



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV MATERIÁLOVÝCH VĚD A INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF MATERIALS SCIENCE AND ENGINEERING

APLIKACE KONDENZÁTOROVÉHO SVAŘOVÁNÍ A HODNOCENÍ SVARŮ

THE PULSE DISCHARGE WELDING APPLICATIONS AND WELD ANALYSIS

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

TIBOR KOCÁK

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. VÍT JAN, Ph.D.

BRNO 2015

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav materiálových věd a inženýrství

Akademický rok: 2014/2015

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

student(ka): Tibor Kocák

který/která studuje v **bakalářském studijním programu**

obor: **Základy strojního inženýrství (2341R006)**

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

Aplikace kondenzátorového svařování a hodnocení svarů

v anglickém jazyce:

The Pulse discharge welding applications and weld analysis

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Svařování výbojem náboje kondenzátorů představuje jednu z alternativních metod používaných zejména pro navařování čepů a podobných prvků na ploché materiály. Práce bude rozdělena na teoretickou rešerši, kde bude tato technologie uvedena do kontextu dalších svařovacích technologií, a dále část experimentální, kde bude provedena metalografická analýza homogenních a heterogenních svarů vytvořených s různým nastavením svařovacích parametrů.

Cíle bakalářské práce:

Cílem práce je seznámení se s technologiemi svařování, dále aplikace technik materiálového inženýrství, zejména metalografie, popis a hodnocení svarů různých materiálů provedených za různých parametrů, vždy svařováním výbojem.

Seznam odborné literatury:

- 1.Fremunt, P., Podrábský, T. Konstrukční oceli. Brno: Cerm, 1996. 267 s.
- 2.-Pluhař, J., Puškár, A., Koutský, J., Macek, K., Beneš, V. Fyzikální metalurgie a mezní stavy materiálu. Praha: SNTL, 1987. 298 s.
- 3.KOUTSKÝ,J., Slitinové oceli pro energetické strojírenství

Vedoucí bakalářské práce: doc. Ing. Vít Jan, Ph.D.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2014/2015.

V Brně, dne 3.2.2015

L.S.

prof. Ing. Ivo Dlouhý, CSc.
Ředitel ústavu

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

ABSTRAKT

Rešeršná časť tejto bakalárskej práce slúži ako prehľad informácií o špeciálnej zvaracej technológii, ktorá využíva technológiu výboju kondenzátorov. Praktická časť obsahuje experimentálny pokus znázorňujúci uplatnenie teórie o zvaraní pomocou kondenzátorovej zvaračky so špecifickými nastaveniami, preparáciu a hodnotenie vzoriek.

Vypracovaných bolo celkom osem vzoriek, po dvoch druhoch v kombinácii uhlíková-uhlíková a austenitická (korozivzdorná) - uhlíková oceľ bolo pripravených pomocou zvarania. Pre všetky experimentálne prevedené spoje bol pripravený metalografický výbrus a bola hodnotená mikroštruktúra zvaru, prítomnosť defektov a vhodnosť podmienok pre vytvorenie zvarov.

Kľúčové slová: zvary, zvaranie, zvaracie metódy, svorníkové zvaranie, zvarový kov, metalografická analýza

ABSTRACT

Theoretical part of this bachelor's thesis contains overview information about special welding technology, which uses capacitor discharging. Practical part is about experimental attempts showing the application of the theory of welding using capacitor welder with specific settings, preparation and rating samples. Microstructure of the samples was evaluated by standard metallographic techniques.

Key words: weld, welding, welding methods, bolt welding, stud arc welding, weld metal, metallographic analysis

KOCÁK, T. *Aplikace kondenzátorového svařování a hodnocení svarů*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2015. 65 s.
Vedoucí bakalářské práce doc. Ing. Vít Jan, Ph.D..

Prehlásenie

Prehlasujem, že svoju bakalársku prácu na téma „*Aplikace kondenzátorového svařování a hodnocení svarů*“ som vypracoval samostatne pod vedením vedúceho bakalárskej práce a s použitím odbornej literatúry a ďalších informačných zdrojov, ktoré sú všetky citované v práci a uvedené v zozname literatúry na konci práce.

Dátum: 28.5.2015

.....

Tibor Kocák

Pod'akovanie

Ďakujem vedúcemu bakalárskej práce doc. Ing. Vítovi Janovi, Ph.D. za účinnú metodickú, odbornú pomoc a vedenie, cenné rady pri spracovaní práce. Ďalej ďakujem Ing. Liborovi Věžníkovi za dohľad a výpomoc v metalografickom laboratóriu pri príprave vzoriek. V neposlednej rade ďakujem firme Proweld - Přivařování svorníků za poskytnuté vzorky a inšpiráciu. Ďakujem za podporu mojej rodine a blízkym priateľom, ktorý to so mnou vydržali a mali ochotu poradiť v ťažkých životných chvíľach.

OBSAH

1. Technológia zvarovania	9
1.1 Definícia zvarovania	9
1.2 Teplotný cyklus pri zvarovaní	9
1.3 Vznik a tvorba zvaru pomocou elektrického oblúku	11
1.4 Teplom ovplyvnená oblasť	12
1.5 Rozdelenie metód zvarovania podľa druhu aktivačnej energie	13
1.6 Zdroje elektrického prúdu pre oblúkové zvarovanie	15
1.7 Výber najpoužívanejších metód.....	15
2. Technológia zvarovania svorníkov	19
2.1 Metódy zvarovania svorníkov elektrickým prúdom	19
2.1.1 Metóda zdvihového zápalu	19
2.1.2 Metóda hrotového zápalu s kondenzátorovým výbojom	21
2.1.2.1 Metóda bez medzery (kontaktná).....	21
2.1.2.2 Metóda s medzerou	22
2.2 Časový priebeh výboja metódy hrotového zápalu s kondenzátorovým výbojom	22
2.3 Skutočný tepelný príkon Q_s	23
2.4 Výhody a nevýhody zvarovania svorníkov a súčastí.....	23
2.5 Príslušenstvo a príklady aplikácie.....	24
3. Experimentálne techniky	25
3.1 Metalografia	25
3.2 Metalografické výbrusy	25
3.3 Postup pri výrobe metalografického výbrusu	25
4. Experimentálny materiál	31
4.1 Základný materiál	31
4.1.1 Konštrukčná oceľ S235JR	31
4.1.2 korozivzdorná oceľ AISI 314L	32
4.2 Použitá technika	34
4.2.1 Zvárací stroj PRO-C 1500 (obr 4.2)	34
4.2.2 Zváracia pištoľ	35
4.2.3 Svorník.....	35
4.3 Vzorky a použité parametre	37

4.3.1 Vzorka 1	39
4.3.2 Vzorka 2	41
4.3.3 Vzorka 3	42
4.3.4 Vzorka 4	44
4.3.5 Vzorka 5	46
4.3.6 Vzorka 6	48
4.3.7 Vzorka 7	51
4.3.8 Vzorka 8	53
5. Zhrnutie	57
5.1 Optimálne zväracie parametre	57
5.2 Nízke zväracie parametre	57
5.3 Vysoké zväracie parametre	57
5.4 Homogénny spoj	57
5.5 Heterogénny spoj	58
5.6 Neočistený spoj	58
6. Záver	59
7. Zoznam použitej literatúry	60

1. TECHNOLOGIA ZVÁRANIA

1.1 Definícia zvarovania

Zváranie kovov a ich zliatin je nerozoberateľné spojenie s využitím tepelnej, mechanickej alebo radiačnej energie. Spojenie nastáva pôsobením medziatómových síl a adhézných väzieb na teplom alebo tlakom aktivovaných kontaktných plochách, ktoré musia mať určitú normou danú chemickú čistotu.

Naváranie kovov je veľmi podobné zvarovaniu kovov. Hlavný rozdiel je v príčine aplikovania tohto technologického postupu. Naváranie slúži na doplnenie alebo zväčšenie objemu navarovanej súčasti z rôznych dôvodov, ako napríklad korózna ochrana, zvýšenie odolnosti opotrebeniu, vymedzenie vôle, umelecký prvok a pod. Proces zvarovania vyžaduje aktiváciu kontaktných plôch čo znamená dodanie aktivačnej energie na prekonanie bariéry potenciálnej energie povrchových atómov. [7], [8]

1.2 Teplotný cyklus pri zvarovaní

Vďaka procesu zvarovania, teda pôsobenia sústredeného zdroja tepla či už chemickou alebo mechanicou cestou, dochádza k rozkmitu častíc, čo spôsobuje krátkodobý zintenzívnený ohrev materiálu na vysoké teploty a dochádza k difúzii materiálov v tuhom stave, alebo k nataveniu materiálu.

Tepelnou vodivosťou materiálu sa dosiahne toho, že sa teplo šíri z malého objemu kovu do blízkeho okolia základného materiálu a tak vzniká tepelne ovplyvnená oblasť. Vysoké teploty na základnom materiáli spôsobujú nasledovné zmeny:

1. Fázové premeny-tavenie základného a prípadne prídavného materiálu, tuhnutie a zmeny v tuhom stave.
2. Fyzikálne chemické reakcie medzi oboma materiálmi vďaka difúzii.
3. Zmeny štruktúry v oblasti zvarového spoju.
4. Zmeny objemu, ktoré v zvarovom spoji spôsobujú vnútorné napätie a deformácie.

Tieto zmeny sú ovplyvniteľné:

1. Fyzikálnymi a chemickými vlastnosťami základného materiálu.
2. Rozmermi zvarovaného polotovaru a geometrickým tvarom.
3. Technológiou zvarovania (oblúkové zvarovanie).
4. Množstvom vneseného tepla do zvarového spoju a na dĺžkovú jednotku (oblúkové zvarovanie).

Množstvo vneseného tepla vyjadruje rovnica:

$$Q = \frac{U \times I}{10^3 \times v} \quad (\text{kJ} \cdot \text{mm}^{-1}) \quad (1)$$

kde: U - Zvaracie napätie (V),

I - Zvarací prúd (A),

v - rýchlosť zvarovania (m/s).

Efektívne využitý príkon pri zváranie je vyjadrený ako:

$$Q_e = \eta \times Q \quad (2)$$

kde: η - koeficient účinnosti podľa tabuľky (1.1)

Tabuľka 1.1 koeficientov podľa technológií zvárania [1]

<i>Technológia zvárania</i>	<i>Účinnosť η</i>
<i>MMAW</i>	0,7 - 0,85
<i>GTAW</i>	0,48 - 0,65
<i>GMAW</i>	0,66 - 0,75
<i>APT</i>	0,90 - 0,99
<i>ESS</i>	0,90 - 0,99

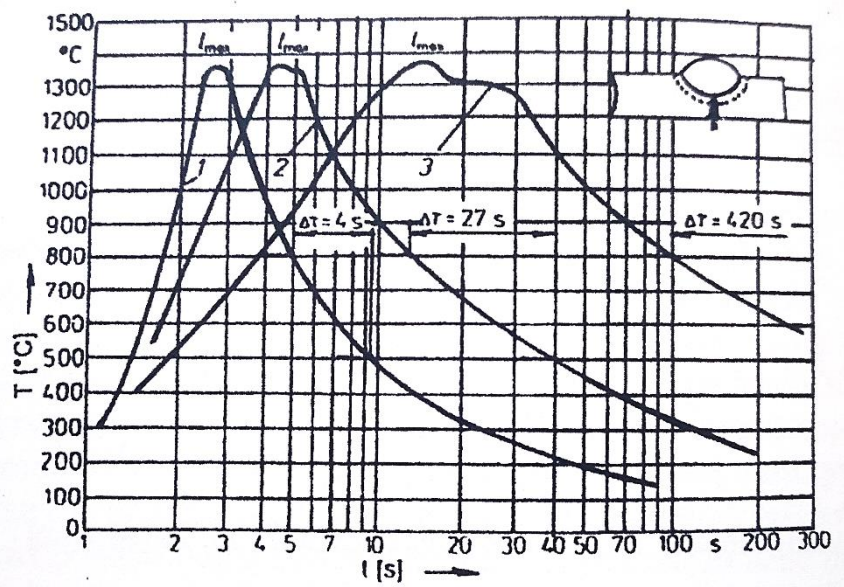
V dôsledku pôsobenia teplotného cyklu sa mení štruktúra a vlastnosti základného materiálu. Možné zmeny v dôsledku pôsobenia, ich veľkosť a charakter je možné hodnotiť na základe charakteristík teplotného cyklu:

1. Rýchlosť ohrevu ($^{\circ}\text{C/s}$).
2. Maximálna dosiahnutá teplota počas cyklu T_{\max} .
3. Čas výdrže na danej teplote T_{\max} .
4. Rýchlosť dosiahnutia pôvodnej teploty-rýchlosť ochladnutia ($^{\circ}\text{C/s}$).

Pre teplotné cykly bolo vytvorené grafické schéma (obr. 1.1). Typické hodnoty boli namerané pre jednotlivé technológie a rýchlosti ohrevu ako vidíme v tabuľke 1.2.

Tabuľka 1.2 rýchlostí ohrevu podľa technológie [1]

<i>Technológia</i>	<i>Rýchlosť ohrevu ($^{\circ}\text{C/s}$)</i>
<i>Oblúčkové zváranie</i>	50 - 400
<i>Zváranie elektrónovým zväzkom</i>	Vyššie než 1000



Obr. 1.1. Schéma teplotných cyklov [1]

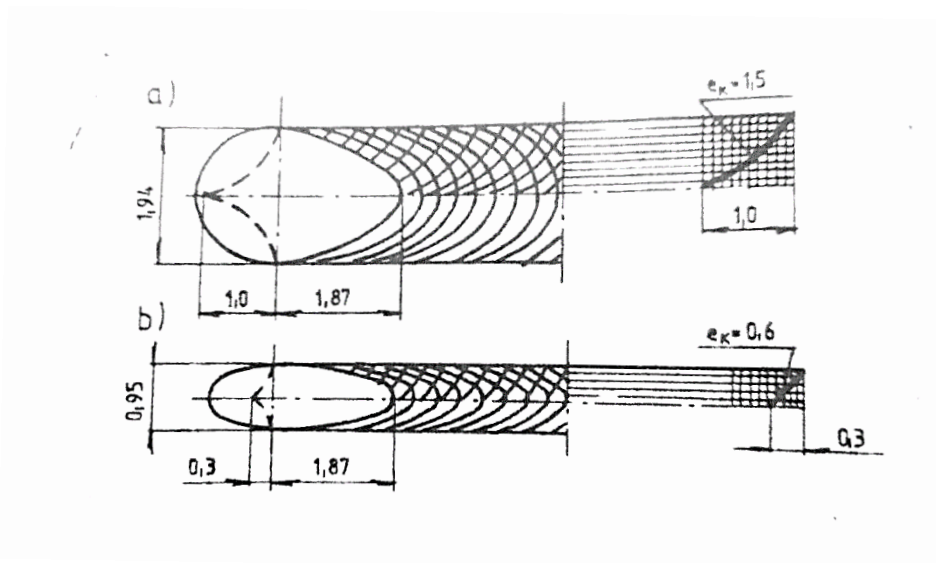
kde:

1. Zváranie elektrickým oblúkom obalenou elektródou.
2. Zváranie automatom pod tavidlom.
3. Elektrotroskové zváranie.

1.3 Vznik a tvorba zvaru pomocou elektrického oblúku

Tavením prídavného materiálu spolu so základným vzniká zvarový kov. Proces vzniku zvarového kovu je turbulentný a kde okrem difúzie častíc základného materiálu s kovom prídavného materiálu dochádza k intenzívnemu premiešaniu oboch materiálov v tekutom stave. Pri ručnom oblúkovom zváraní je stupeň premiešania asi od 10 do 40 %, no pri zváraní pomocou automatu pod tavidlom ide o premiešanie 85 % a elektrotroskové zváranie dosahuje premiešania až na hodnotu 90 %. Špeciálnou skupinou sú technológie, kde je zvarový kov tvorený zo 100 % objemu len základným materiálom, ktorý je natavený.

