]

| | |
|---|--|
| Klasifikácia | EN 1668: W 42 5 W3Si1 |
| Popis | Plný drôt alebo tyčka na zvarovanie bežných konštrukcií z mäkkej ocele. Hladký vzhľad zvarovej húsenice. Stabilný oblúk a výborná podávatelnosť. |
| Ochranné plyny (podľa EN 439) | Inertný plyn Ar (100 %) |
| Chemické zloženie typické pre drôt | C = 0,08 %, Mn = 0,9 %, Si = 0,6 % |
| Mechanické vlastnosti, typické pre čistý zvarový kov | Pevnosť klzu $R_e = 460$ N/mm ² Pevnosť v ťahu $R_m = 580$ N/mm ² Ťažnosť A = 26 % |

Pri zvarovaní technológiou TIG sme na zvaracom zariadení TIGER 210 AC/DC nastavovali prúd I (A) a ostatné parametre boli automaticky nastavené podľa veľkosti prúdu. V tabuľke 8 sú parametre zvarovania technológiou TIG.

Tab. 8

[Parametre zvarovania technológiou TIG]

| | Poloha zvarovania | Smer zvarovania | Koreňová medzera y (mm) | Uhol sklonu α (°) | Čas zvarovania t (s) | Rýchlosť zvarovania v (mm/s) | Napätie U (V) | Prúd I (A) |
|------------|--------------------------|------------------------|--------------------------------|--|-----------------------------|-------------------------------------|----------------------|-------------------|
| TIG | vodorovná | dopredu | 2,5 | 45 | 240 | 0,7 | 28 | 80 |

Na základe nastavených a nameraných parametrov sme vypočítali tepelný príkon Q podľa vzťahu (13) pre technológiu TIG:

$$Q = \eta \cdot \frac{U \cdot I}{v} \cdot 10^{-3} \quad (kJ/mm)$$

$$Q = 0,6 \cdot \frac{28 \cdot 80}{0,7} \cdot 10^{-3} \quad (kJ/mm)$$

$$Q = 1,92 \text{ kJ/mm}$$

4.1.2 Stanovenie parametrov pre MAG

Pri zváraní technológiou MAG sme postupovali ako pri zváraní technológiou TIG. Ako prídavný materiál sme zvolili drôt EN 440: G 46 4 M G3Si1 (SG 2 pre MAG) o priemere 0,8 mm, ktorého popis je v tabuľke 9.

Tab. 9

[Popis prídavného materiálu pre MAG]

| | |
|---|---|
| Klasifikácia | EN 440: G 46 4 M G3Si1 |
| Popis | Plný drôt alebo tyčka na zváranie bežných konštrukcií z mäkkej ocele. Hladký vzhľad zvarovej húsenice. Stabilný oblúk a výborná podávatel'nosť. |
| Ochranné plyny (podľa EN 439) | Zmesný plyn Ar+ >5-25% CO ₂ Aktívny plyn 100 % CO ₂ |
| Chemické zloženie typické pre drôt | C = 0,08 %, Mn = 0,9 %, Si = 0,6 % |
| Mechanické vlastnosti, typické pre čistý zvarový kov | Pevnosť klzu $R_e = 520 \text{ N/mm}^2$ Pevnosť v ťahu $R_m = 600 \text{ N/mm}^2$ Ťažnosť A = 25 % |

Pre zváranie technológiou MAG zväracím zariadením STEL HI-MIG 500P sme nastavovali napätie U (V) a podávaciu rýchlosť drôtu v (m/min). Na základe týchto nastavených parametrov sme odčítali veľkosť prúdu I (A).

Nastavené a namerané parametre zvárania pre technológiu MAG sú v tabuľke 10.

Tab. 10**[Parametre zvarania technológiou MAG]**

| | Poloha zvarania | Smer zvarania | Koreňová medzera y (mm) | Uhol sklonu α (°) | Podávacia rýchlosť drôtu v_d (m/min) | Čas zvarania t (s) | Napätie U (V) | Prúd I (A) | Rýchlosť zvarania v (mm/s) |
|------------|-----------------|---------------|---------------------------|--------------------------|--|----------------------|-----------------|--------------|------------------------------|
| MAG | vodorovná | dopredu | 4 | 45 | 2,8 | 240 | 17,9 | 50 | 0,7 |

Na základe nastavených a nameraných parametrov sme vypočítali tepelný príkon Q podľa vzťahu (13). Pre zvaranie technológiou MAG je hodnota tepelného príkonu $Q = 1,02$ kJ/mm.

4.1.3 Stanovenie parametrov pre MMA

Vzhľadom na obtiažne zvaraný materiál sme pri technológii MMA použili ako prídavný materiál dve elektródy:

- EN ISO 2560-A: E 35 A RR (E-R 117) o priemere $d = 2,5$ mm,
- EN 1600: E 18 8 Mn R 53 (E 307-16) o priemere $d = 2,5$ mm.

Elektróda E 307-16 je kvalitnejšia a v technickej praxi sa používa väčšinou na spájanie rôznorodých materiálov, ale aj austenitických tvrdomangánových materiálov. Vzhľadom na náš materiál (mangánová oceľ) sme použili aj túto elektródu.

Pre ručné oblúkové zvaranie sme použili zvaracie zariadenie TIGER 210 AC/DC. Postupovali sme podobne ako pri zvaraní TIG. Parametre pre zvaranie MMA rutilovou elektródou E-R 117 sú v tabuľke 11. Zvárali sme jednosmerným prúdom s priamou polaritou.

Tab. 11**[Parametre zvarania technológiou MMA elektródou E-R 117]**

| | Poloha zvarania | Smer zvarania | Koreňová medzera y (mm) | Uhol sklonu α (°) | Čas zvarania t (s) | Rýchlosť zvarania v (mm/s) | Napätie U (V) | Prúd I (A) |
|------------|-----------------|---------------|---------------------------|--------------------------|----------------------|------------------------------|-----------------|--------------|
| MMA | vodorovná | dopredu | 3,2 | 45 | 127 | 1,3 | 28 | 80 |

Tepelný príkon Q sme vypočítali podľa vzťahu (13). Pre ručné oblúkové zvaranie elektródou E-R 117 je hodnota $Q = 1,38$ kJ/mm.

Parametre pre zváranie MMA rutilbázickou elektródou E 307-16 je v tabuľke 12. Zvárali sme striedavým prúdom.

Tab. 12

[Parametre zvárania technológiou MMA elektródou E 307-16]

| | Poloha zvárania | Smer zvárania | Koreňová medzera y (mm) | Uhol sklonu α (°) | Čas zvárania t (s) | Rýchlosť zvárania v (mm/s) | Napätie U (V) | Prúd I (A) |
|-----|-----------------|---------------|---------------------------|--------------------------|----------------------|------------------------------|-----------------|--------------|
| MMA | vodorovná | dopredu | 3,2 | 45 | 146 | 1,2 | 23 | 75 |

Tepelný príkon sme vypočítali podľa vzťahu (13). Pre zváranie technológiou MMA elektródou E 307-16 je hodnota $Q = 1,15$ kJ/mm.

4.2 Vizuálna kontrola zvarov

Vizuálna skúška bola vykonaná a vyhodnotená podľa normy EN ISO 5817 Trieda „B“ na všetkých vzorkách zvarov. Na kontrolu sme použili lupu, pravítko, Cambridge mierku a lampu pri intenzite osvetlenia 1200 luxov.

Na zware technológiou TIG neboli zistené žiadne trhliny a póry. Koreň bol dokonale prevarený (obrázok 16).

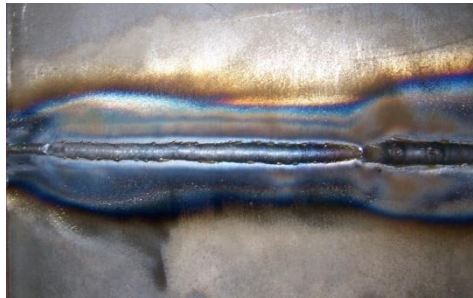
Techniku zvárania sme volili tak, aby deformácie boli čo najmenšie. Vzhľadom na hrúbku plechu (3,3 mm) sme sa nevyhli deformácii. Plechy materiálu HS 20 sa zvlhli vplyvom tepla pri zváraní.