Objem zvarového kúpeľa je priamo úmerný mernému príkonu zváračky, kde ale pozorujeme závislosť aj geometrického faktoru, ktorý zásadnou mierou ovplyvňuje charakteristiku zvaru ako napríklad hĺbka zvarového kúpeľa je priamo ovplyvnená nastavením intenzity zváracieho prúdu a šírka zvarového kúpeľa je priamo úmerná zváraciemu napätiu. Výsledný pomer hĺbky a šírky zvarového kúpeľa je označovaný ako Ψ . Rýchlosť zvárania je taktiež veľmi dôležitá (obr. 1.2), ktorá nepriamo, avšak ovplyvňuje šírenie teploty materiálom.



Obr. 1.2. Tvar zvarového kúpeľa [1]

kde:

- a) Nízka rýchlosť zvarovania.
- b) Vysoká rýchlosť zvarovania.

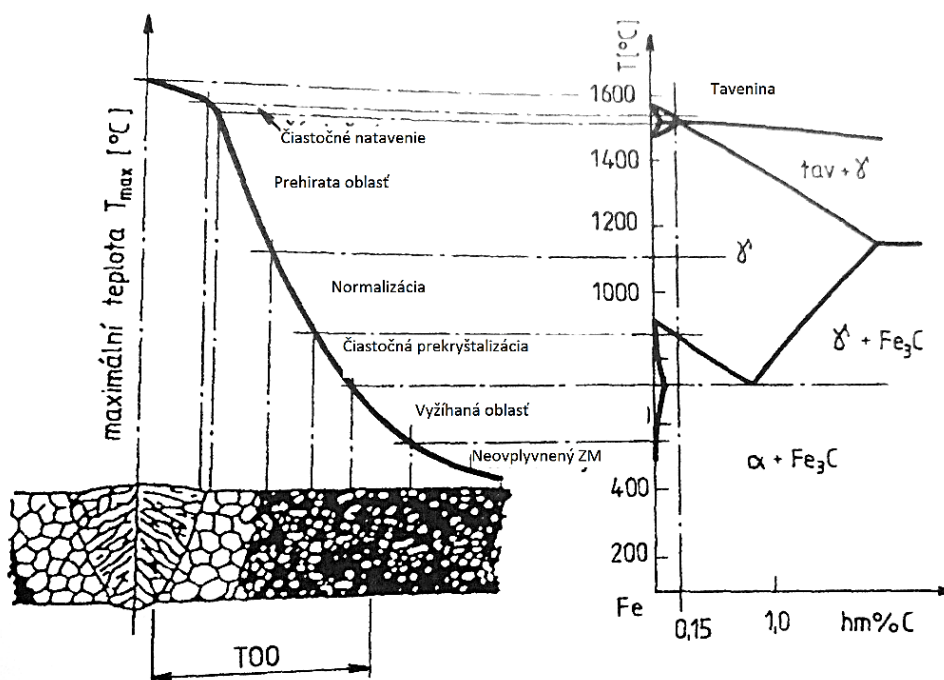
Pri poklese teploty až pod teplotu likvidu začína kryštalizácia zvaru. Segregačné procesy prebiehajú v priebehu klesajúcej teploty pod teplotu likvidu. Rast pevnej fáze je ovplyvnený dedičnosťou. Orientácia zŕn a veľkosť je zdedená po prechodovej fáze. To znamená, že novovzniknuté zrná v zvarovom kove nadväzujú na orientáciu nenatavených zŕn základného materiálu. [1]

1.4 Teplom ovplyvnená oblasť

Pri zvarovaní vzniká oblasť na základnom materiále, ktorá je ovplyvnená teplom vzniknutým pri zvarovaní. Túto oblasť nazývame obecnou teplom ovplyvnenou oblasťou (ďalej len TOO).

U kovov a zliatin s polymorfnou premenou ako napríklad u ocele dochádza vplyvom rekryštalizácie a následným rýchlym chladnutím v TOO k výrazným štruktúrnym zmenám, ktoré majú zásadný dopad na vlastnosti ako mechanické tak fyzikálne.

Pri zvarovaní ocele s polymorfnou zmenou $\alpha - \gamma - \delta$, vieme TOO rozdeliť na pásma s charakteristickými vlastnosťami (obr. 1.3). [1]



Obr. 1.3. Pásma TOO

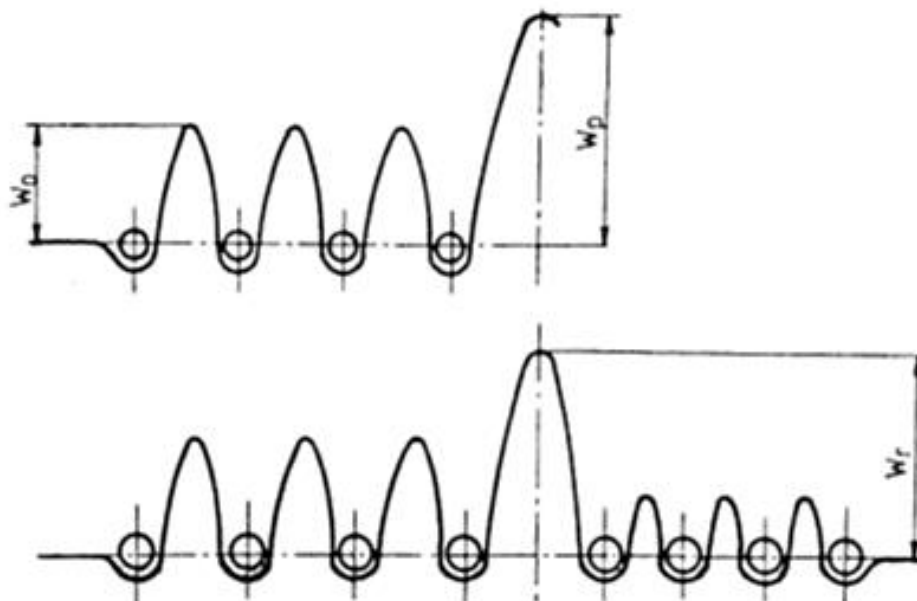
kde:

1. Oblasť čiastočného natavenia tvorí prechod z TOO do zvarového kovu. Najčastejšie sa u ocelí táto oblasť redukuje na maličkú oblasť v podstate líniu, pretože rozdiel medzi teplotou pevného skupenstva solidu a tekutého skupenstva likvidu je minimálna.
2. Oblasť prehriatia, s teplotami nad A_3 , prekračujúci teplotu aktívneho intenzívneho rastu primárnych zŕn. Pre nelegované ocele sa jedná o teplotu $1050\text{ }^{\circ}\text{C}$, pre mikrolegované ocele je táto teplota vyššia okolo $250\text{ }^{\circ}\text{C}$ a teda 1250 až $1300\text{ }^{\circ}\text{C}$.
3. Oblasť vyhriata nad A_3 s úplnou transformáciou $\alpha - \gamma - \alpha$.
4. Oblasť nad teplotou A_1 s neúplnou polymorfnou premenou, t.j. Medzi teplotou A_1 a A_3 .
5. Oblasť pod teplotou A_1 , v ktorej prebiehajú zmeny v rámci tuhého roztoku α Fe.

1.5 Rozdelenie metód zvarovania podľa druhu aktivačnej energie

Rozdelenie metód zvarovania je pevne stanovené podľa normy ČSN EN 34063, ktorá je v spôsobe rozdelenia ekvivalentná s normou ČSN ISO857. Každá metóda je charakterizovaná označením v okrúhlej zátvorke, kde je uvedené číselné označenie metódy zvarovania.

Pre vznik zvaru je potrebné prekonanie energetickej hladiny potenciálnej energie oboch spájaných materiálov. [2] Znázornenie významu aktivačnej energie pre vznik zvarového spoju je viditeľný na obrázku 1.4, kde prvá časť obrázku zobrazuje stav v strede monokryštálu, druhá časť odkazuje na stav na hranici monokryštálu medzi tuhú a tekutou fázou.



Obr. 1.4. Energetické bariéry potenciálnej energie [2]

kde:

W_0 - potenciálna energia nutná pre zmenu polohy iónu uprostred kryštálu,

W_p - vplyv povrchu kryštálov na veľkosť potenciálnej energie,

W_r - potenciálna energia na rozhraní fáze. [2]

Tavné zváranie je vytvorenie spoju dosiahnuté prívodom tepelnej energie a následného vzniku oblasti zvaru, kedy dochádza k nataveniu základného, poprípade aj prídavného materiálu. Tekutá fáza je viazaná na povrch tuhej fázy adhéznymi silami a počas tuhnutia taveniny sa slabé adhézne sily menia na chemickú kovovú väzbu a atómy vytvárajú kryštalovú mriežku. Dochádza k rastu nových zŕn a zároveň zaniknutiu taveniny. Rast zŕn je orientovaný proti smeru odvodu tepla a kolmo na izotermy teda oblasti s rovnakou teplotou. Vzniknutý zvarový kov je charakterizovaný tzv. dendritickou kryštalizáciou, pričom veľkosť dendritov závisí od množstva privedeného tepla na jednotku dĺžky zvaru a rýchlosti odvodu tepla zo zvaru. [2],[3]

Netavné zváranie (tlakové metódy zvárania) je založené na princípe pôsobenia mechanickej energie a to predovšetkým na základe trenia a trecích plôch. Aktiváciou povrchových atómov teplom vznikajúcim pri trení a následne makro alebo mikro deformáciou sú k sebe priblížené spájané povrchy na vzdialenosť pôsobenia medziatómových síl, pričom vzniká vlastný spoj. Kvôli zníženiu zaťažovacej sily sa spájané kontaktné plochy zahrievajú až na teplotu tavenia (ale bez vzniku veľkého objemu taveniny). Tento technologický postup sa chápe ako zlepšenie podmienok pre tvorbu zvaru. [2],[3]

1.6 Zdroje elektrického prúdu pre oblúkové zváranie

Zváranie elektrickým oblúkom je technológia využívajúca princípu tavného zvárania pri ktorom sa užíva tepla elektrického oblúku. Toto teplo sa koncentruje na oblasť malých rozmerov, dosahuje vysokých hodnôt hustoty energie a to nám zabezpečuje rýchle natavenie zváraných plôch základného a prídavného materiálu. [9], [10]

Zdroje zváracieho prúdu dodávajú potrebnú elektrickú energiu pre zapálenie a nasledovné horenie elektrického oblúku. Na zváracie zdroje pre oblúkové zváranie sú kladené požiadavky: [9], [10]

1. Správne zapálenie oblúku a stabilita.
2. Možnosť regulovania jemnosti plynule.
3. Stály výkon a vysoká účinnosť.
4. Statická charakteristika musí odpovedať spôsobu zvárania.
5. Dynamická charakteristika musí zabezpečiť náhly rast výkonu po skrate.
6. Vysoká prevádzková spoľahlivosť.
7. Nízke náklady na nákup a prípadný servis.
8. Prevádzka so zdrojom musí podliehať bezpečnostným predpisom.

Rozdelenie zváracích zdrojov pre oblúkové zváranie:

1. Podľa spôsobu premeny energie
 - a) Zdroje rotačné (zváracie dynamy).
 - b) Zdroje statické, netočivé (zváracie transformátory, usmerňovače a meniče).
2. Podľa druhu dodávaného prúdu
 - a) Zdroje jednosmerného prúdu.
 - b) Zdroje usmerneného prúdu.
 - c) Zdroje striedavého.

1.7 Výber najpoužívanejších metód

Pre spresnenie výberu metód sme zvolili hľadisko bežného a najčastejšieho používania v strojárskych firmách.

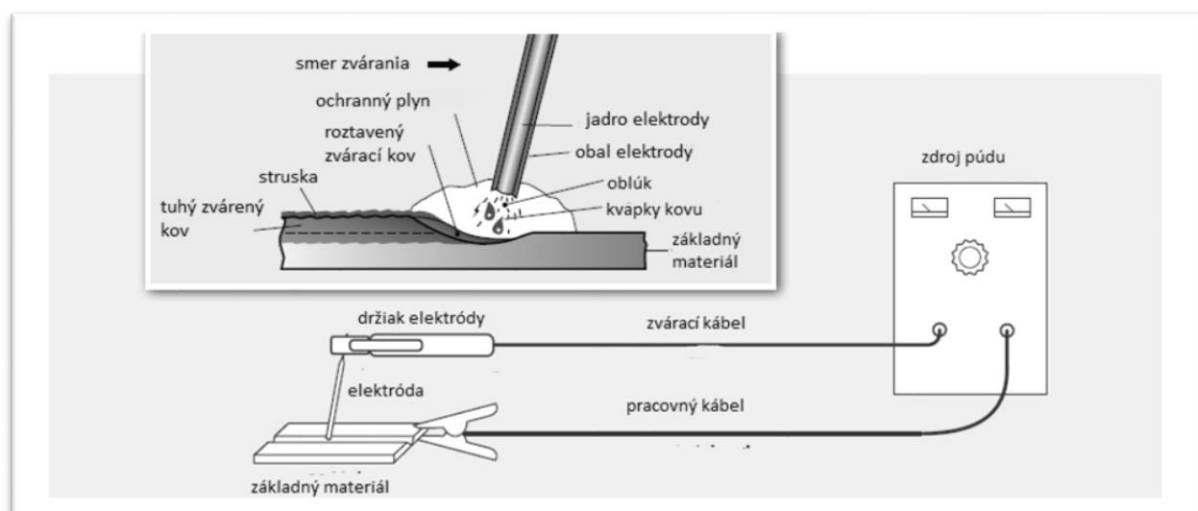
A to metódy:

1. Ručné zváranie obalenou elektródou

Ručné oblúkové zváranie (SMAW) je proces, ktorý používa ako zdroj tepla elektrický oblúk horiaci medzi elektródou a základným materiálom. Tento technologický postup je jedna z mnohých možností a modifikácie zvaraní elektrickým oblúkom. Schéma postupu je zobrazené na obrázku 1.5.