Obr. 16

[Zvar technológiou TIG]

Pri technológii MAG boli na začiatku zvaru viditeľné póry. Koreň bol dobre prevarený. Tak isto ako pri technológii TIG, aj v tomto prípade sme sa nevyhli viditeľnej deformácii plechov. Prevýšenie zvaru nebolo rovnomerné v porovnaní s technológiou TIG (obrázok 17).

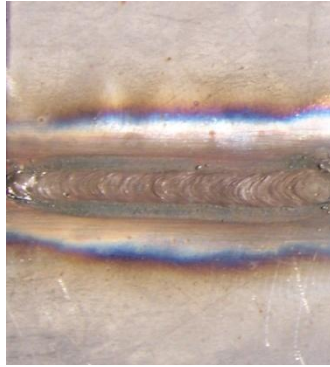


Obr. 17
[Zvar technológiou MAG]

Zváranie technológiou MMA bolo obtiažne, čo sa prejavilo aj na kvalite zvaru. Po celej dĺžke zvaru elektródou E-R 117 boli viditeľné póry a koreň nebol prevarený (obrázok 18). Pri zváraní elektródou E 307-16 bol koreň dobre prevarený, ale na zvare boli viditeľné póry (obrázok 19). Deformácia plechov bola v tomto prípade najväčšia.



Obr. 18
[Zvar technológiou MMA elektródou E-R 117]



Obr. 19

[Zvar technológiou MMA elektródou E 307-16]

4.3 Kapilárna skúška zvarov

Kapilárna skúška bola vykonaná podľa normy EN ISO 3452-2 pre zisťovanie povrchových trhlín za pomoci penetrantu metódou TEST-70-9802 pri teplote povrchu 18 °C. Penetračný čas bol 15 minút a potom bola nanosená detekčná látka na ďalších 5 minút, ktorá zobrazila na povrchu zvaru chyby.

Kapilárnej skúške boli podrobené zvary technológie TIG a MAG, lebo zvar technológiou MMA bol už vizuálnou skúškou vyhodnotený ako nevyhovujúci.

Na povrchu zvarov TIG a MAG boli kapilárnou skúškou zistené povrchové trhliny a preto boli zvary vyhodnotené ako neakceptovateľné. Protokol z kapilárnej skúšky pre technológiu TIG je v prílohe 3 a technológiu MAG v prílohe 4.

4.4 Röntgenová skúška zvarov

Prežarováním sme zisťovali vnútorné nehomogenity materiálu. Na výsledné zobrazenie chýb zvarov sme použili RTG - film. Röntgenová skúška zvarov bola vyhodnotená podľa normy EN 12517/1.

Zvar technológiou TIG sme rozdelili na tri oblasti (1,2,3). Na začiatku zvaru technológie TIG bola po premietnutí RTG - filmu viditeľná v oblasti 1 dutina. V oblasti 3 sme videli zápaly, ktoré sa prejavili stmavnutím zvaru. RTG - film technológie TIG je na obrázku 20. Protokol o skúške prežiarením zvaru technológie TIG je v prílohe 5.



Obr. 20

[RTG – film technológie TIG]

Zvar technológie MAG sme tiež rozdelili na tri oblasti (4,5,6), na ktorých sme prostredníctvom RTG – filmu videli chyby zvaru. Protokol o skúške prežiarením zvaru technológie MAG je v prílohe 6. V oblasti 4 boli viditeľné póry a studený spoj. Tieto chyby sú zobrazené na obrázku 21. Oblasť tohto zvaru nevyhovuje podľa normy EN 12517/1.



Obr. 21

[Oblasť 4 technológie MAG]

V oblasti 5 bola viditeľná nenatavená hrana, ale ďalej bol zvar v poriadku (obrázok 22).



Obr. 22

[Oblasť 5 technológie MAG]

V oblasti 6 podobne ako v oblasti 5 nevyhovuje zvar podľa EN 12517/1. V tejto oblasti je vidieť studený spoj, nenatavená hrana a prevýšenie zvaru je v tomto prípade vyššie ako v oblastiach 4 a 5 (obrázok 23).



Obr. 23

[Oblasť 6 technológie MAG]

Zvar technológie MMA sme nepodrobili röntgenovej skúške z dôvodu vynaložených nákladov a náročnosti. Už vizuálnou kontrolou sme zistili nevhodnosť zvaru. Zvar použitím elektródy E-R 117 nemal dobre prevarený koreň, vo zvare bolo veľa pórov a trhlín. Prevýšenie zvaru bolo nedostatočné.

Zvar elektródou E 307-16 mal dobre prevarený koreň, ale boli tam viditeľné póry a trhliny.

4.5 Návrh rezania vzoriek

Pred narezaním som vypracovala rezací plán, ktorý je v prílohe 7. Rezanie vzoriek bolo potrebné pre skúšku ťahom a skúšku lámavosti.

Rozmery vzoriek:

- dĺžka 250 mm,
- šírka 25 mm,
- hrúbka 3,3 mm.

Pozváraný materiál sme narezali pílou PILOUS ARG 220 Plus, ktorá je na obrázku 24.



Obr. 24

[PILOUS ARG 220 Plus]

4.6 Skúška ťahom

Táto skúška je základnou skúškou používanou k overovaniu pevnostných a plastických charakteristík.

Skúškou ťahom sme zistili napäťovú charakteristiku – medzu pevnosti R_m v MPa. Skúška ťahom bola vykonaná podľa normy STN EN 895 strojom typu EU 40. Z každej technológie zvarovania sme použili dve vzorky na skúšku ťahom. Namerané hodnoty sú v tabuľke 13. Výsledok skúšky ťahom pre vzorku 822-12 TIG je na obrázku 25.

Tab. 13

[Výsledky z mechanickej skúšky ťahom]

| Číslo vzorky | F_m (kN) | R_m (MPa) | Miesto pretrhnutia | Hodnotenie |
|-------------------|---------------|----------------|-----------------------|------------|
| 822-1 E 307-16 | 37,25 | 501 | /ZV/ | vyhovuje |
| 822-6 E-R 117 | 43,51 | 582 | /ZM/ | vyhovuje |
| 822-11 TIG | 45,84 | 589 | /ZM/ | vyhovuje |
| 822-12 TIG | 45,24 | 567 | /ZM/ | vyhovuje |
| 822-14 MAG | 44,88 | 575 | /ZM/ | vyhovuje |
| 822-15 MAG | 44,32 | 583 | /ZM/ | vyhovuje |



Obr. 25
[Vzorka 822-12 TIG]

Namerané hodnoty medze pevnosti R_m (MPa) sme porovnávali s hodnotou, ktorá bola stanovená normou BS 1449-1.1:1991. Medza pevnosti podľa normy: $R_m = \min. 460$ MPa. Všetky namerané hodnoty sú väčšie ako 460 MPa a z toho vyplýva, že vzorky zvarov vyhovujú danej norme. Protokol o výsledkoch skúšky ťahom je v prílohe 8.

4.7 Skúška lámavosti

Podstatou skúšky zvarového spoja je ohybová deformácia skúšobného telesa pomocou zaťažovacieho tŕňa až do predpísaného uhla ohybu alebo do objavenia necelistvostí viditeľných bez zväčšenia (STN ISO 7438).

Skúška lámavosti bola vykonaná podľa normy STN EN 910 strojom typu EU 100. Na skúšku lámavosti sme vybrali z každej technológie zvarovania dve vzorky zvarov. Zvary sme skúšali z koreňovej strany (RBB). Hodnoty zo skúšky sú v tabuľke 14. Výsledok skúšky lámavosti pre vzorku 822-9 TIG je na obrázku 26.

Tab. 14**[Výsledky z mechanickej skúšky lámavosti]**

| Číslo vzorky | Strana zvaru | Uhol ohybu α (°) | Priemer ϕ (mm) | Hodnotenie |
|-------------------|--------------|----------------------------|------------------------|------------|
| 822-2 E 307-16 | RBB | 180 ° | 15 | nevyhovuje |
| 822-5 E-R 117 | RBB | 180 ° | 15 | nevyhovuje |
| 822-8 TIG | RBB | 180 ° | 15 | vyhovuje |
| 822-9 TIG | RBB | 180 ° | 15 | vyhovuje |
| 822-17 MAG | RBB | 180 ° | 15 | vyhovuje |
| 822-18 MAG | RBB | 180 ° | 15 | vyhovuje |

**Obr. 26****[Vzorka 822-9 TIG]**

Hodnoty stanovené normou sú:

- uhol ohybu $\alpha = 180^\circ$,
- priemer zaťažovacieho trňa $\phi = 15$ mm.

Zvar elektródou E 307-16 nevyhovuje, lebo vzorka praskla pri uhle $\alpha = 120^\circ$. Tento zvar sme už vo vizuálnej skúške vyhodnotili ako nevyhovujúci, lebo zvar nebol kvalitný z dôvodu veľkého výskytu pórov.

Zvar elektródou E-R 117 je tiež nevyhovujúci, pretože sa pri skúšaní objavili trhliny dlhé 5 – 8 mm. Zvar touto elektródou je tiež nekvalitný a aj v tomto prípade sme vyhodnotili už vizuálnou skúškou nevhodnosť zvaru.

Materiál HS 20 je ťažko zvariteľný z dôvodu vysokého obsahu mangánu. Technológia MMA sa ukázala ako nevhodná na zváranie mangánových ocelí.

Zvary technológie TIG a MAG sa ukázali ako vyhovujúce. Neboli objavené žiadne trhliny a necelistvosti viditeľné bez zväčšenia. Protokol o skúške lámavosti je v prílohe 9.

4.8 Metalografická skúška

Metalografickou skúškou sa pozorovala makroštruktúra a mikroštruktúra základného materiálu HS 20, tepelne ovplyvnenej oblasti a zvarového kovu pri zváraní technológiami MMA, TIG a MAG.

Makroskopická a mikroskopická analýza boli vykonané podľa normy EN 1321. Na sledovanie mikroštruktúry sa použil mikroskop Neophot 2.

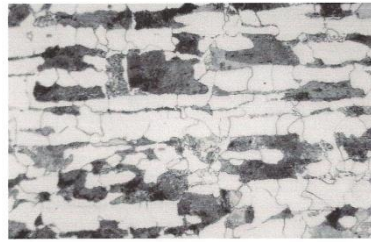
4.8.1 Zvar technológie MMA elektródou E 307-16

Na vzorke 822-4 neboli makroštruktúrnym rozborom zistené trhliny, póry, studené spoje, neprievary a prímiesky. Prevýšenie zvarovej húsenice je 1,5 mm a pretečenie koreňa 2,7 mm. Makroštruktúra vzorky 822-4 v mierke 2:1 je na obrázku 27.



Obr. 27
[Makroštruktúra 822-4]

Mikroštruktúra základného materiálu je riadkovitá, tvorená feritom a lamelárnym perlitom (obrázok 28 v mierke 500:1).



Obr. 28

[Mikroštruktúra základného materiálu 822-4]

Mikroštruktúra tepelne ovplyvnenej oblasti je tvorená bainitom (obrázok 29 v mierke 500:1).



Obr. 29

[Mikroštruktúra TOO 822-4]

Mikroštruktúra zvarového kovu je tvorená austenitom a feritom (obrázok 30 v mierke 500:1).



Obr. 30

[Mikroštruktúra zvarového kovu 822-4]

4.8.2 Zvar technológie MMA elektródou E-R 117

Makroštruktúrnym rozborom neboli zistené na vzorke 822-7 trhliny, póry, studené spoje a prímiesky (obrázok 31 v mierke 2:1).



Obr. 31

[Makroštruktúra 822-7]

Mikroštruktúra základného materiálu je riadkovitá, tvorená feritom a lamelárnym perlitom (obrázok 32 v mierke 500:1).



Obr. 32

[Mikroštruktúra základného materiálu 822-7]

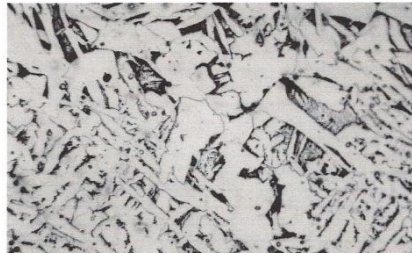
Mikroštruktúra tepelne ovplyvnenej oblasti je tvorená prevažne bainitom (obrázok 33 v mierke 500:1).



Obr. 33

[Mikroštruktúra TOO 822-7]

Mikroštruktúra zvarového kovu je tvorená feritom a acikulárnym feritom (obrázok 34 v mierke 500:1).



Obr. 34

[Mikroštruktúra zvarového kovu 822-7]

4.8.3 Zvar technológie TIG

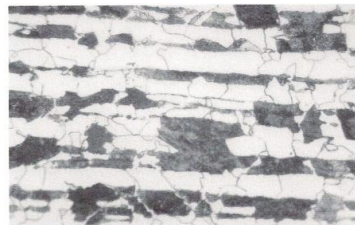
Metalografickej skúške bola podrobená vzorka 822-10. Makroštruktúrnym rozborom neboli zistené trhliny, póry, studené spoje, neprievary a prímiesky (obrázok 35 v mierke 2:1). Prevýšenie zvarovej húsenice v tomto prípade nie je a pretečenie koreňa je 1,3 mm.



Obr. 35

[Makroštruktúra 822-10]

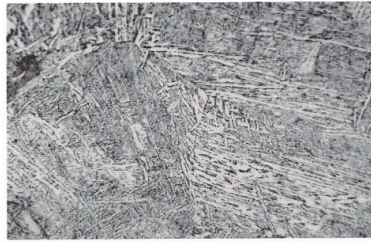
Mikroštruktúra základného materiálu je riadkovitá, tvorená feritom a lamelárnym perlitom (obrázok 36 v mierke 500:1).



Obr. 36

[Mikroštruktúra základného materiálu 822-10]

Mikroštruktúra TOO je tvorená prevažne bainitom (obrázok 37 v mierke 500:1).



Obr. 37

[Mikroštruktúra TOO 822-10]

Mikroštruktúra zvarového kovu je tvorená feritom a acikulárnym feritom (obrázok 38 v mierke 500:1).



Obr. 38

[Mikroštruktúra kovu 822-10]

4.8.4 Zvar technológie MAG

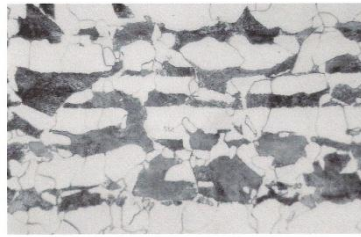
Metalografickej skúške bola podrobená vzorka 822-16. Makroštruktúrnym rozborom neboli zistené trhliny, póry, studené spoje, neprievary a prímiesky (obrázok 39 v mierke 2:1). Prevýšenie zvarovej húsenice je v tomto prípade 0,3 mm a pretečenie koreňa 1,4 mm.



Obr. 39

[Makroštruktúra 822-16]

Mikroštruktúra základného materiálu je riadkovitá, tvorená feritom a lamelárnym perlitom (obrázok 40 v mierke 500:1).



Obr. 40

[Mikroštruktúra základného materiálu 822-16]

Mikroštruktúra TOO je tvorená prevažne bainitom (obrázok 41 v mierke 500:1).



Obr. 41

[Mikroštruktúra TOO 822-16]

Mikroštruktúra zvarového kovu je tvorená feritom a acikulárnym feritom (obrázok 42 v mierke 500:1).



Obr. 42

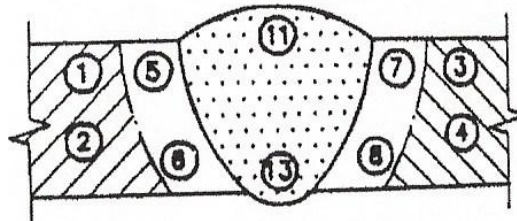
[Mikroštruktúra zvarového kovu 822-16]

4.9 Skúška tvrdosti

Skúška tvrdosti podľa VICKERSA bola vykonaná podľa normy STN EN 1043-1 na stroji typu ZWICK na všetkých I – zvaroch.

Odtlačok ihlanu bol vykonaný na každom mieste 3 – krát, z čoho bola vyjadrená priemerná hodnota tvrdosti pre dané miesto odtlačku.

Miesta odtlačku som zoradila do línie I, ktorá obsahuje body 1, 5, 11, 7, 3. Miesto odtlačku s označením 11 udáva hodnotu tvrdosti vo zvarovom kove. Na obrázku 43 sú vyznačené miesta vpichov na I – zvare.