Je to jeden z najuniverzálnejších a najobľúbenejších druhov zvárania. Je použiteľné pre zváranie železných a niektorých neželezných kovov od hrúbky 1,2 mm vo všetkých polohách. Zváranie je v podstate ručne ovládaný proces pričom oblúk je pod kontrolou zvárača. Vzniknutá troska je povlak na povrchu zvaru a musí byť operátorom alebo obsluhou odstránený lebo je nežiaduci. Najpoužívanjšie materiály pre tento proces zvárania sú mierne a nízko legované ocele.

Elektróda sa upne do držiaku elektródy a zvárač manipuluje s hrotom elektródy v určitej vzdialenosti od kovu, ktorý je zváraný. Oblúk je aktivovaný, udržiavaný a ručne zhasnutý podľa potrieb zvárača. Účelom zváracieho zdroju je poskytnutie správneho prúdu a napätia, aktivovanie a udržiavanie zváracieho oblúku. Zdroj energie pre SMAW, musí mať konštantný prúd. Normálny prúdový rozsah je od 25 do 500 A pre použitie konvenčných elektród. Mnoho rôznych veľkostí a typov napájacích zdrojov sú určené pre oblúkové zváranie. Väčšina zdrojov napájania pôsobí na hladine 230 alebo 460 V pri vstupe elektrickej energie. Obdobou napájacích zdrojov sú možnosti nastavenia na 200 alebo 575 V. [13], [14]



Obr. 1.5. Schéma ručne ovládaného zvárania [11]

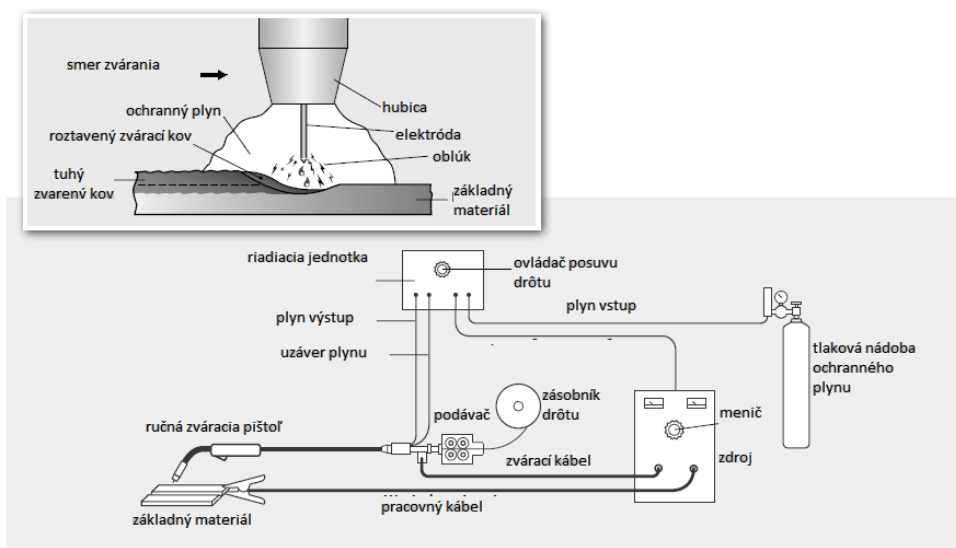
2. MIG/MAG

Pri tomto type zvárania sa odtavujúca kovová elektróda používa na prenášanie el. oblúka a zároveň ako zváracia prísada. Do zváracieho horáka sa privádza „nekonečný“ zvárací drôt cez hnacie kladky. Koniec drôtu je obkolesený plynovou dýzou, cez ktorú prechádza ochranný plyn, ktorý zabraňuje chemickým reakciám s kyslíkom. Tak sa zachová pevnosť a húževnatosť zvarového kovu. Túto zostavu zobrazuje schéma na obrázku 1.6.

Používajú sa dva typy ochranných plynov, ktoré sú zodpovedné za formu zvaru a prechod materiálu:

- a) Inertný plyn (MIG) – znamená málo reaktívny a používa sa na zváranie všetkých kovov okrem ocele. Má len čisto ochrannú funkciu.
- b) Aktívny plyn (MAG) – skladá sa zo zmesi vzácnych plynov, ktoré obsahujú podiel oxidu uhličitého a dobre reagujú. Okrem ochrannej funkcie má aj za úlohu vstupovať do chemických reakcií vo zvarovom kúpeli. [14], [13]

Zdroj zváracieho prúdu – mal by obsahovať citlivé nastavovanie parametrov, aby bola možná voľba intenzity prúdu. V podstate sa na zváračke nenastavuje prúd ale rýchlosť posuvu drôtu. Následne sa zdroj prispôsobí tak, aby napätie v oblúku bolo efektívne pri danej hodnote zváracieho prúdu.



Obr. 1.6. Schéma MIG/MAG [11]

3. TIG

TIG je medzinárodná skratka pre označenie zvarovania el. oblúkom s pomocou neodtavujúcej sa elektródy v ochrannej atmosfére inertného plynu. Elektrický oblúk horí medzi neodtavujúcou sa elektródou a základným materiálom. Wolfrámová elektróda je upnutá v hlave horáku. Cez túto hlavu prúdi aj plyn, ktorý vytvára ochrannú atmosféru. Ochranná atmosféra je tvorená z argónu, ktorá chráni zvar pred prístupom vzduchu a uľahčuje zapálenie oblúka. Zváranie môže byť prevedené buď roztavením a zliatím základných materiálov, alebo s pridaním prídavného materiálu (zväracích kokových tyčínok podobného zloženia). Toto zváranie sa môže robiť buď ručne, čiastočne mechanizovane alebo úplne automatizovane. [12], [13]

Pri zváraní TIG sa používa striedavý prúd (zváranie zliatin Al), ale aj jednosmerný prúd. Zdroj zvyčajne obsahuje vysokofrekvenčný generátor na podporu oblúku kvôli jeho spusteniu pri zváraní striedavým prúdom. Výber striedavého a jednosmerného prúdu závisí od zváraného materiálu. Jednosmerný prúd je určený pre zváranie nerezovej ocele, uhlíkovej ocele, medi a ich zliatin, niklu a jeho zliatiny, a drahých kovov ako je titán. [11]

2. TECHNOLOGIA ZVÁRANIA SVORNÍKOV

Priváranie svorníkov je všeobecný termín pre spájanie kovových čapov a svorníkov alebo podobných konštrukčných prvkov k súčiastkam. Tento proces zvárania sa používa bez prídavného materiálu, s alebo bez vonkajšieho ochranného plynu alebo keramického krúžku, ktorý je po použití zničený. Technológia sa stáva čoraz populárnejšia pre výhody, ktoré so sebou prinášajú pri stálej kvalite zváraných spojov. Špeciálna metóda má rôzne použitia v praxi a perspektívnu budúcnosť vďaka jednoduchosti, nenáročnej vybavenosti a efektívnosti.

Táto špeciálna technológia a jej variácie sú spoľahlivé, široko použiteľné a dôležité pre výrobu v automobilovom priemysle, železničiaroch, stavbe lodí a rôznych konštrukciách. Svorníky môžu byť privarené z širokej škály materiálov v aplikácii vyžadujúcej spojenie, upevnenie, montáži, zabezpečenia, kotvenia zariadení, alebo iných komponentov. Priváranie svorníkov môže byť vykonané pomocou rôznych druhov zvárania, vrátane oblúkového, odporového zvárania, trecieho, alebo tlakového. [16]

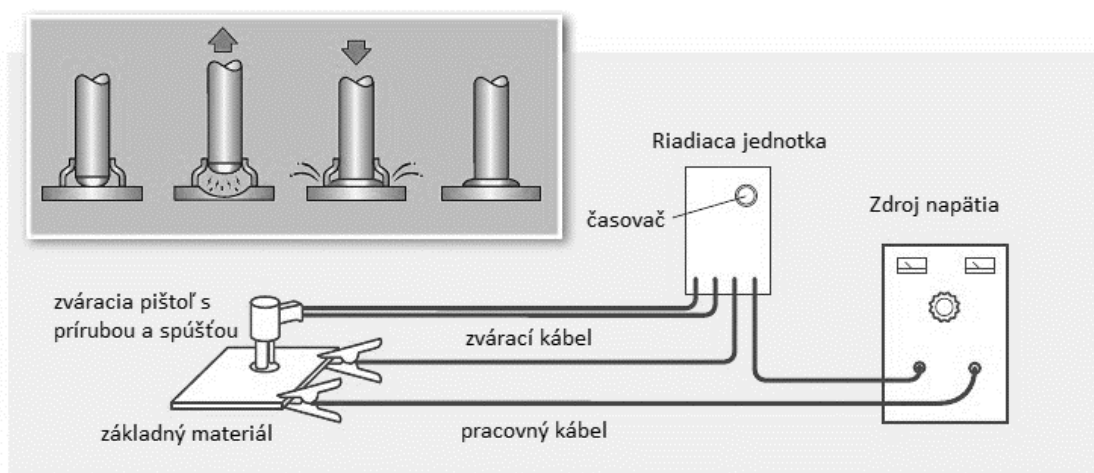
Zváranie svorníku pomocou elektrického oblúku je charakterizované impulzným priebehom s krátkou dobou trvania a vysokou prúdovou intenzitou.

Jedná sa o tavnú zváraciu technológiu, kde je prítomnosť taveniny, bez elektródy (bez prídavného materiálu), ktorá je obrazne nahradená hrotom na svorníku. Zvarový kov je výsledkom premiešania oboch spojovaných materiálov.

2.1 Metódy zvárania svorníkov elektrickým prúdom

2.1.1 Metóda zdvihového zápalu

Prebieha nasledovne: medzi naváraným svorníkom a základným materiálom sa vytvorí výboj oblúkového charakteru, vďaka mechanicke malému vzdialeniu, potom dochádza k nataveniu povrchov a priváraný svorník sa ponorí do taveniny. Hneď potom sa prúd vypne a natavený materiál stuhne. Schéma je zobrazená na obrázku 2.1. Elektrický zdroj je transformátorového typu. [11], [17]



Obr. 2.1. Schéma zvaracieho zariadenia [11]

Metódy zdvihového zápalu poznáme v 3 rôznych kombináciách ktoré majú svoje špecifické znaky:

2.1.1.1 Zdvihový zápal s režimom krátkeho času

Má využitie pre priváranie čapov s aj bez závitov pre priemery 2 - 8 mm. Je vhodné použiť rôzne kombinácie materiálov ako je oceľ, nerezová alebo žiaruvzdorná oceľ. Ide o jednoduchý spôsob keďže pri zvaraní nevyužívame ochrannú atmosféru ani keramický krúžok. Zvar je vhodný pre tenké plechy od cca 0,6 do 0,8 mm. [11], [17]

2.1.1.2 Zdvihový zápal s použitím ochrannej atmosféry

Využitie je rovnaké ako predchádzajúca metóda len je vhodná pre iné priemery a to od 2 do 12 mm. Materiálová kombinácia oceľ, nerezová alebo žiaruvzdorná oceľ. Hlavný rozdiel je v použití ochrannej atmosféry argónu alebo corgonu (ochranný plyn so zložením Argón 82 %, CO₂ 18 %). Prítomnosť atmosféry slúži ako forma výronu pri zvaraní, k vytlačení atmosféry z okolia zvaru aby nevznikala oxidácia a ako ochrana pred pórovitosťou zvaru a základného materiálu. [11], [17], [18]

2.1.1.3 Zdvihový zápal s využitím ochranných keramických krúžkov

Slúži k zvaraniu závitových svorníkov, kotviacich trŕňov a iných súčastí s priemerom o rozsahu 2 - 25 mm. Technológia je vhodná pre materiály uhlíková oceľ, žiaruvzdorná a nerezová oceľ. Ako ochrana zvaru v tomto prípade slúži keramický krúžok ktorý je zobrazený na obrázku 2.2. Krúžky slúžia rovnako ako ochranná atmosféra, k úprave výronu a odstráneniu atmosféry z okolí zvaru. Tato technológia je vhodná pre zvaranie špeciálnych tvarov, dokonca aj oceľových guľiek, „T“ trŕňov a iných tvarových prvkov ktoré majú využitie v elektrotechnickom, strojárskom a stavbárskom priemysle. [17]



Obr. 2.2. Ochranný keramický krúžok [36]

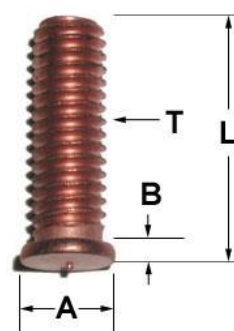
2.1.2 Metoda hrotového zápalu s kondenzátorovým výbojom

Svorník je v styku so súčasťou pomocou malého hrotu na konci svorníku. Priebeh sa dá popísať nasledovne. Po zapojení prúdového zdroja sa vytvorí elektrický oblúk a príde k nataveniu materiálu aj základného, aj svorníku. Po odpojení prúdu stuhne materiál a vytvorí sa pevné spojenie. Elektrický zdroj je kondenzátorového typu. [17]

Princíp metódy spočíva v tvare kontaktných plôch. Na priváratej ploche svorníku je výstupok o dĺžke 0,8 až 1 mm. Parametre sú na obrázku 2.3.1 a 2.3.2.