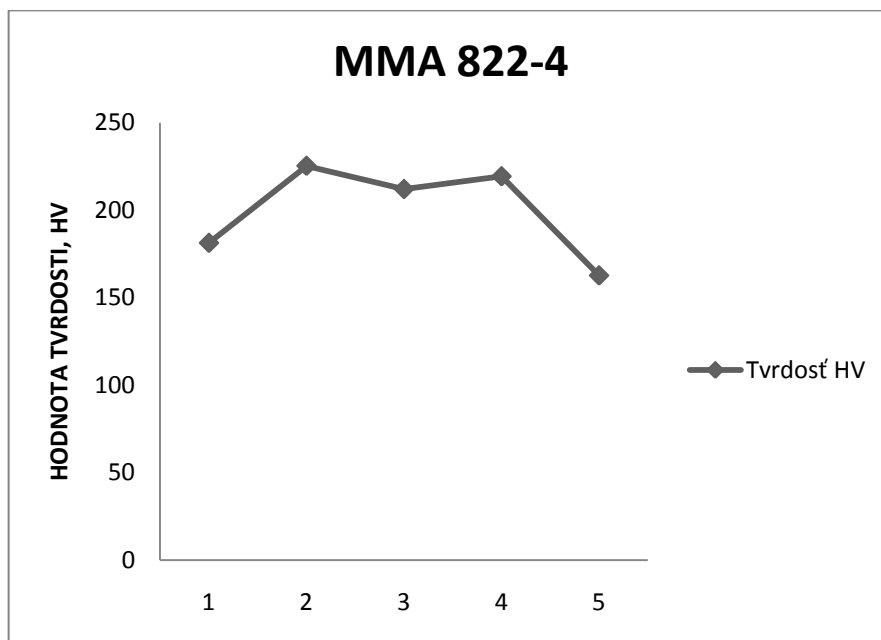
Obr. 43

[Miesta merania tvrdosti podľa Vickersa]

V tabuľke 15 sú namerané hodnoty tvrdosti podľa Vickersa pre technológiu MMA elektródou E 307-16 a na obrázku 44 je grafické zobrazenie tvrdosti vzorky MMA E 307-16 (822-4).

Tab. 15
[Namerané hodnoty tvrdosti]

| MMA E 307-16 (822-4) | | | | | |
|-----------------------------|-------|-------|------------|-------|-------|
| Línia I. | 1 | 5 | 11 | 7 | 3 |
| Tvrdosť HV | 181,3 | 225,3 | 212 | 219,3 | 162,7 |

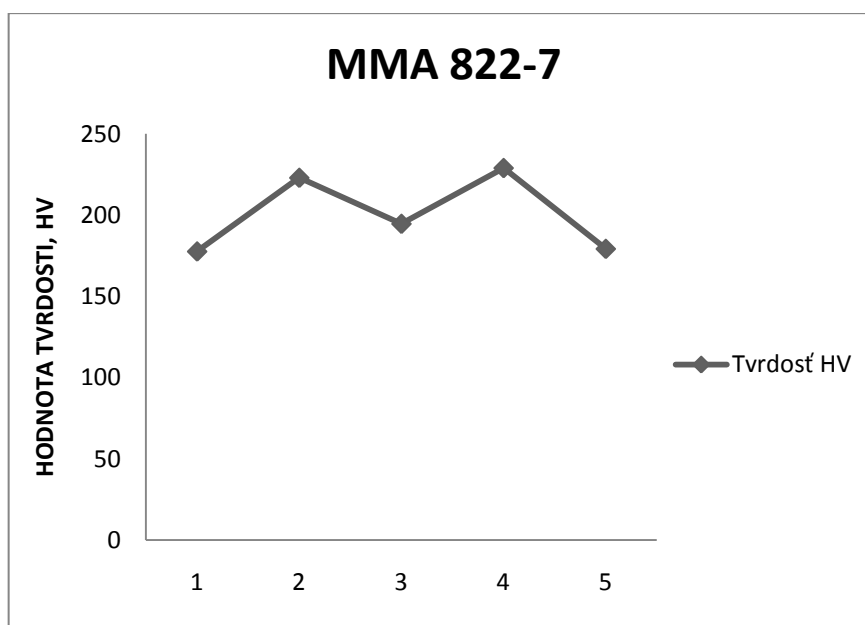


Obr. 44
[Grafické zobrazenie tvrdosti vzorky MMA 822-4]

Namerané hodnoty tvrdosti pre technológiu MMA elektródou E-R 117 sú v tabuľke 16 a grafické zobrazenie je na obrázku 45.

Tab. 16
[Namerané hodnoty tvrdosti]

| MMA E-R 117 (822-7) | | | | | |
|----------------------------|-------|-----|--------------|-----|-------|
| Línia I. | 1 | 5 | 11 | 7 | 3 |
| Tvrdosť HV | 177,7 | 223 | 194,7 | 229 | 179,3 |

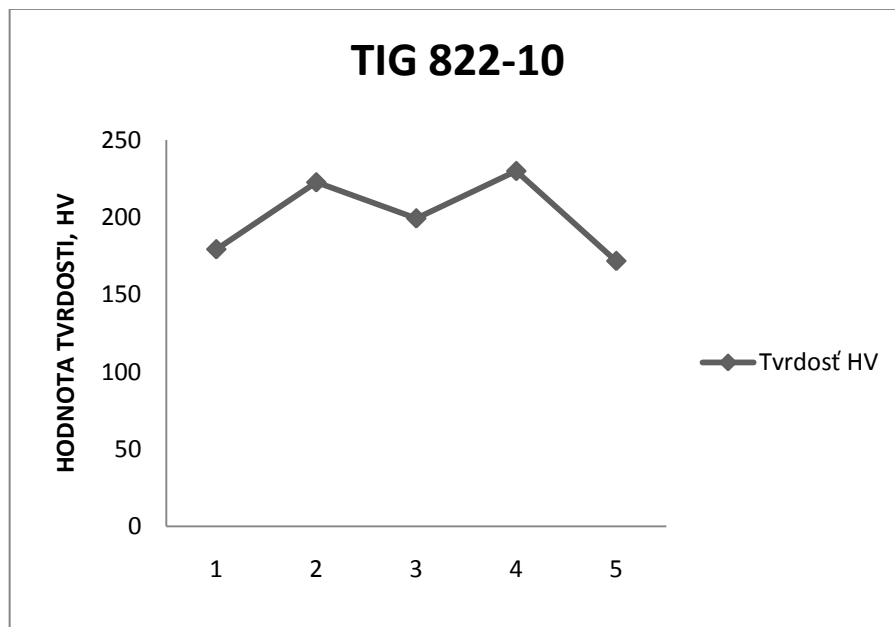


Obr. 45
[Grafické zobrazenie tvrdosti vzorky MMA 822-7]

Hodnoty tvrdosti pre technológiu TIG sú v tabuľke 17 a ich grafické zobrazenie je na obrázku 46.

Tab. 17
[Namerané hodnoty tvrdosti]

| TIG (822-10) | | | | | |
|---------------------|-------|-------|--------------|-----|-------|
| Línia I. | 1 | 5 | 11 | 7 | 3 |
| Tvrdosť HV | 179,3 | 222,7 | 199,3 | 230 | 171,7 |

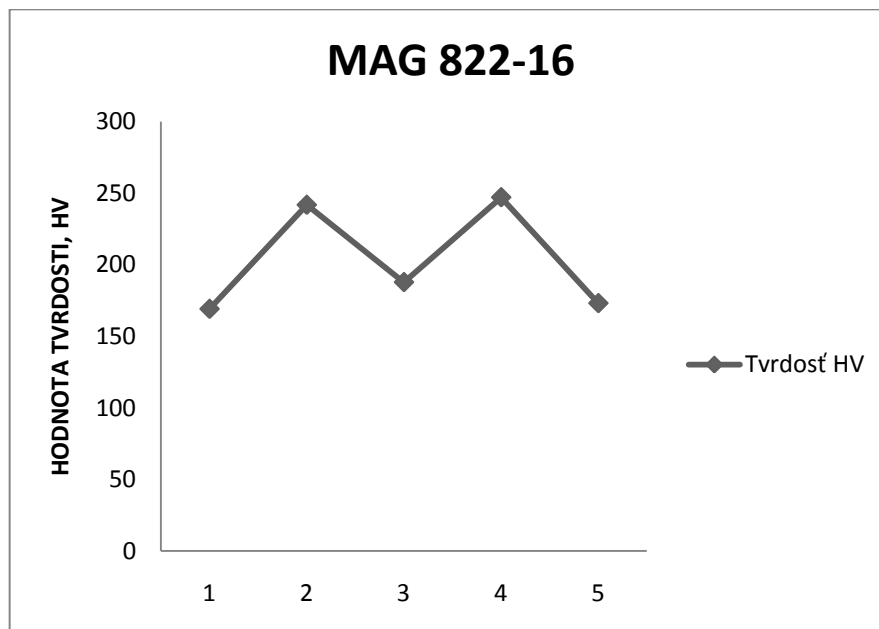


Obr. 46
[Grafické zobrazenie tvrdosti vzorky TIG 822-10]

V tabuľke 18 sú hodnoty tvrdosti pre technológiu MAG a grafické zobrazenie je na obrázku 47.