Obr. 2.3.1. Typy svorníkov [37]



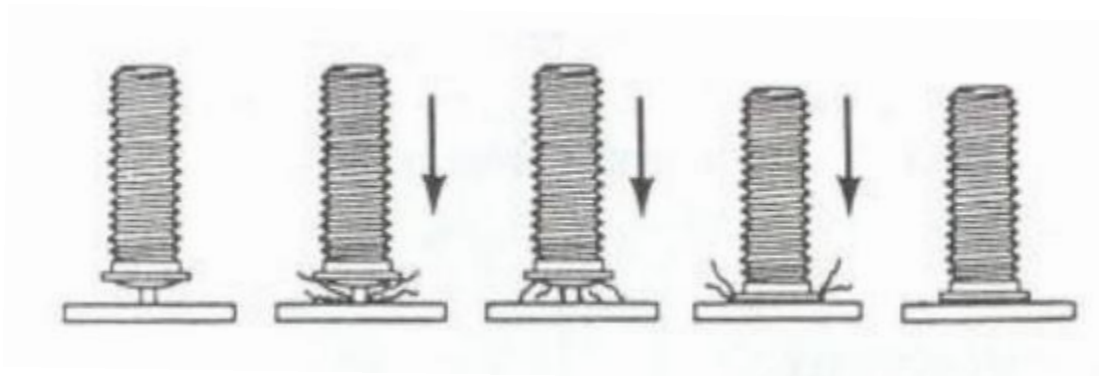
Obr.2.3.2. Parametre svorníku [38]

Keď zvárač stlačí spúšť na zváracíj pištole zapne sa elektrický obvod a hrot sa zohreje na vysokú teplotu, začne sa kov odparovať a zapáli sa elektrický oblúk ktorý následne horí po celej ploche svorníku, čo zaručuje vysokú kvalitu zvaru. Dôležitá je tiež doba zvárania, ktorá je v tomto prípade kratšia ako 1 ms. Vďaka tak krátkej dobe sa nestihne okolitý materiál priveľa ohriať a tak pozorujeme malé tepelné ovplyvnenie, čo je výhoda technológie. [18]

2.1.2.1 Metóda bez medzery (kontaktná)

Svorník sa vloží do pištole v ktorej je úchopový mechanizmus vybavený pružinou. Hrot svorníku sa položí na základný materiál a pružina tlačí prítlačnou silou proti plechu.

Po zapnutí obvodu sa kondenzátorový výboj dostane do najslabšieho miesta, t.j. do hrotu svorníku. Nastáva explózia, čiastočné odparenie a tvorba elektrického oblúku. Prítlačná sila pružiny natlačí svorník kolmo do základného materiálu, ako je zobrazené na obrázku 2.4.

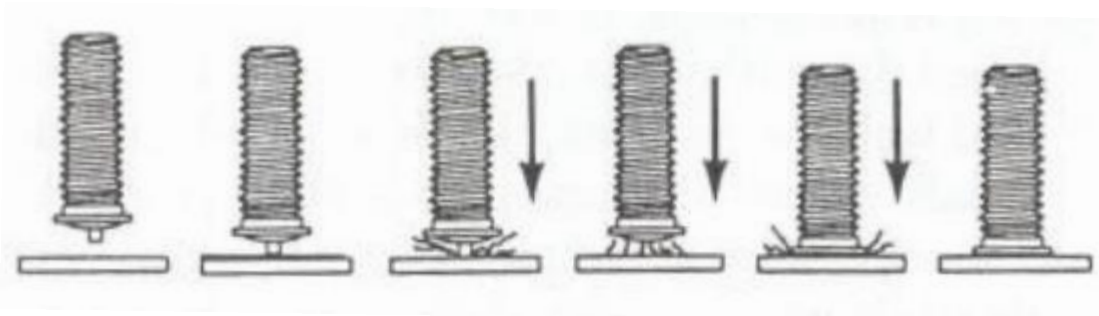


Obr. 2.4. Schéma metódy bez medzery [19]

2.1.2.2 Metóda s medzerou

Pred začatím zvarania technológ určí normalizovanú vzdialenosť hrotu svorníka a základného materiálu. Po stlačení spúšte pracovníkom sa začne hrot vďaka pružine približovať k základnému materiálu a pomocou kondenzátorového výboju dej opakuje ako u kontaktnej technológie. Metóda s medzerou je výhodná v kratšom operačnom čase a umožňuje zárať hliníkové zliatiny bez ochranej atmosféry (obr. 2.5). [18]

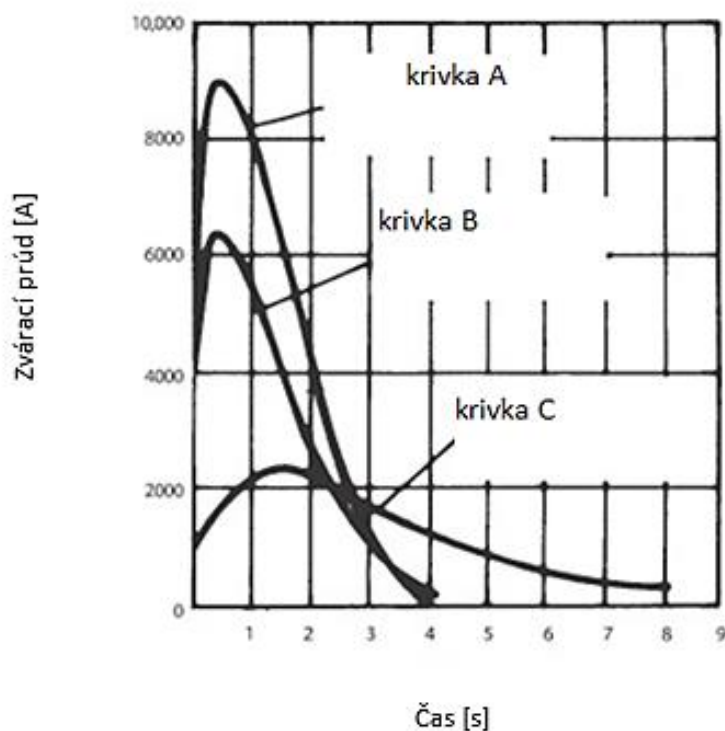
Zóna ovplyvnená zvarom je cca 0,1 mm. Je to fakt, ktorý umožňuje použitie základného materiálu o hrúbke 0,6 - 0,8 mm, bez toho aby sa ofarbila alebo mechanicky poškodila druhá strana základného materiálu. Preto má táto technológia využitie aj z dekoratívneho hľadiska. [17], [19]



Obr. 2.5. Schéma metódy s medzerou [19]

2.2 Časový priebeh výboja metódy hrotového zápalu s kondenzátorovým výbojom

Špecifický priebeh výboja v porovnaní s inými metódami zvarania, kde je viditeľný rýchly nástup zvaracieho prúdu, po dosiahnutí maximálnej hodnoty nastupuje exponenciálny pokles, graficky zobrazený na obrázku 2.6.



Obr. 2.6. Krivky výboja [19]

kde:

Krivka A – metóda s medzerou, zväracia amplitúda 9000 A za čas 1,2 ms

Krivka B – metóda kontaktná, zväracia amplitúda 6500 A za čas 2,3 ms

Krivka C – metóda ručného oblúkového zvärania, zväracia amplitúda 2300 A za čas 4,5 ms

2.3 Skutočný tepelný príkon Q_s

Skutočný tepelný príkon Q_s je daný nasledovným vzťahom [20]

$$Q_s = \eta \times \frac{U_z \times I_z}{v_z} \quad [\text{J.cm}^{-1}] \quad (3)$$

U_z – zväracie napätie [V],

I_z – zvärací prúd [A],

v_z – zväracia rýchlosť [cm.s^{-1}],

η – súčiniteľ účinnosti prenosu tepla pre svorníkovú metódu (0,80 - 0,90).

2.4 Výhody a nevýhody zvärania svorníkov a súčastí

Technológia zvärania svorníkov umožňuje zvýšenú produktivitu práce, tvorba zvarov je bez narušenia základného materiálu či už mechanického alebo estetického negatívneho vplyvu.

Vysoká kvalita zváraných spojov. Je potreba presného nastavenia. Technológia je moderná a má čoraz širšie spektrum použitia. [17], [19]

2.5 Príslušenstvo a príklady aplikácie

Jednoduché príslušenstvo (obrázok 2.7) sa skladá zo zváracieho pištole spojené so zväracím strojom. Zväracia zostava je kompaktná vďaka malým rozmerom a nízkej hmotnosti.

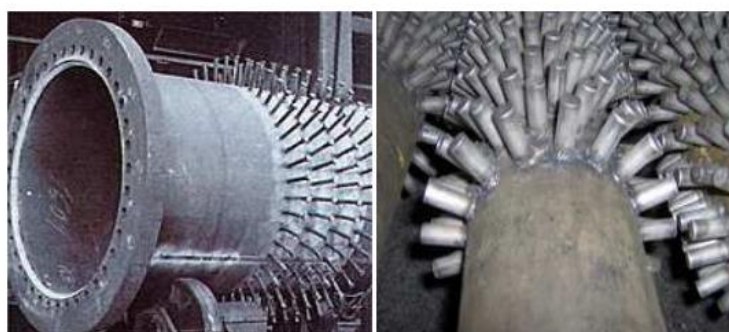


Obr. 2.7. Zväracia pištoľ a zvärací stroj [39]

Široká škála využitia a názorné príklady vidieť na obrázku 2.8.1 a 2.8.2. Výhodou je rýchly pracovný čas, ktorý umožňuje veľký výkon zvärača.



Obr. 2.8.1. Príklad využitia zvarov na nosných konštrukciách v stavebníctve a príklad použitia bez poškodenia základného materiálu a bez degradujúceho efektu



Obr. 2.8.2. Možnosti využitia ako príprava pre tepelnú izoláciu v energetike [39]

3.EXPERIMENTÁLNE TECHNIKY

3.1 Metalografia

Je vedná disciplína, ktorá objasňuje problematiku skúmania vzoriek materiálov a ich štruktúru. Predmetom skúmania je množstvo kovových materiálov, zvarov, odliatkov, defektov, avšak má aj rôznorodejšie využitie ako napríklad v súdnom inžinierstve pri vyhodnocovaní havárií, porúch, v strojníctve na určovanie odchýlok vo výrobných procesov a iných odvetviach. [30]

3.2 Metalografické výbrusy

Metalografická vzorka obsahuje plochu ktorá je pripravená pomocou zaručených postupov na analýzu a nazýva sa metalografický výbrus. Tento proces prípravy sa riadi jasnými pravidlami, ktoré zohľadňujú všetky aspekty výberu. Je potreba uvážiť homogenitu chemického zloženia, je možné odobranie viacerých vzoriek pre objektivnosť, tvar a rozmery vzorky z ktorej je výbrus pripravovaný a v neposlednej rade aj ekonómiu procesu brúsenia. [30] U heterogénnych materiálov ako napríklad zvary, je nutnosťou zvoliť vhodný rez, napríklad úzky pás cez celú hodnotenú plochu. [31]

3.3 Postup pri výrobe metalografického výbrusu

Voľba miesta

Je rozhodujúca pre správne a objektívne posúdenie štruktúry materiálu. V pracovnom prostredí je bežné, že sa vyberá viac miest odberu.

Odber vzorky

Dnes poznáme rôzne spôsoby a techniky delby vzorky ako je napríklad: rezanie, frézovanie, rozbrusovanie atď. Ako vedľajší proces vzniká pri týchto metódach intenzívne teplo, čo môže zhoršiť kvalitu vzorky alebo ju dokonca zničiť. Preto sa používajú chladiace systémy a chladivá ako napríklad obštrek vodou. [29]

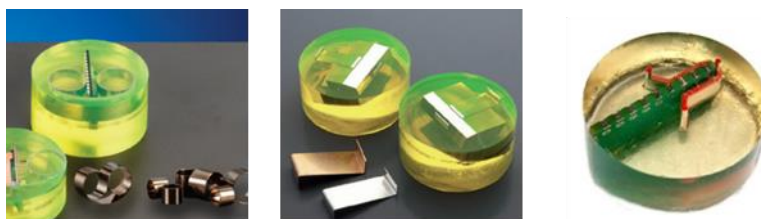
Preparácia vzorky

Je proces, ktorý normalizuje plochu metalografického vzorku pre lepšiu manipuláciu pri nasledovnom brúsení a leštení. [29]

V praxi sa používajú dve základné metódy preparácie :

Preparácia za studena

Používa sa u vzoriek (obr. 3.1), ktoré sú náchylné na zmeny svojej štruktúry vplyvom zvýšených teplôt. Postup je nasledujúci – vzorku umiestnime do špeciálnej nádoby, zalejeme ju kvapalinou, ktorá po určitej dobe stuhne (tekutá živica epoxidová alebo metylakrylová, Dentacryl). Pre lepšie umiestnenie a zafixovanie polohy je vhodné použiť špeciálne vložky.



Obr. 3.1. Vzorky vyrobené postupom preparácia za studena [34], [35]

Preparácia za tepla

Použitie u vzoriek, pri ktorých nehrozí ovplyvnenie štruktúry ani zvýšenou teplotou, ani zvýšeným tlakom. Postup pri ktorom je potreba lisu (obr. 3.2) vyzerá nasledovne: vzorka sa umiestni do vyhrievanej tlakovej nádoby, zasype sa práškovou živicom alebo práškom zo špeciálnej umelej hmoty. [10] Tento prášok sa pri pôsobení tepla (100 – 180 °C) a tlaku (30 – 50 kPa) roztaví a dokonale obklopí vzorku. Proces je rýchlejší.



Obr. 3.2. Lis na metalografické vzorky [41]

Značenie vzorky

Pri sériách vzoriek je potrebné aby nedošlo k zámene alebo strate, slúži aj k označeniu polohy plochy výbrusu voči predmetu, aplikovaný na metalografický výbrus. Označenie je realizované pomocou vibračnej pištole ako na obrázku 3.3.