Tab. 18
[Namerané hodnoty tvrdosti]

| MAG (822-16) | | | | | |
|---------------------|-----|-------|--------------|-----|-----|
| Línia I. | 1 | 5 | 11 | 7 | 3 |
| Tvrdosť HV | 169 | 241,7 | 187,7 | 247 | 173 |



Obr. 47

[Grafické zobrazenie tvrdosti pre vzorku MAG 822-16]

5 Vyhodnotenie výsledkov a diskusia

Všetky I - zvary vyhotovené technológiami TIG, MAG a MMA boli podrobené skúškam, aby sa ukázala vhodnosť zvarov a rozdiely v technológiách zvárania toho istého materiálu.

Po zhotovení zvarov sa pre každú technológiu vypočítal tepelný príkon Q v kJ/mm. Pri zváraní TIG bol tepelný príkon najväčší $Q = 1,92$ kJ/mm. Tepelný príkon pre zváranie technológiou MAG bol $Q = 1,02$ kJ/mm, pre technológiu MMA elektródou E-R 117 bol $Q = 1,38$ kJ/mm a elektródou E 307-16 bol $Q = 1,15$ kJ/mm.

Zhotovené zvary boli podrobené skúškam. Už vizuálnou skúškou bolo zistené, že technológia zvárania TIG je najvhodnejšia pri zváraní mangánových ocelí. Na zvare neboli viditeľné žiadne póry, koreň bol dokonale prevarený a prevýšenie zvaru bolo najvhodnejšie. V prípade technológií MAG a MMA boli viditeľné póry a koreň bol dokonale prevarený len pri technológii MAG. Prevýšenie zvaru bolo u týchto technológií nevyhovujúce v porovnaní s technológiou TIG.

Zvárané plechy boli vplyvom tepla pri zváraní deformované. Na plechoch bola spozorovaná vlnitosť, kvôli malej hrúbke materiálu len 3,3 mm.

Zvary boli podrobené aj kapilárnej skúške. Tá nám potvrdila technológie TIG a MAG ako neakceptovateľné pre zváranie mangánových ocelí. Na povrchu zvarov boli zistené trhliny pomocou penetrantu. Zvar technológie MMA sa nepodrobil kapilárnej skúške preto, lebo už vizuálnou skúškou bola zistená nevhodnosť zvaru.

Röntgenová skúška bola vykonaná na zvaroch všetkých technológií (TIG, MAG, MMA). Táto skúška nám ukázala ako najvhodnejšiu technológiu TIG na zváranie mangánových ocelí. Na RTG – filme boli viditeľné všetky póry, neprievary, nenatavené hrany a studené spoje pri technológii MAG. Zvary MMA neboli podrobené röntgenovej skúške.

Výsledky mechanických skúšok sa porovnávali s hodnotami stanovenými normou BS 1449-1.1: 1991 pre mangánovú oceľ HS 20.

Skúškou ťahom sa získali hodnoty medze pevnosti R_m v MPa. Hodnoty R_m pre technológie:

- MMA: E 307-16 $R_m = 501$ MPa, E-R 117 $R_m = 582$ MPa,
- TIG: $R_m = 589$ MPa, $R_m = 567$ MPa,
- MAG: $R_m = 575$ MPa, $R_m = 583$ MPa.

Hodnota medze pevnosti stanovená normou $R_m = \min. 460 \text{ MPa}$. Všetky namerané hodnoty sú väčšie ako 460 MPa a preto sme zvary vyhodnotili ako vyhovujúce.

Pri skúške lámavosti sa vzorky zvarov skúšali z koreňovej strany. Hodnoty stanovené normou pri tejto skúške boli:

- uhol ohybu $\alpha = 180^\circ$,
- priemer zaťažovacieho trňa $\phi = 15 \text{ mm}$.

Obidva zvary technológiou MMA boli nevyhovujúce. Pri zváraní elektródou E 307-16 vzorka praskla pri ohýbaní pod uhlom $\alpha = 120^\circ$. Vo zvare vyhotoveného elektródou E-R 117 boli viditeľné trhliny dĺžky 5 – 8 mm.

Zvary technológiou TIG a MAG boli vyhovujúce. Vzorky nepopraskali a nemali žiadne trhliny, ktoré by preukázali nekvalitný zvar.

Trhliny sú najnebezpečnejšie chyby zvarových spojov. Zoslabujú prierez a majú výrazný vrubový účinok. Vplyvom striedavého namáhania sa môžu šíriť v spoji a vyvolať nežiaduce porušenie celistvosti – únavový lom. Môžu sa tiež podieľať na vzniku korózie.

Makroštruktúrnym rozborom zvarov technológií MMA, TIG a MAG neboli zistené trhliny, póry, studené spoje, neprievary a prímiesky.

V mikroštruktúre neboli tiež zistené žiadne trhliny. Základný materiál bol u každej vzorky rovnaký. Mikroštruktúra základného materiálu bola riadkovitá, tvorená feritom a lamelárnym perlitom. Mikroštruktúra tepelne ovplyvnenej oblasti bola tvorená prevažne bainitom u každej vzorky zvaru. Mikroštruktúra zvarového kovu zvaru technológie MMA elektródou E 307-116 bola tvorená austenitom a feritom. Ostatné vzorky zvarov mali mikroštruktúru zvarového kovu tvorenú feritom a acikulárnym feritom.

Výsledky mechanickej skúšky tvrdosti podľa Vickersa pre vzorku zvaru technológie MMA E 307-16 boli dosiahnuté v rozmedzí od 162,7 do 225,3 HV a vo zvarovom kove bola tvrdosť 212 HV.

Pre vzorku technológie MMA E-R 117 sa získali hodnoty tvrdosti v rozmedzí od 177,7 do 229 HV a vo zvarovom kove bola tvrdosť 194,7 HV.

Pre technológiu TIG boli dosiahnuté hodnoty tvrdosti v rozmedzí od 171,7 do 230 HV a tvrdosť vo zvarovom kove bola 199,3 HV.

Výsledky pre technológiu MAG boli v rozmedzí od 169 do 247 HV a hodnota tvrdosti vo zvarovom kove bola 187,7 HV.

Zvar technológie MMA E 307-16 mal najvyššie hodnoty tvrdosti vo zvarovom kove v porovnaní s ostatnými technológiami. Z výsledkov mechanickej skúšky tvrdosti podľa Vickersa vyplýva, že čím vyššie hodnoty tvrdosti tým kvalitnejšie zvary.

Záver

Zváranie nachádza uplatnenie vo všetkých oblastiach výroby zváraných konštrukcií. V súčasnosti sú známe rôzne technologické procesy zvárania, čo je spôsobené vývojom nových materiálov.

Skúšky zvarov mangánovej ocele sme zamerali na tri technológie zvárania, ktoré sú v praxi najpoužívanejšie. Sú to technológie TIG, MAG a MMA.

Zváranie technológiou TIG nachádza široké uplatnenie v energetike, chemickom priemysle, letectve, v kozmickom priemysle, pri zváraní potrubí a nádob z nehrdzavejúcich ocelí, hliníkových zliatin, medených a niklových zliatin, pri zváraní titánu a zirkónu.

Technológia MAG sa používa v priemysle, kde je požadovaná vysoká produktivita a efektivita práce. Pre svoju finančnú dostupnosť a možnosť širokého výberu prídavných materiálov pre zváranie patrí k technológiám, ktoré prekonávajú najväčší rozvoj v strojárnských podnikoch. Túto technológiu využívajú aj v menších prevádzkach alebo domácich dielňach, čo je spôsobené dostupnosťou a novou generáciou zváracích zdrojov.