Obr. 3.3. Vibračná pištoľ [34]

Brúsenie vzorky

Následný proces po preparácii vzorky. Pri brúsení dochádza k odoberaniu vrstvy hmoty z povrchu vzorky. Brúsenie prebieha pomocou brúsnych papierov (obr.3.4), ktoré sa vymieňajú v závislosti od štádia brúsenia od najhrubšieho zrna až po najjemnejšie. [29]



Obr.3.4 Brúsne papiere

Mechanické brúsenie

Táto metóda je realizovaná pomocou brúsky (obrázok 3.5) na metalografické výbrusy. Metóda sa delí na suchú a mokrá techniku. U suchej zvažujeme teplotné ovplyvnenie vzorky a preto volíme nižšie otáčky. Mokrú techniku je realizovaná pomocou chladivej tekutiny, toto chladenie umožňuje zabráneniu vyhriatiu mikroštruktúry v tuhom stave a tak nastaviť vyššie otáčky kotúča s brúsnym papierom a tým zvýšiť odber materiálu čo znižuje pracovný čas postupu. [33]



Obr. 3.5. Přístroj na mokré mechanické brúsenie [41]

Leštenie vzorky

Po procese brúsenia, s ktorým sme si pripravili takmer dokonalý povrch je treba odstrániť z výbrusu všetky ryhy a nerovnosti, aby sme dosiahli krásne hladký povrch. Pri leštení sa odoberá malé množstvo materiálu a prichádza k deformáciám ktorým sa nedá zabrániť a tak vzniká Beilbyho vrstva, ktorá je pre nás nežiadúca. V praxi sa využívajú tri metódy leštenia: mechanické, chemické a elektrolytické. Mechanické využíva leštiace plátna (obr.3.6), diamantovú pastu a roztok na vlhčenie (denaturovaný lieh). [32]



Obr. 3.6. Plátna na mechanické leštenie [35]

Leptanie vzorky

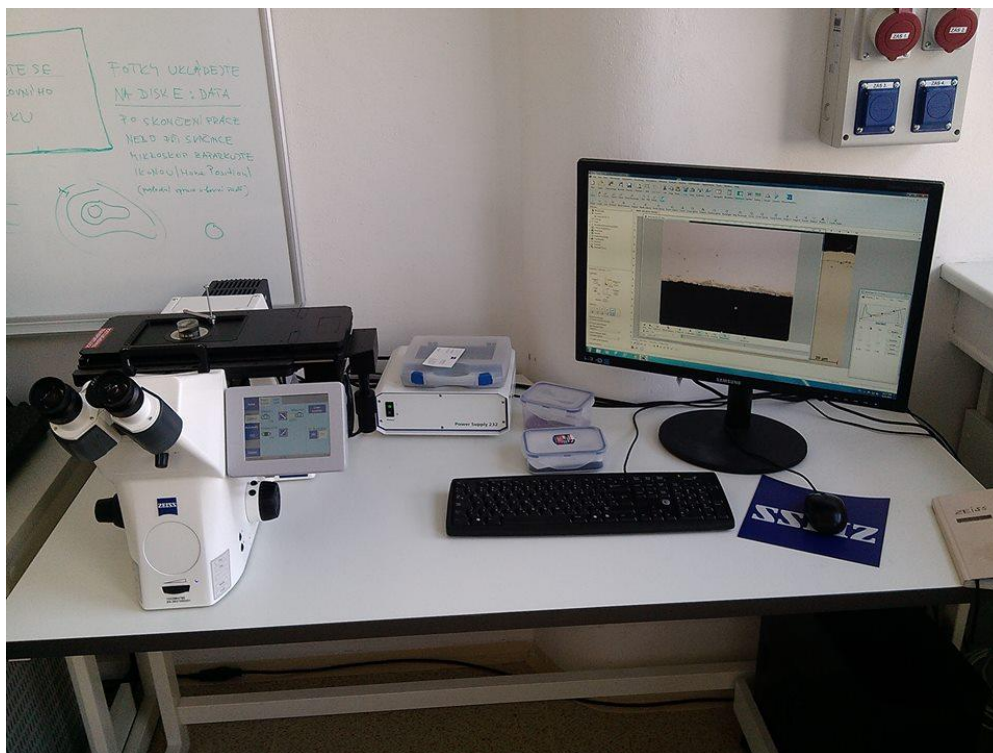
Vzorka na leptanie reaguje odlišne. Oblasti hraníc zŕn sa leptajú viac a tým odkrývajú mikroštruktúru vzorky. Leptanie je aj proces ktorým odstraňujeme Beilbyho vrstvu. Leptanie sa vykoná čiastočným ponorením do vybraného chemického roztoku v správnej teplote na určitý čas. Metódy leptania sú: chemické, elektrolytické a špeciálna metóda iontového odprašovania. [32]

Svetelná metalografická mikroskopia

Základná metóda pozorovania štruktúry kovov. Základ je v pozorovaní odrazeného svetla od vytvorených rovinných rezov na metalografickom vzorku svetelným mikroskopom (obrázok 3.7). Touto metódou je vhodné pozorovať a hodnotiť štruktúrne útvary s malými rozmermi

($10^3 - 10^6$ nm). Je to veľmi spoľahlivá, presná a rýchla metóda pre hodnotenie štruktúrnych fáz. Existujú rôzne spôsoby ako lepšie zviditeľniť pozorovaný prvok. Poznáme niekoľko optických metód, ktoré sa dajú použiť ako v nenaleptanom stave, tak aj v naleptanom:

- a) Svetlé a tmavé pole.
- b) Farebný kontrast (polarizované svetlo, fázový kontrast, interferenčný kontrast, použitie rôznych filtrov, úprava povrchu, farebné leptanie).



Obr. 3.7. Svetelný mikroskop značky ZEISS

3.4. Skúška tvrdosti podľa Vickersa

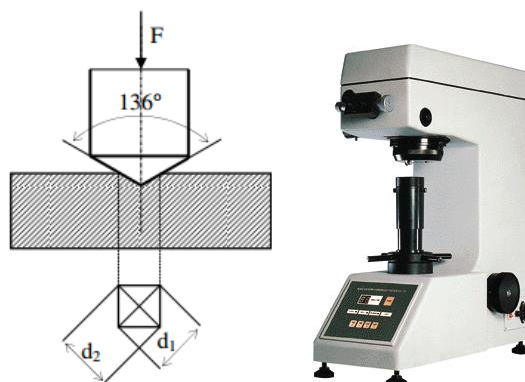
Princíp skúšky je vtlačanie štvorbokého ihlana z diamantu do povrchu skúšaného materiálu (vzorky) zaťažujúcou silou F , vzniká odtlačok podľa obrázku 3.8. Po odľahčení sa získajú rozmery uhlopriečok d_1 a d_2 a spočíta sa stredná hodnota d . Tvrdosť podľa Vickersa je určená podľa výsledného podielu zaťažujúcej sily a povrchu odtlačku A .

$$HV = \frac{F}{A} \quad (4)$$

V prípade, že je zaťažujúca sila vyjadrená v N a uhlopriečka v mm pre výpočet platí nasledujúci vzťah:

$$HV = 0,189 \frac{F}{d^2} \quad (5)$$

Vzdialenosť stredu odtlačku od okraja skúšobného telesa, alebo ku okraju susedného odtlačku musí byť najmenej $2,5d$. Hrúbka skúšobného telesa musí byť najmenej $1,5d$. Uhlopriečky sa merajú s presnosťou na $\pm 0,001$ mm. [43]



Obr. 3.8. Schéma odtlačku a fotografia zariadenia

4. EXPERIMENTÁLNY MATERIÁL

V experimentálnej časti boli použité bežne dostupné materiály, ktoré sme zdokumentovali.

4.1 Základný materiál

Pri navrhovaní vzoriek sme uvažovali a použili komerčne dostupný plech používaný pre konštrukčné aplikácie. Vzorky boli pripravené vo firme ktorá sa zaoberá kovovýrobou.

4.1.1 Konštrukčná oceľ S235JR

Rozmery vzoriek boli určené podľa obrázku 4.0.



Obr. 4.0. Geometria konštrukčnej ocele

Tabuľka 4.1. Prehľad vlastností S235JR

<i>Druh ocele</i>	Nelegovaná akostná konštrukčná oceľ
<i>Chemické zloženie C</i>	0,17 %
<i>Medza klzu Re</i>	235 MPa
<i>Medza pevnosti Rm</i>	360 - 510 MPa
<i>Minimálna ťažnosť</i>	26 %
<i>Minimálna nárazová práca Kv pri 20°</i>	27 J
<i>Zvárateľnosť ocele</i>	Vhodná pre zváranie všetkými bežnými spôsobmi. S rastúcou hrúbkou a obsahom uhlíkového ekvivalentu sa zvyšuje riziko trhlin za studena v oblasti zvaru.

Oceľ bola valcovaná za studena, využitie ako súčasť konštrukcií, stroje namáhané staticky ale aj dynamicky, široké spektrum využitia v oblasti stavebníctva, kovoobrábania a pre zámočnicke činnosti. Ekvivalent tejto ocele je podľa normy ČSN EN 10025-2. Štruktúra základného materiálu S235 JR je viditeľná na obrázku 4.0.1.

Tabuľka 4.1.1 Chemické zloženie ocele S235JR v %

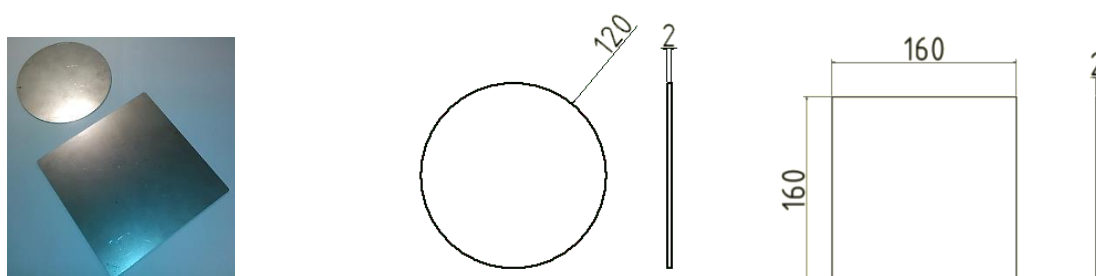
<i>C</i>	<i>Mn</i>	<i>P</i>	<i>S</i>	<i>N</i>
0,17	1,40	0,045	0,045	0,009



Obr. 4.0.1. Mikroštruktúra základného materiálu S235JR tvorený Ferritom a Perlitom

4.1.2 Korozivzdorná oceľ AISI 314L

Pre experimentálnu časť boli pripravené vzorky z korozivzdornej ocele s rozmermi podľa obrázku 4.1.



Obr. 4.1. Geometria korozivzdornej ocele

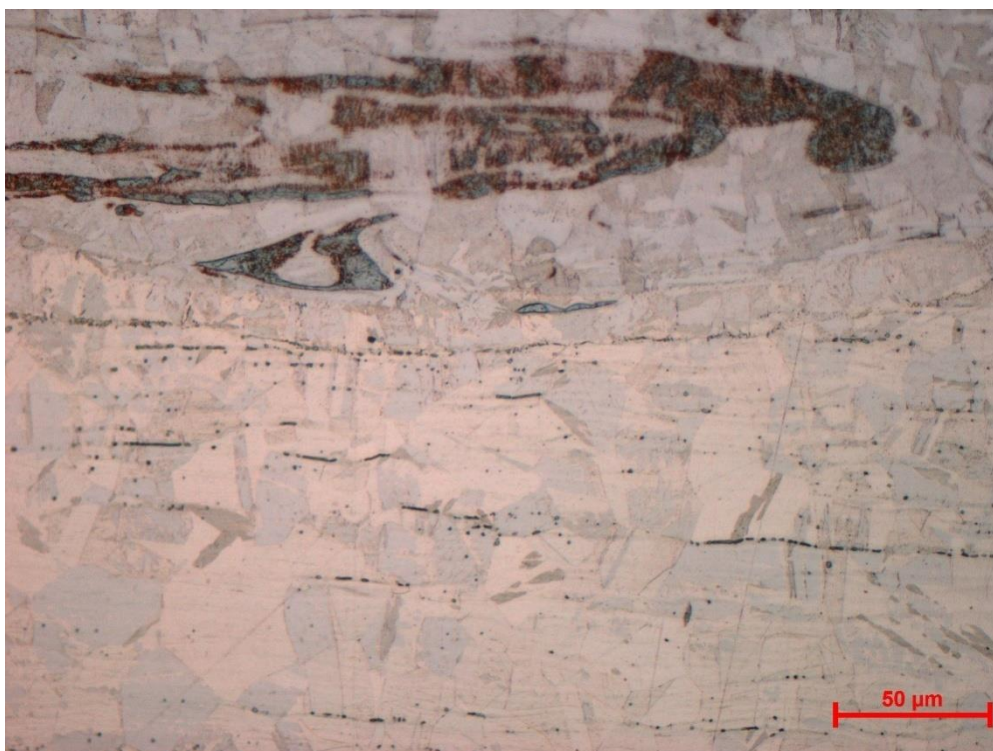
Tabuľka 4.2. Prehľad vlastností korozivzdorná oceľ 314

<i>Druh ocele</i>	Austenitická korozivzdorná oceľ
<i>Chemické zloženie C</i>	menej než 0,1 %
<i>Medza klzu Re</i>	230 - 300 MPa
<i>Medza pevnosti Rm</i>	510 MPa
<i>Minimálna ťažnosť</i>	50 %
<i>Minimálna nárazová práca Kv pri 20°</i>	27 J
<i>Zvárateľnosť ocele</i>	Zvárateľnosť elektrickým oblúkom pri použití všetkých metód zvarovania je dobrá, nevhodná na zvarovanie plameňom.
<i>Ochrana proti korózii</i>	Vynikajúca odolnosť voči korózii vo vodnom prostredí a v ovzduší bez prítomnosti chloridu a anorganických kyselín.

Tabuľka 4.3 Špecifické chemické zloženie

<i>Uhlík</i>	0,1 %
<i>Chróm</i>	16 - 22 %
<i>Nikel</i>	8 - 40 %
<i>Molybdén</i>	0 - 5 %

Austenitická chróm - niklová oceľ je široko používaným druhom antikoroového materiálu s veľmi dobrou odolnosťou voči korózii, tvárnosťou za studena a zvárateľnosťou. Odolná voči vode, vodnej pare, vlhkosti vzduchu, jedlým kyselinám, slabým organickým a anorganickým kyselinám. Po zvaraní plechu do hrúbky 6 mm odolná proti medzikryštalickej korózii i bez dodatočnej tepelnej úpravy (nízky obsah uhlíka). Schválená pre teplotné namáhanie do 400 °C, pri vyšších pracovných teplotách by sa mala používať titanom stabilizovaná oceľ AISI 321 [40]. Pozorovaná štruktúra je na obrázku 4.1.1.



Obr. 4.1.1. Štruktúra antikorozynej ocele 314 tvorená austenitom v tesnej blízkosti spoju

4.2 Použitá technika

4.2.1 Zvárací stroj PRO-C 1500 (obr 4.2)

Vhodný pre zváranie svorníkov a iných prvkov hrotovým zápalom. Funkcia je zobrazená na zobrazovacom zariadení na prednej strane prístroja. Nastavenie parametrov je možné jednodotykovým tlačidlom do prednastaveného programu v závislosti na materiále a hrúbke zváraného prvku.

Vyhodnotenie zvaru - napätie na kondenzátoroch, čas, napätie na elektrickom obvode, energia, zdvih, hĺbka ponorenia do tavného kúpeľa a rýchlosť pracovného pohybu, počítadlo zvarov a tolerancie zvaru.



Obr. 4.2. Pro-C1500

Tabuľka 4.4. Parametre zväracieho stroja

Zvärací rozsah	Ø 2 - 10 mm
Materiál (svorník/plech)	Oceľ, korozivzdorná oceľ, mosadz, hliník
Kapacita kondenzátorov	132,000 (nastaviteľná 88,000/44,000) mF
Zvärací čas	1- 3 ms
Kadencia	Až 40 ks podľa vedľajšieho času
Vybavenie	Teplotne ovládaný ventilátor, mikroprocesor, ovládací display
Pripojenie	230 V a 50 Hz
Poistka	10 A
Ochranná trieda	IP21
Rozmery	275 x 265 x 470 mm
Hmotnosť	20 kg

4.2.2 Zväracia pištoľ

Technická špecifikácia pištole použitej pri zváraní.

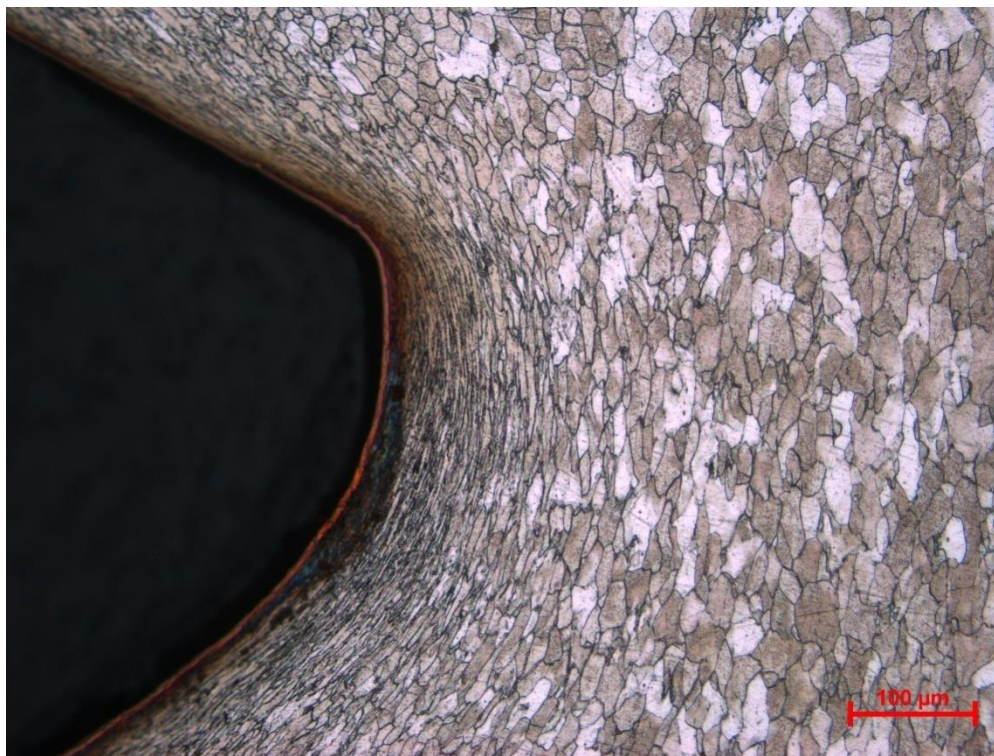
Tabuľka 4.5. Parametre zväracej pištole [27]

<i>PKM101/1B</i>	
Spôsob zvárania	hrotový zápal, kondenzátorový výboj
Druh zvárania	kontaktný
Priemerový rozsah	2 - 10 mm
Materiál	oceľ, nerez , pozink, hliník
Zvärací čas	2 - 5 ms
Rozmery	40 x 100 x 183 mm
Hmotnosť	0,7 kg

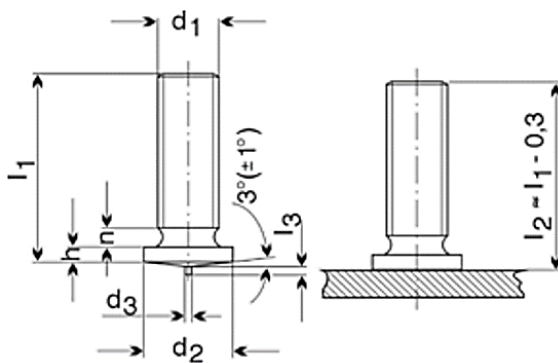
4.2.3 Svorník

Boli použité svorníky podľa DIN 32501. Svorník pre zváranie hrotovým zápalom, vonkajší závit (DIN 13). Svorníky sú lisované za studena, vrátane závitú. Svorník disponuje prírubou, ktorej úlohou je koncentrovať elektrický oblúk a zväčšiť zváranú plochu. Svorník má určené parametre podľa obrázku 4.4.

Svorníky z materiálu St37-3k s ekvivalentom podľa normy ČSN materiál 11 378 sú proti korózii chránené galvanickou úpravou - pomedením. Hrúbka vrstvy je cca 4 - 8 mikrometrov odpovedajúce norme DIN 267. Štruktúru svorníku znázorňuje obrázok 4.3.



Obr. 4.3. Mikroštruktúra oceli svorníka



Obr. 4.4. Geometria svorníku

Tabuľka 4.5.1 Chemické zloženie ocele svorníku 11 378 v %

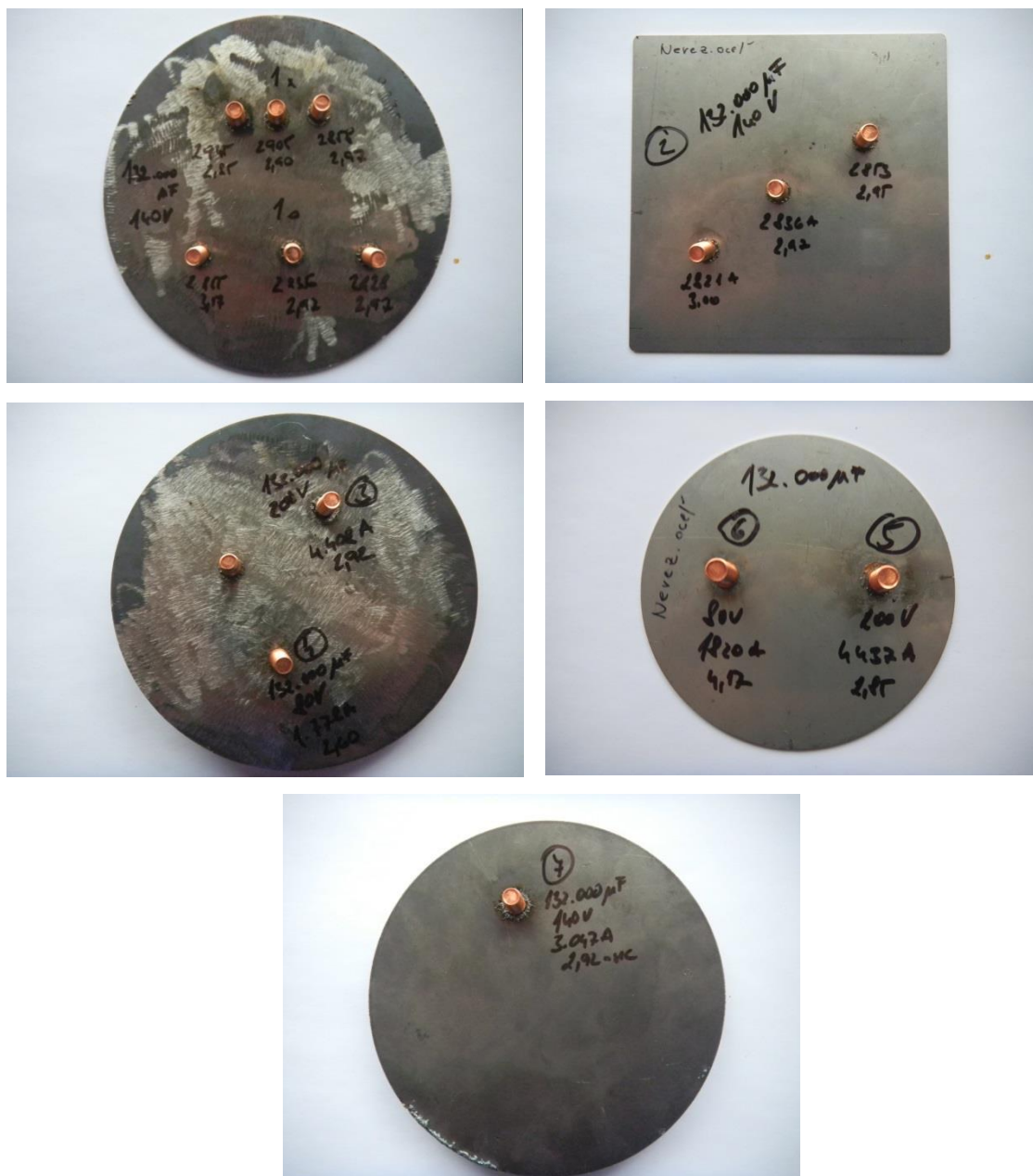
<i>C</i>	<i>P</i>	<i>S</i>	<i>N</i>
0,17	0,04	0,04	0,009

4.3 Vzorky a použité parametre

Vzorky (obr.4.5) boli zhotovené v spolupráci v firmou PROWELD, ktorá vykonala prípravu a výrobu vzoriek podľa zadaných parametrov. Vzorky boli vystavené optimálnym parametrom a podmienkam zvárania v kombinácii s korozivzdornou oceľou a uhlíkovou oceľou. Napätie a prúd zváracieho prístroja boli zvolené tiež neprimerane vysoké a nízke. Zváracia doba bola stanovená na cca 3 ms.

Tabuľka 4.6. Zváracie parametre

<i>Názov</i>	<i>Kombinácia materiálu</i>	<i>Podmienky</i>	<i>Hodnota na kondenzátore [mF]</i>	<i>Zvárací prúd [A]</i>	<i>Zváracie napätie [V]</i>	<i>Čas zvárania [ms]</i>
1	homogénna	optimálne	130,000	140	2,858	2,97
2	homogénna	optimálne	132,000	140	2,855	3,17
3	heterogénna	optimálne	132,000	140	2,821	3,00
4	homogénna	vysoké	132,000	200	4,408	2,92
5	homogénna	nízke	132,000	80	1,778	2,60
6	heterogénne	vysoké	132,000	200	4,437	2,85
7	heterogénne	nízke	132,000	80	1,82	4,17
8	homogénne	optimálne neočistený základný materiál od okují	132,000	140	3,047	2,92



Obr.4.5. Fotky vzoriek zhotovené firmou PROWLED

V laboratóriu boli vzorky brúsené pomocou SiC papierov na mechanickej brúske mokrou cestou, ako chladivo bola použitá voda. Vzorky boli leštené na leštiacich plátnach s diamantovou pastou (chladivo-denaturovaný lieh). V nenaleptanom stave bola štruktúra hodnotená na stereolupe a invertovanom svetelnom mikroskope. Pomocou leptadiel na uhlíkovú oceľ Nital 2 % a nerezovú oceľ Marble boli vzorky leptané a pozorované na svetelnom mikroskope.

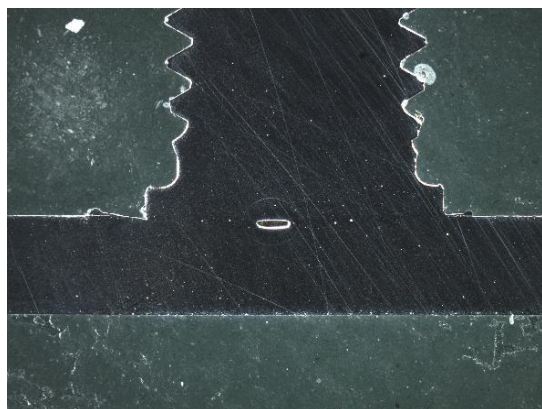
Obrázky použité v práci sú len výberom. Kompletná zložka obrázkov je uložená na CD - ROM priložená k záverečnej práci ako príloha.

4.3.1 Vzorka 1

Vzorka je vyrobená z uhlíkovej ocele a svorníku z uhlíkovej ocele, teda ide o homogénne spojenie pričom boli použité optimálne podmienky zvarovania a to odstránenie okují zo základného materiálu, optimálne zvaracie napätie 140 V a prúd 2,858 A za čas 2,97 ms.

Ide teda o z hľadiska technologického postupu správny a funkčný zvar ktorý sa používa v technickej praxi pri vyhotovení dielcov. Na fotografii zo stereolupy (obrázok 4.5) je vidieť zvar v takmer bezchybnom prevedení až na mierny defekt v oblasti bývalého hrotu svorníku.

Pre lepší detail je defekt zobrazený aj na svetelnom mikroskope v nenaleptanom stave na obrázku 4.6 .



Obr. 4.5. Pohľad zo stereolupy - mierny defekt



Obr. 4.6. Nenaleptaný stav - mierny defekt

V naleptanom stave (obrázok 4.7) je dobre viditeľná teplom ovplyvnená oblasť.

Došlo k nataveniu, pričom okraje spoju sú dekorované vytlačenou vrstvou stuhnutého kovu, ktorá nemá kontakt so základným materiálom. Spoj svorníku a základného materiálu je tvorený pásmom zatuhnutej taveniny, ktorá vykazuje kolumunárne kryštály (dendrity).

Ich makroštruktúra je tvorená štruktúrou po rýchlom ochladení. Vzhľadom k nízkemu obsahu uhlíku u oboch materiálov sa nejedná priamo o martenzit.



Obr. 4.7. Naleptaný stav - TOO

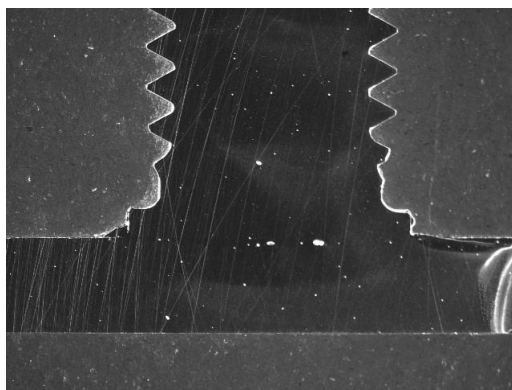
Detailný pohľad na dendrity zvarového kovu, ktoré sú tvorené pravdepodobne štruktúrou martenzitického typu s malým obsahom uhlíku v priemere 0,17 %hm.