Technológia MMA je využívaná pri montážnom zváraní a operatívne realizovaných prácach menšieho rozsahu. Touto technológiou sa zvárajú aj členité zvarky a malé série zvarkov. MMA sa využíva aj pri prácach so špeciálnymi požiadavkami a prácach vo všeobecne sťažených podmienkach.

Získaním výsledkov zo skúšok zvarov sme dospeli k záveru, že teplo pri zváraní ovplyvňuje kvalitu zvaru mangánových ocelí. Je to spôsobené aj obtiažnosťou zvárania týchto ocelí. Vplyvom tepla spôsobeného zváraním vznikali deformácie mangánových ocelí.

Na základe dosiahnutých výsledkov je najvhodnejšia technológia TIG na zváranie týchto ocelí. Zvar technológie TIG bol najkvalitnejší zo všetkých zvarov. Tento zvar bol minimálne ovplyvnený teplom spôsobeného zváraním, ale aj pri tomto zvare sme spozorovali deformáciu. Pri deformácii bola rozhodujúca hrúbka materiálu. Hrúbka použitej mangánovej ocele bola len 3,3 mm. Tepelne ovplyvnená oblasť bola menšia v porovnaní s ostatnými technológiami.

Zoznam použitej literatúry

1. ÁGOCS, Z. a kol. Navrhovanie zváraných konštrukcií, Bratislava: VUZ, 2006. 344s. ISBN 80-88734-11-8.
2. BALLA, J. 2003. Náuka o materiáloch, Nitra: SPU, 2003. 163s. ISBN 80-8069-249-1.
3. BERNAS, J. a kol. 1990. Zváranie II., Praha, 1990. 262s. ISBN 80-7105-006-7.
4. BRZIAK, P. a kol. 2003. Materiály a ich správanie sa pri zváraní, Bratislava: VUZ, 2003. 355s. ISBN 80-88734-10-X.
5. BS 1449-1.1: 1991, Špecifikácie pre uhlíkové a uhlík - mangánové plechy a pásy.
6. FAJNORKA – SPŠ Strojnícka. 2010. Bratislava [on-line]. 2010. [cit. 2009-10-05]. Dostupné na internete <<http://www.fajnorka.sk/downloads/prezentaciazvaranie.pdf>>.
7. FOLDYNA, V. a kol. 1999. Materiály a ich zvariteľnosť, Ostrava: ZEROSS, 1999. 296s. ISBN 80-85771-63-2.
8. HRIVŇÁK, I. 2009. Zváranie a zvariteľnosť materiálov, Bratislava, 2009. 486s. ISBN 9788022731676.
9. HRIVŇÁK, I. 1989. Teória zvariteľnosti kovov a zliatin, Bratislava: VEDA, 1989. 343s. ISBN 80-224-0016-5.
10. HRIVŇÁK, I. 1979. Zvariteľnosť ocelí, Bratislava: ALFA, 1979. 235s. MDT 621.791.011.
11. THE LINDE GROUP. 2006. Mníchov [on-line]. 2006. [cit. 2009-11-10]. Dostupné na internete <http://www.linde.com/International/Web/LG/SK/like35lgsk.nsf/docbyalias/knowhow_zvaranie_plamenom>.
12. MACEK, K. a kol. 1987. Náuka o materiály III., Praha: SNTL, 1987. 212s. DT 621.002.2/.3(075.3).
13. MATNET. 2006. MatNet Slovakia [on-line]. 2006. [cit. 2009-09-16]. Dostupné na internete <<http://www.matnet.sav.sk/>>.
14. REIN 3. 2010. Bratislava [on-line]. 2010. Dostupné na internete <<http://www.rein3.com/>>.

15. SEPS. 2003. Bratislava [on-line]. 2003. [cit. 2010-02-19]. Dostupné na internete <<http://www.sepssk.sk/slovak/ndt1.htm>>.
16. STU. 2010. Trnava [on-line]. 2010. [cit. 2010-02-03]. Dostupné na internete <<http://www.mtfdca.szm.com/subory/zvaranie2.pdf>>.
17. SÚKOP, D. a kol. 2003. Výroba a aplikácie technológií, Bratislava: VUZ, 2003. 248s. ISBN 80-88734-15-0.
18. TOLNAI, R. 2000. Strojárska technológia, Nitra: SPU, 2000. 319s. ISBN 80-7137-669-8.
19. TURŇA, M. 1989. Špeciálne metódy zvarovania, Bratislava: ALFA, 1989. 384s. ISBN 80-05-00097-9.
20. UHER, V. a kol. 2003. Zváracie procesy a zariadenia, Bratislava: VUZ, 2003. 453s. ISBN 80-88734-03-7.
21. VASILKO, K. a kol. 1990. Nové materiály a technológie ich spracovania, Bratislava: ALFA, 1990. 368s. ISBN 80-05-00661-6.
22. VUZ. 2010. Bratislava [on-line]. 2010. Dostupné na internete <<http://www.vuz.sk/?cid=825>>.
23. 4WELD. 2010. Bratislava [on-line]. 2010. Dostupné na internete <www.4weld.sk>.
24. EN 1321:1996 Deštruktívne skúšky zvarov kovových materiálov. Makroskopická a mikroskopická kontrola zvarov.
25. EN 12517-1:2006 Nedeštruktívne skúšanie zvarov. Časť 1: Hodnotenie zvarových spojov ocelí, niklu, titánu a ich zliatin prežarováním.
26. EN ISO 5817:2003 Tavné zvarované spoje ocelí.
27. STN EN 895:1998 Deštruktívne skúšky zvarov kovových materiálov. Skúška ťahom zvarového spoja v priečnom smere.
28. STN EN 910:1999 Deštruktívne skúšky zvarov kovových materiálov. Skúšky lámavosti.
29. STN EN 1043-1:2002 Deštruktívne skúšky zvarov kovových materiálov. Skúšanie tvrdosti. Časť 1: Skúška tvrdosti spojov zhotovených oblúkovým zvaráním.
30. STN EN 1320:2006 Deštruktívne skúšky zvarov kovových materiálov. Skúška rozlomením.
31. STN EN ISO 3452-2:2007 Nedeštruktívne skúšanie. Kapilárne skúšanie. Časť 2: Skúšanie kapilárnych prostriedkov.


32. STN EN ISO 7438:2006 Kovové materiály. Ohybová skúška.
33. STN EN ISO 7799:2003 Kovové materiály. Plechy a pásy s hrúbkou 3 mm a menej. Skúška lámavosti striedavým ohybom.

Príloha 2

| Typ | | TIGER 170 DC | TIGER 170 AC/DC | TIGER 210 DC | TIGER 210 AC/DC |
|---|----------------------------|--------------|-----------------|--------------|-----------------|
| Rozsah nastavenia | Režim TIG [A] | 3-170 | 3-170 | 3-210 | 3-210 |
| | Funkcia BOOSTER [A] | 3-150 | 3-150 | 3-170 | 3-170 |
| | Funkcia Hold - ochrana [A] | 3-140 | 3-140 | 3-160 | 3-160 |
| Dovolené zaťaženie (DZ) pri (20 °C) 40 °C pri I_{max} | Režim TIG [%] | (50) 30 | (50) 30 | (50) 30 | (50) 30 |
| | Funkcia BOOSTER [%] | (55) 30 | (55) 30 | (90) 30 | (90) 30 |
| | Funkcia Hold - ochrana [%] | (60) 35 | (60) 35 | (90) 35 | (90) 35 |
| Zvárací prúd pri 100 % DZ (20 °C) 40 °C | Režim TIG [A] | (135) 100 | (135) 100 | (175) 140 | (175) 140 |
| | Funkcia BOOSTER [A] | (120) 100 | (120) 100 | (160) 120 | (160) 120 |
| | Funkcia Hold - ochrana [A] | (120) 100 | (120) 100 | (160) 120 | (160) 120 |
| Sieťové napätie pri 50/60 Hz | [V] | 1×230 | 1×230 | 1×230 | 1×230 |
| Príkon pri I_{max} | [kVA] | 5,4 | 5,4 | 5,5 | 5,5 |
| Poistka | [A] | 16 | 16 | 16 | 16 |
| Účinník | [cosφ] | 0,7 | 0,7 | 0,99 | 0,99 |
| Chladenie horáka | | plynom | plynom | plynom | plynom |
| Krytie | | IP 23 | IP 23 | IP 23 | IP 23 |
| Rozmery (D×Š×V) | [mm] | 290×150×215 | 340×150×275 | 340×150×215 | 340×150×275 |
| Hmotnosť | [kg] | 5,4 | 7,8 | 6,5 | 8,4 |


[Technické parametre zariadenia TIGER 170/210 DC + AC/DC]

Príloha 3

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|--|---|--|---|-------------------------------------|-----------------|---|---------------------|----------------------------------|--------------------------------|--|---------|-------------------------------------|------|--|--------|---|-------------|---------------------------|------|-------------|----------|
| QS | Prüfzertifikat Nr.: 686 / 09 | | KARRER | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | NDT - kontrolle PT Methode | | | Industrie s. r. o. | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | Test Certificate | Tovarníky | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | Farbeindringprüfung | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Im Auftrag von On behalf of | Ing. Rastislav Bernát, PhD., BC. Monika Bódóková, SPU Nitra, Tech. Fakulta | | Seite Page 1 / 1 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Stichwort: Code word: | Projektstrukturplan (PSP)-Nr. Internal PSP - No | Fertigungsauftrag-Nr. Fabrication Order No. | Zeichnungs-Nr. Drawing - No. | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Benennung Object | Vzorka - TIG | | Anzahl Quantity 1 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Abmessung Dimension | | | Werkstücktemperatur Work piece: 20°C | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| <table border="1"> <tr> <td>Eindringssystem / Penetrant system:</td> <td>EN ISO 3452 - 2</td> </tr> <tr> <td>Hersteller/Bezeichnung / Manufacturer/Type:</td> <td>Tiede / Nord - Test</td> </tr> <tr> <td>Eindringmittel / Penetrant type:</td> <td>Nord - test - TEST - 70 - 9802</td> </tr> <tr> <td>Beobachtung nach / Interpretation after:</td> <td>15 min.</td> </tr> <tr> <td>Prüfumfang / Extend of examination:</td> <td>100%</td> </tr> <tr> <td>Beobachtung nach / Interpretation after:</td> <td>5 min.</td> </tr> <tr> <td>Oberflächenzustand / Surface condition:</td> <td>geschliffen</td> </tr> <tr> <td>Temperatur / Temperature:</td> <td>18°C</td> </tr> <tr> <td>Akzeptabel:</td> <td>U</td> </tr> </table> | | | | Eindringssystem / Penetrant system: | EN ISO 3452 - 2 | Hersteller/Bezeichnung / Manufacturer/Type: | Tiede / Nord - Test | Eindringmittel / Penetrant type: | Nord - test - TEST - 70 - 9802 | Beobachtung nach / Interpretation after: | 15 min. | Prüfumfang / Extend of examination: | 100% | Beobachtung nach / Interpretation after: | 5 min. | Oberflächenzustand / Surface condition: | geschliffen | Temperatur / Temperature: | 18°C | Akzeptabel: | U |
| Eindringssystem / Penetrant system: | EN ISO 3452 - 2 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Hersteller/Bezeichnung / Manufacturer/Type: | Tiede / Nord - Test | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Eindringmittel / Penetrant type: | Nord - test - TEST - 70 - 9802 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Beobachtung nach / Interpretation after: | 15 min. | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Prüfumfang / Extend of examination: | 100% | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Beobachtung nach / Interpretation after: | 5 min. | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Oberflächenzustand / Surface condition: | geschliffen | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Temperatur / Temperature: | 18°C | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Akzeptabel: | U | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| <p style="text-align: right;">A Akzeptabel U Unakzeptabel</p> | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Datum: Date: | 27.4.2010 | Pruefer: Executed by: | Stempel / Unterschrift: Stamp / signature: | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Tovarníky | Fazekaš V. |  | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |




[Protokol kapilárnej skúšky pre vzorku TIG]

Príloha 4

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|--|---|---|-------------------------------------|-----------------|---|---------------------|----------------------------------|--------------------------------|--|---------|-------------------------------------|------|--|--------|---|-------------|---------------------------|------|-------------|----------|
| QS | Prüfzertifikat Nr.: 686 / 09 | KARRER Industrie s. r. o. Tovarniky | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | NDT - kontrolle PT Methode <i>Test Certificate</i> Farbeindringprüfung | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Im Auftrag von <i>On behalf of</i> | Ing. Rastislav Bernát, PhD., BC. Monika Bődöková, SPU Nitra, Tech. Fakulta | Seite <i>Page</i> 1 / 1 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Stichwort: <i>Code word:</i> | Projektstrukturplan (PSP)-Nr. <i>Internal PSP - No</i> | Fertigungsauftrag-Nr. <i>Fabrication Order No.</i> | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Benennung <i>Object</i> | Vzorka - MAG | Anzahl <i>Quantity</i> 1 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Abmessung <i>Dimension</i> | | Werkstücktemperatur <i>Work piece:</i> 20°C | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td>Eindringssystem / Penetrant system:</td> <td style="text-align: center;">EN ISO 3452 - 2</td> </tr> <tr> <td>Hersteller/Bezeichnung / Manufacturer/Type:</td> <td style="text-align: center;">Tiede / Nord - Test</td> </tr> <tr> <td>Eindringmittel / Penetrant type:</td> <td style="text-align: center;">Nord - test - TEST - 70 - 9802</td> </tr> <tr> <td>Beobachtung nach / Interpretation after:</td> <td style="text-align: center;">15.min.</td> </tr> <tr> <td>Prüfumfang / Extend of examination:</td> <td style="text-align: center;">100%</td> </tr> <tr> <td>Beobachtung nach / Interpretation after:</td> <td style="text-align: center;">5 min.</td> </tr> <tr> <td>Oberflächenzustand / Surface condition:</td> <td style="text-align: center;">geschliffen</td> </tr> <tr> <td>Temperatur / Temperature:</td> <td style="text-align: center;">18°C</td> </tr> <tr> <td>Akzeptabel:</td> <td style="text-align: center;">U</td> </tr> </table> | | | Eindringssystem / Penetrant system: | EN ISO 3452 - 2 | Hersteller/Bezeichnung / Manufacturer/Type: | Tiede / Nord - Test | Eindringmittel / Penetrant type: | Nord - test - TEST - 70 - 9802 | Beobachtung nach / Interpretation after: | 15.min. | Prüfumfang / Extend of examination: | 100% | Beobachtung nach / Interpretation after: | 5 min. | Oberflächenzustand / Surface condition: | geschliffen | Temperatur / Temperature: | 18°C | Akzeptabel: | U |
| Eindringssystem / Penetrant system: | EN ISO 3452 - 2 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Hersteller/Bezeichnung / Manufacturer/Type: | Tiede / Nord - Test | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Eindringmittel / Penetrant type: | Nord - test - TEST - 70 - 9802 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Beobachtung nach / Interpretation after: | 15.min. | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Prüfumfang / Extend of examination: | 100% | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Beobachtung nach / Interpretation after: | 5 min. | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Oberflächenzustand / Surface condition: | geschliffen | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Temperatur / Temperature: | 18°C | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Akzeptabel: | U | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| A Akzeptabel U Unakzeptabel | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Datum: <i>Date:</i> | Pruefer: <i>Executed by:</i> | Stempel / Unterschrift: <i>Stamp / signature:</i> | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 27.4.2010 | Fazekaš V. |  | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Tovarniky | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |



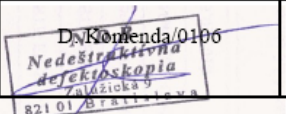
[Protokol kapilárnej skúšky pre vzorku MAG]