Obr. 4.8. Oblasť zvarového kovu

4.3.2 Vzorka 2

Vzorka pripravená rovnakým spôsobom s rovnakými optimálnymi podmienkami zvárania ako u Vzorky 1. A to optimálne zvaracie napätie 140 V a prúd 2.855 A za čas 3.17 msec. Obrázok 4.9 zhotovený stereolupou zobrazuje spoj bez chýb s prítomnosťou malých pórov, ktoré ale nebránia funkcii zvaru.



Obr. 4.9. Vzorka 2 - pohľad zo stereolupy

Po naleptaní Nitalom 2% (obrázok 4.10) je vidieť teplom ovplyvnená oblasť, rekryštalizovaná štruktúra.



Obr. 4.10. Mikroštruktúra v oblasti zvaru – viditeľný základní materiál, TOO a zvarový kov s usmernenou mikroštruktúrou

Pri pohľade (obrázok 4. 12) na 1000x zväčšenie oblasti prechodného materiálu medzi základným materiálom a svorníkom je vidieť štruktúra vzniknutá rýchlym ochladením. Kvôli malému objemu oboch zváraných prvkov dochádza k rýchlemu odvodu tepla.

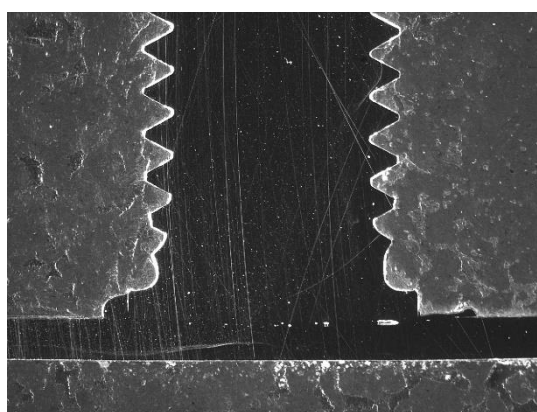


Obr. 4.12 Zvarová oblast

4.3.3 Vzorka 3

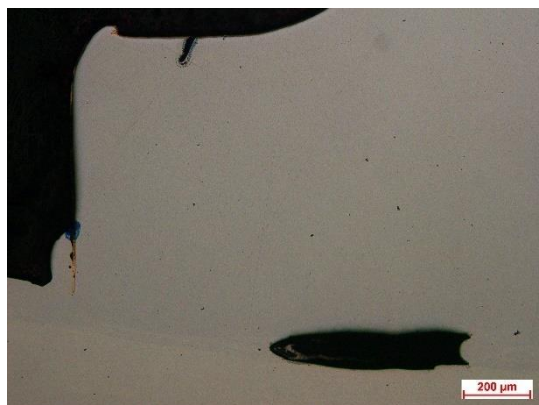
Vzorka bola pripravená spojením nerezovej ocele (plech) a svorníku z uhlíkovej ocele, jedná sa teda o heterogénny spoj. Pre tento pokus boli použité optimálne podmienky pre možnosť porovnania s naopak príliš vysokými nastaveniami zvaracieho stroja. V tomto prípade bolo nastavené zvaracie napätie na hodnotu 140 V, prúd na 2,821 A za čas 3,00 ms.

Z pohľadu stereolupy na obrázku 4.13 je viditeľný celistvý zvar bez výrazných defektov.



Obr. 4.13. Snímka zo stereolupy - heterogénny spoj

Vzorka (obrázek 4.14) pred naleptaním nevykazovala zvláštne poruchy s výnimkou drobných defektov po priblížení:

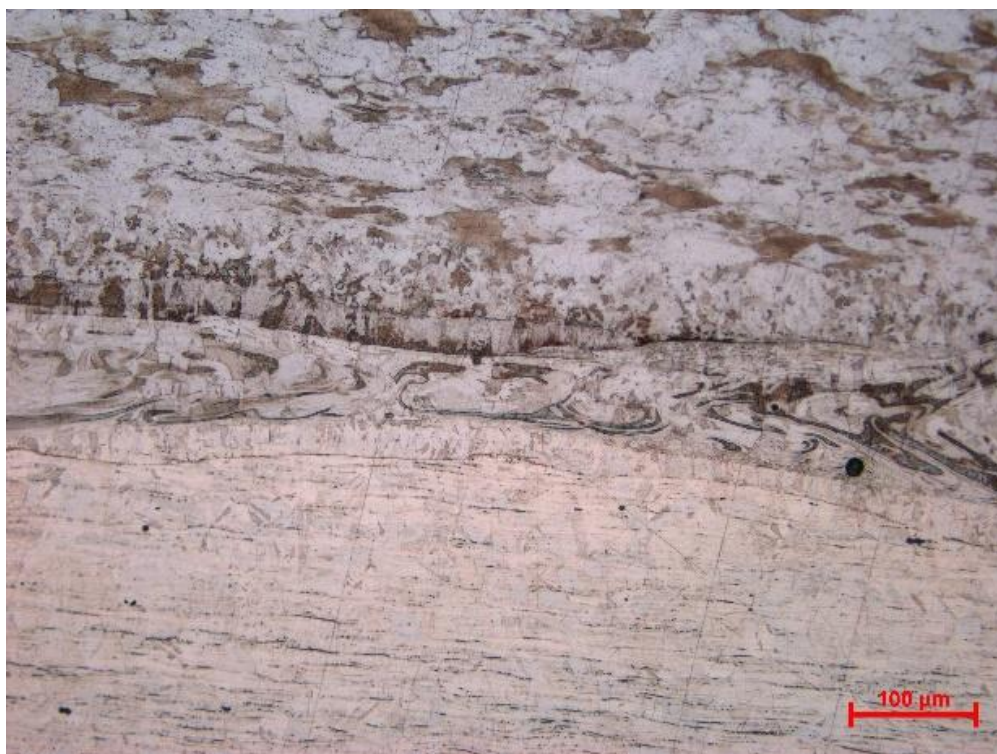


Obr. 4.14. Nenaleptaný stav

Po naleptaní vzorky príslušným leptadlom, v tomto prípade Marble, je na obrázku 4.15 viditeľné turbulentné premiešanie taveniny v oblasti premiešania materiálu substrátu a svorníku, ktoré je pozorovateľné na detaile (obrázok 4.16).



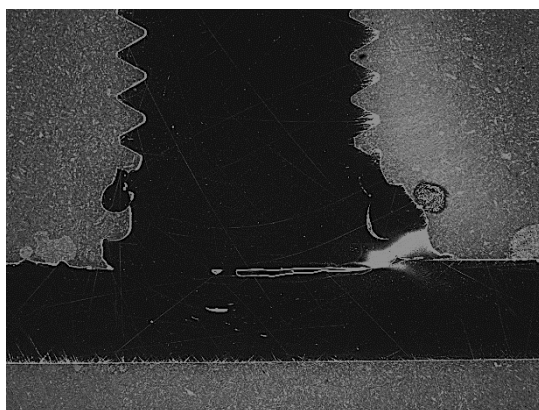
Obr. 4.15. Heterogénny spoj



Obr. 4.16. Turbulentné premiešanie

4.3.4 Vzorka 4

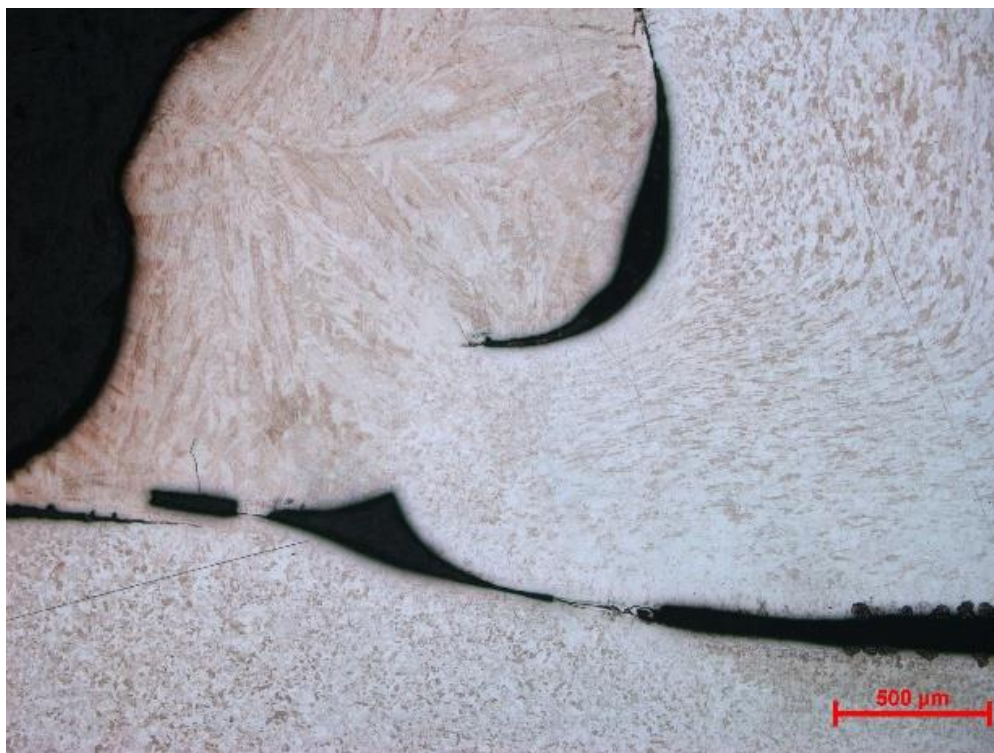
Pri zhotovení vzorky boli použité príliš vysoké parametre zvaracieho napätia 200 V zvaracieho prúdu 4,408 A za čas 2,92 ms. Pri pohľade na obrázok 4.17 zo stereolupy je viditeľná necelistvosť zvaru. Viac ako polovica prierezu zvaru nie je vytvorená.



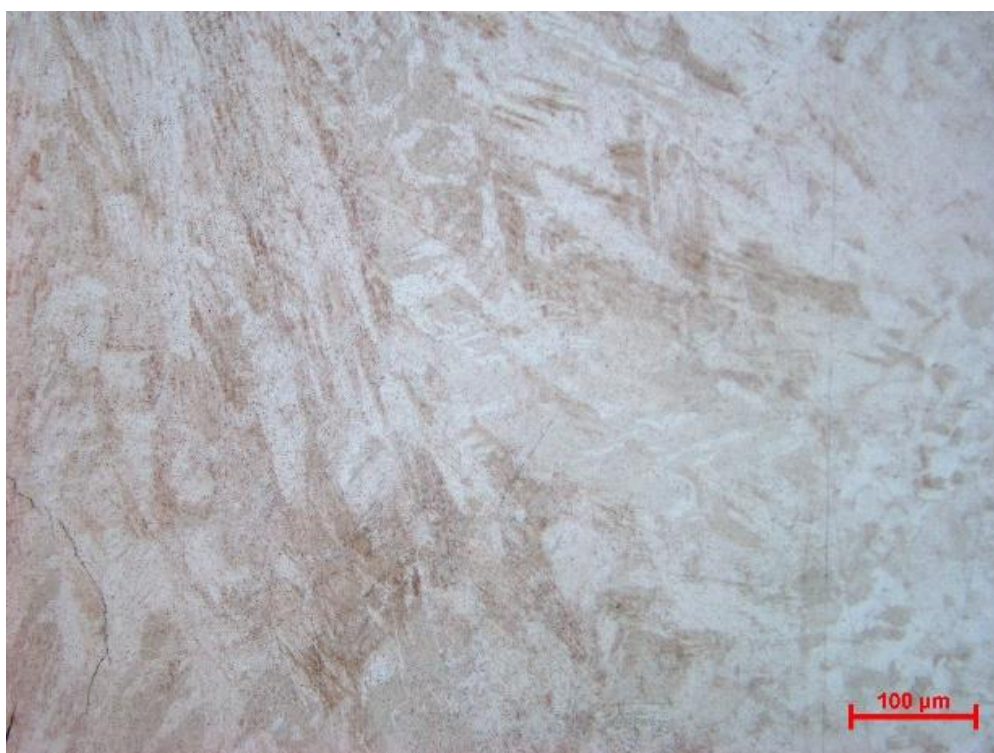
Obr. 4.17. Nedokonalosť zvaru zapríčinená vysokým napätím

Po naleptaní bola zistená necelistvosť zvaru s vysokým obsahom dutín, ktoré sú z hľadiska kvality spoju neprípustné, ako je vidieť na obrázku 4.18 a v detailnom pohľade na obrázku 4.19.

V štruktúre nie je viditeľná jednoznačná TOO, pričom došlo k čiastočnému nataveniu svorníku a základného materiálu. Tavenina bola vystreknutá na okraj zvaru, kde stuhla ako kvapka zvaru. Táto štruktúra je viditeľná na obrázku 4.19.



Obr. 4.18. Pravý okraj zvaru so zvarovou kvapkou

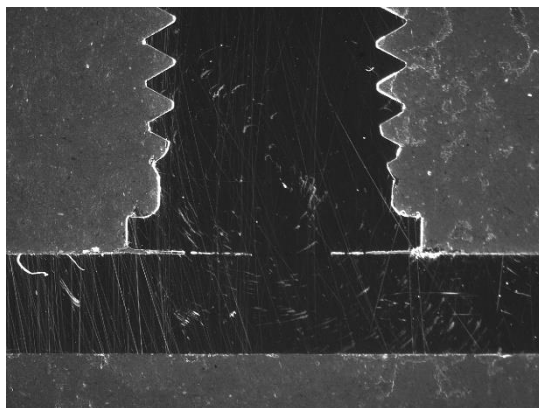


Obr. 4.19. Detailný pohľad na kvapku zvaru

4.3.5 Vzorka 5

Pri výrobe vzorky 5 boli použité príliš nízke zvaracie parametre. Jedná sa o homogénny spoj s parametrami zvaracieho napätia 80 V, prúdu 1,778 A za čas 2,6 ms.

Už pri pohľade na stereolupu (obrázok 4.20) je vidieť veľmi malú plochu skutočne privareného materiálu.



Obr. 4.20. Nekvalitný spoj

Pred naleptaním (obrázok 4.21) je tiež viditeľné slabé spojenie základného materiálu a svorníku.