Príloha 5

|  Nedeštruktívna defektoskopia Zalužická 9 821 01 BRATISLAVA | |  CERTIFIED VZ MANAGEMENTU KVALITY STN EN ISO 9001 | | Zákazník: Customer: Ing. Rastislav Bernát, PhD | | | |
|---|-------------------------------------|--|--|--|---|--------------------|---------------------|
| | | Miesto: Place: SPU Nitra, Technická fakulta | | Dodávateľ: Supplier: Miba Steeltec, s.r.o., Vrábľe | | | |
| Protokol o skúške prežiarením č: RT SPU 01/2010 Radiography Test Record No: | | | | Seite Nr. 1 Sheet No: | von: 1 of: | | |
| Objekt/oblasť: Object/Area: TIG | | Zákazkové číslo: Order Number: | | | | | |
| Hodnotenie podľa/Požadov klasifikačný stupeň: Evaluation According to/Requested Class.Degree EN 12517/1 | | Spôsob snímkovania podľa: EN 1435 11 Exposure Arrangement in Accordance with: | | | | | |
| Zčernanie: Density: 2 - 4 | | RTG prístroj/izotop: X-Ray Equipment/Gamma Source: Balteau 165 | | | | | |
| Mierka: Penetrameter: IQI EN 462 – W 10 FE - 50 | | Čitlivosť podľa: Sensitivity in Accordance with: STN EN 1435/EN 462 | | | | | |
| Veľkosť filmu [cm]: Film Size [cm]: 32x10 | | Rozmer ohniska [mm] / Aktivita [Ci] 1,5x1,5 Focal Spot [mm] / Activity [Ci] | | | | | |
| Vzdialenosť [mm]: Distance FFD [mm]: Ø | | Typ filmu-Pb: Film Type-Pb: C4-0,027(AGFA D5) | | | | | |
| Jednotka, Oblasť, ISO, Výkres Unit, Area, ISO Draw | Číslo/Number of: | | Materiál Material Priemer/ Hrúbka Diameter/ Thickness | Akosť rad. IQI Value | Charakter chýb podľa: Kind of Imperf. in Accordance to: STN ISO 6520 | Výsledok Result | Poznámky Remarks |
| | Zvaru Weld's | Zvárača Welder's | | | | | |
| | 1 | | t=3 | W12 | - | A | |
| | 2 | | | W12 | - | A | |
| | 3 | | | W12 | - | A | |
| A – Zulässig (Accepted), N – Unzulässig (Not Accepted), R – Reparatur (Repair) | | | | | | | |
| Dátum: Date: | Archív číslo: Archive No: | Snímkoval/číslo preukazu: Operator/Cert. No | Hodnotil/číslo preukazu: Evaluation/Cert. No | Podpis zákazníka Signature – Customer | | | |
| 22.04.10 | SPU/10 | D. Komenda/0106 | |  | | | |

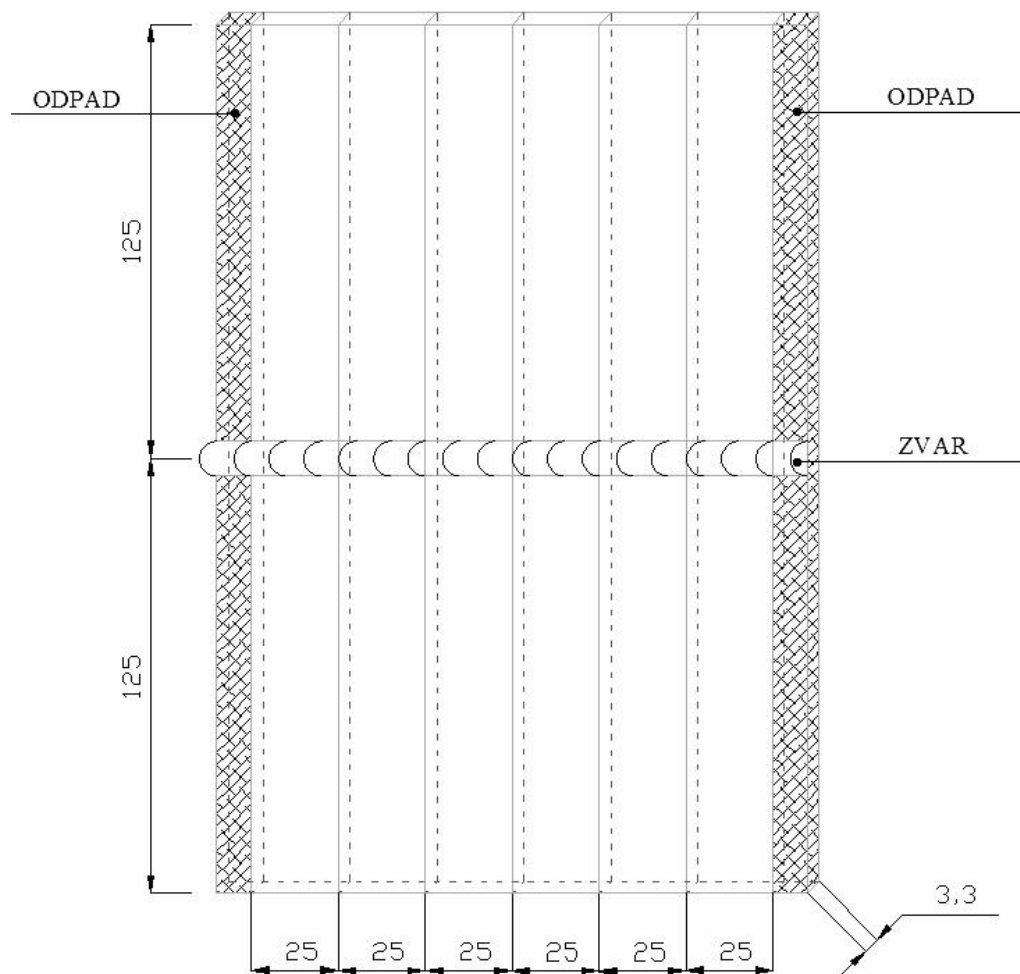
[Protokol röntgenovej skúšky pre vzorku TIG]

Príloha 6

|  <p>Nedeštruktívna defektoskopia Zalužická 9 821 01 BRATISLAVA</p> | |  <p>WILHELM VZ MANAGEMENTU KVALITY STN EN ISO 9001</p> | | Zákazník: Customer: Ing. Rastislav Bernát, PhD | | | |
|---|-------------------------------------|---|---|--|--|----------------------|---------------------|
| | | Miesto: Place: SPU Nitra, Technická fakulta | | Dodávateľ: Supplier: Miba Steeltec, s.r.o., Vrábľa | | | |
| Protokol o skúške prežiarením č: RT SPU 02/2010 Radiography Test Record No: | | | | Seite Nr. Sheet No: 1 | | von: of: 1 | |
| Objekt/oblasť: Object/Area: MAG | | | Zákazkové číslo: Order Number: | | | | |
| Hodnotenie podľa/Požadov klasifikačný stupeň: Evaluation According to/Requested Class.Degree EN 12517/1 | | | Spôsob snímkovania podľa: EN 1435 11 Exposure Arrangement in Accordance with: | | | | |
| Zčernanie: Density: 2 - 4 | | | RTG prístroj/izotop: X-Ray Equipment/Gamma Source: Balteau 165 | | | | |
| Mierka: Penetrameter: IQI EN 462 - W 10 FE - 50 | | | Citlivosť podľa: Sensitivity in Accordance with: STN EN 1435/EN 462 | | | | |
| Veľkosť filmu [cm]: Film Size [cm]: 32x10 | | | Rozmer ohniska [mm] / Aktivita [Ci] Focal Spot [mm] / Activity [Ci] 1,5x1,5 | | | | |
| Vzdialenosť [mm]: Distance FFD [mm]: Ø | | | Typ filmu-Pb: Film Type-Pb: C4-0,027(AGFA D5) | | | | |
| Jednotka, Oblasť, ISO, Výkres Unit, Area, ISO Draw | Číslo/Number of: | | Materiál Material | Akosť rad. IQI Value | Charakter chýb podľa: Kind of Imperf. in Accordance to: STN ISO 6520 | Výsledok Result | Poznámky Remarks |
| | Zvaru Weld's | Zvárača Welder's | | | | | |
| | 4 | | t=3 | W12 | 502,2011 | N | |
| | 5 | | | W12 | 401 | N | |
| | 6 | | | W12 | 402,401,2011 | N | |
| <p>A – Zulässig (Accepted), N – Unzulässig (Not Accepted), R – Reparatur (Repair)</p> | | | | | | | |
| Dátum: Date: | Archív číslo: Archive No: | Snímkoval/číslo preukazu: Operator/Cert. No | Hodnotil/číslo preukazu: Evaluation/Cert. No | Podpis zákazníka Signature – Customer | | | |
| 22.04.10 | SPU/10 | D. Komenda/0106 | |  | | | |

[Protokol röntgenovej skúšky pre vzorku MAG]

Príloha 7



[Rezací plán vzoriek]