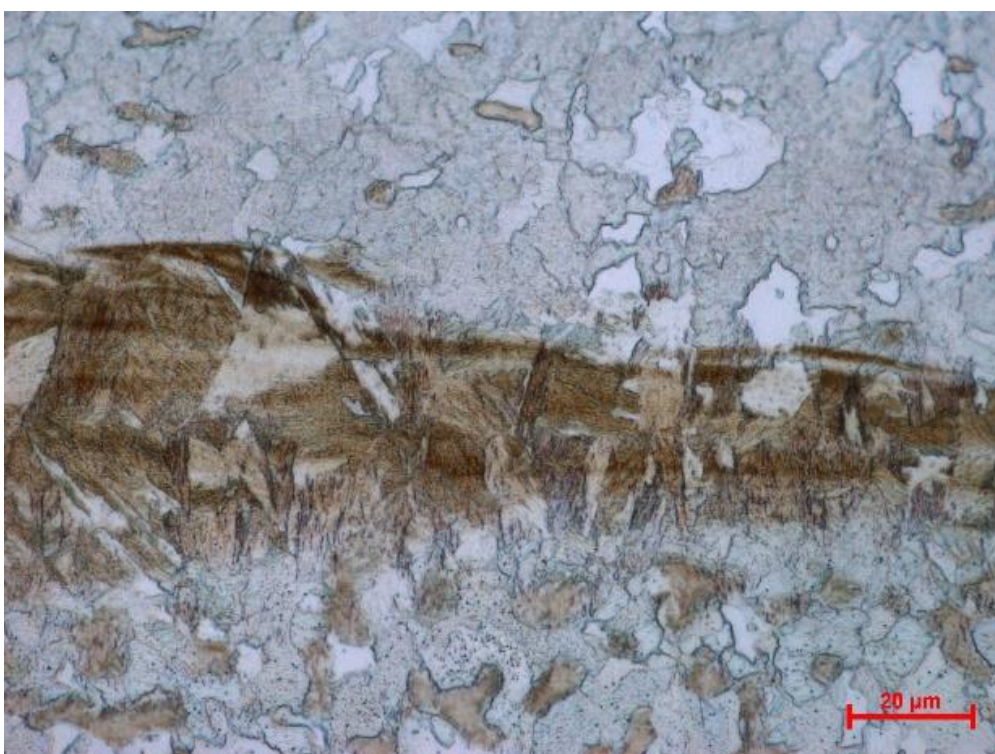


Obr. 4.21. Ľavý bok spoju

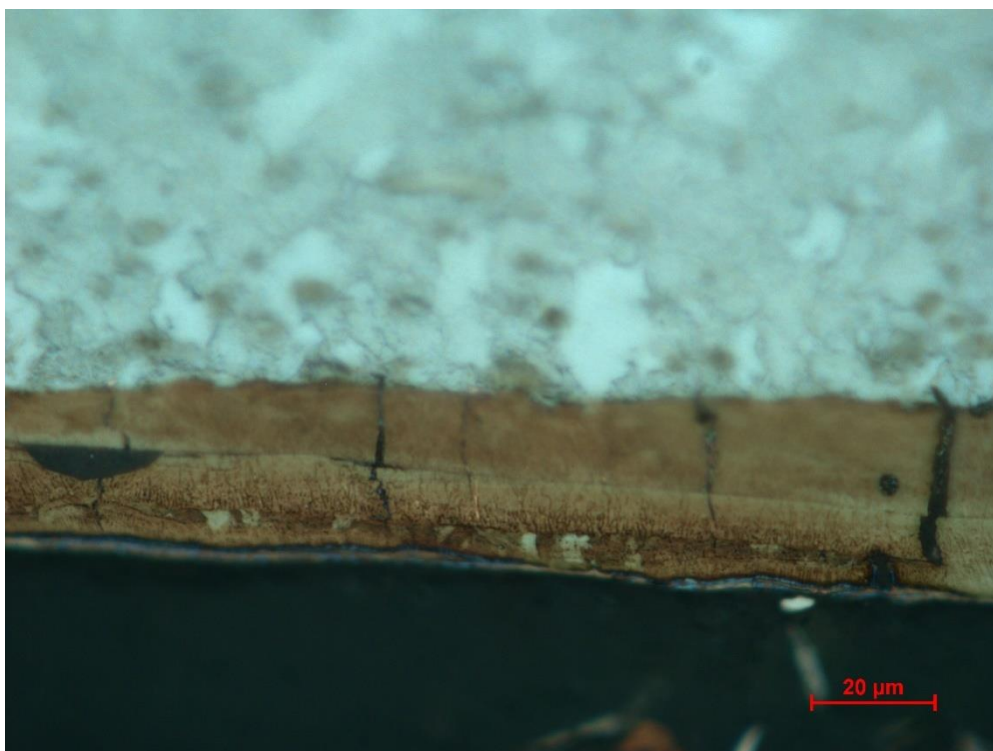
Po naleptaní bol detail zameraný len na časť, ktorá je spojená so základným materiálom. Slabý spoj je viditeľný na prehľadovom obrázku 4.22. Detailné zobrazenie na obrázku 4.23. Spoj je široký približne 600 μm. Zvarená bola plocha len s týmto priemerom, ostatná časť zvarovej plochy zostala nedotknutá. Na povrchu svorníku stále pozorujeme vrstvu medi ktorá počas zvaru nezhořela ako vidíme na obrázku 4.23.1. Hrúbka medenej vrstvy je približne 36 μm.



Obr. 4.22. Prehľadová fotografia



Obr. 4.23. Detail slabého spoju

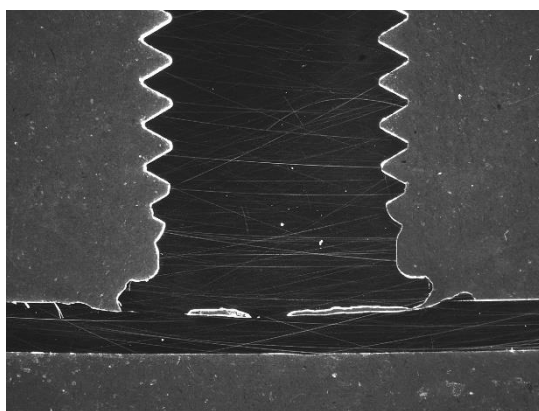


Obr. 4.23.1. Detail medenej vrstvy na povrchu svorníku

4.3.6 Vzorka 6

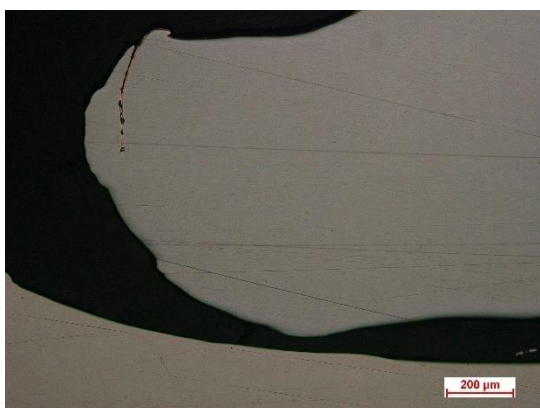
Vzorka bola pripravená za neprimerane vysokých parametroch na zväracom stroji PRO 1500C kde zvärací prúd dosahoval hodnotu 4,437 A, zväracie napätie 200 V za dobu 2,85 ms. Vzorka je zložená zo svorníku v kombinácii so základným materiálom z korozivzdornej ocele.

Vysoké parametre sú viditeľné na zlej štruktúre zvaru kde sú viditeľné defekty (obrázok 4.24), a tak by sa v bežnej praxi tento zvar vyhodnotil ako nevhodný. Na makro snímke je viditeľné, že základný materiál plechu bol čiastočne odstránený príliš vysokými parametrami. Pravdepodobne vysoký výkon odtavil základný materiál a prišlo k vystrieknutiu do okolia zvaru a tak nevznikli žiadne kvapky zvarového kovu v blízkom okolí.



Obr. 4.24. Defekty na zvare

V nenaleptanom stave je viditeľné (obr. 4.25 a 4.26), že ani okraje zvaru nie sú so základným materiálom spojené.

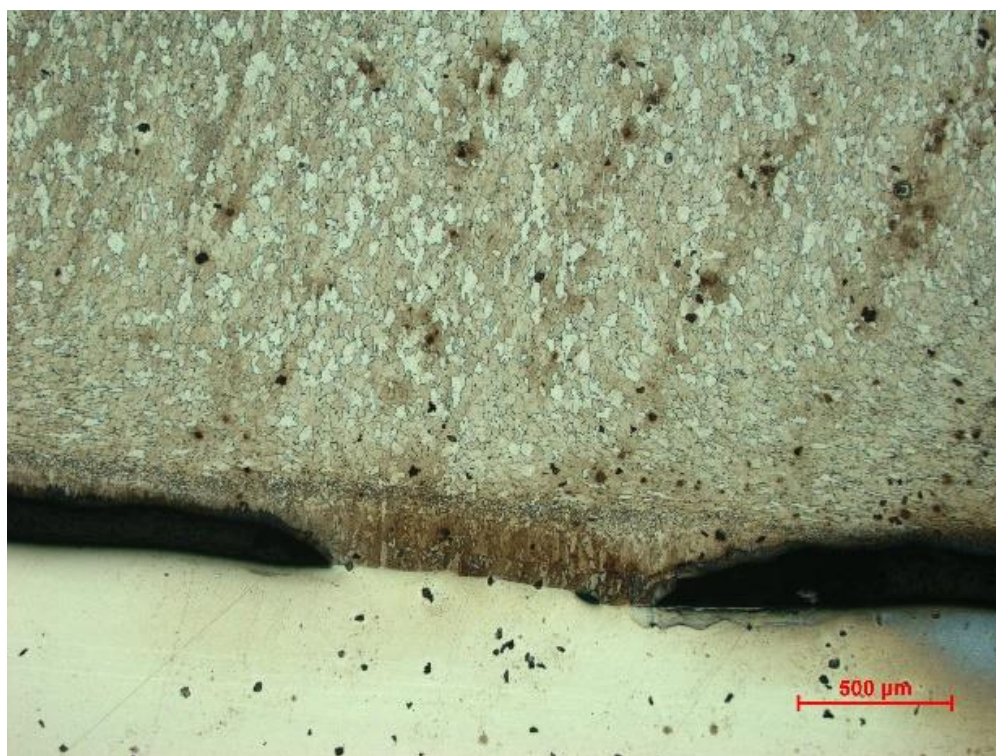


Obr. 4.25. Pravý okraj zvaru



Obr. 4.26. Ľavý okraj zvaru

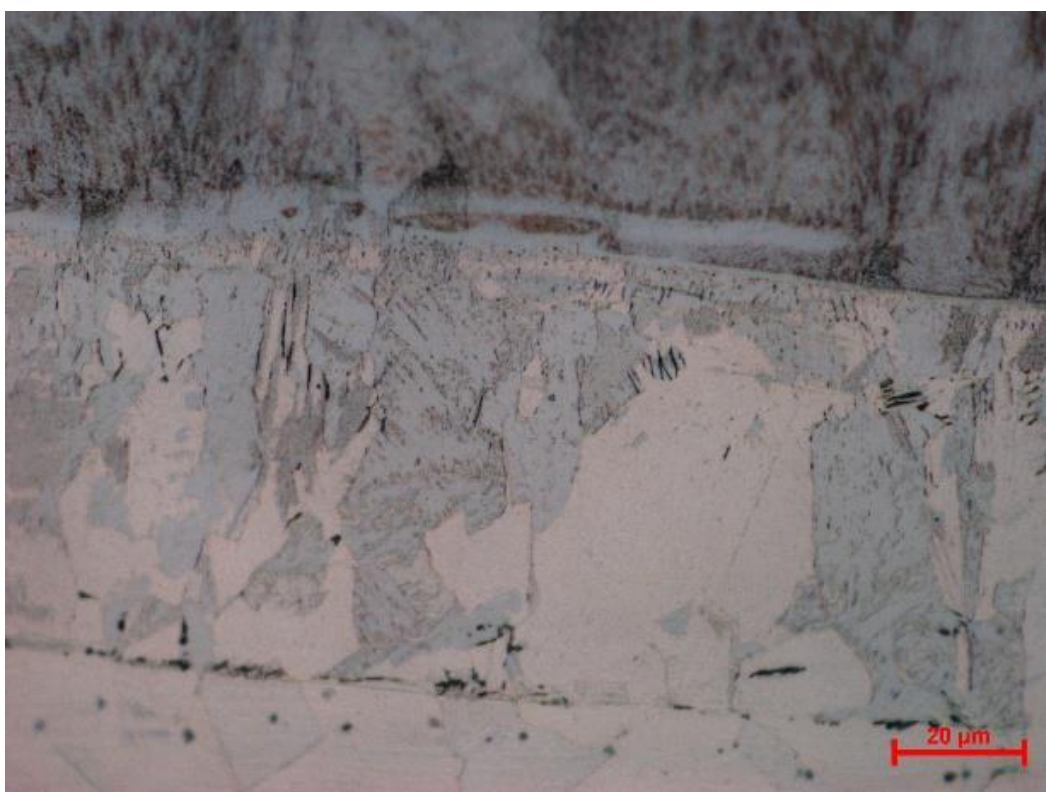
Naleptaná vzorka v detailnom zábere (obrázok 4.27) na časť spojenú so základným materiálom. Lokálny spoj, ktorý má priemer asi 780 μm a šírku 235 μm je ohraničený zhora slabou viditeľnou TOO. Počas zvaru sa tavenina dostala mimo zváranú plochu a bola vyprsknutá mimo spoj.



Obr. 4.27.1. Zvar v strede svorníku prehľadová fotografia



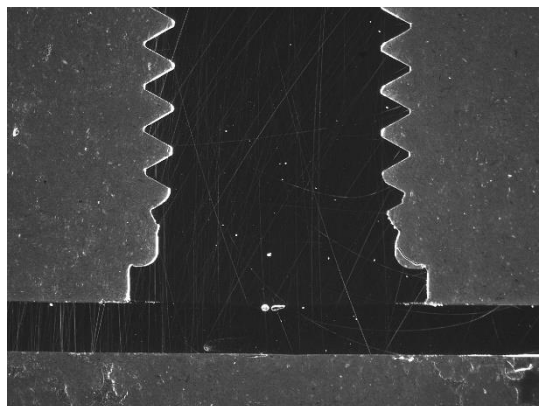
Obr. 4.27.2. Zvarový kov s TOO



Obr. 4.27.3. Detailný pohľad na štruktúru zvarového kov

4.3.7 VZORKA 7

Heterogénne spojenie, nízke parametre zvaracieho napätia 80 V, zvaracieho prúdu 1,82 A za čas 4,17 ms. Na záberoch (obr. 4.28) nie sú okom badateľné známky studeného nekvalitného zvarového spoju.



Obr. 4.28. Pohľad zo stereolupy

Nenaleptaný stav je viditeľný na obrázku 4.29 a 4.30, okraje zvarového spoju nie sú plynulo spojené so základným materiálom.

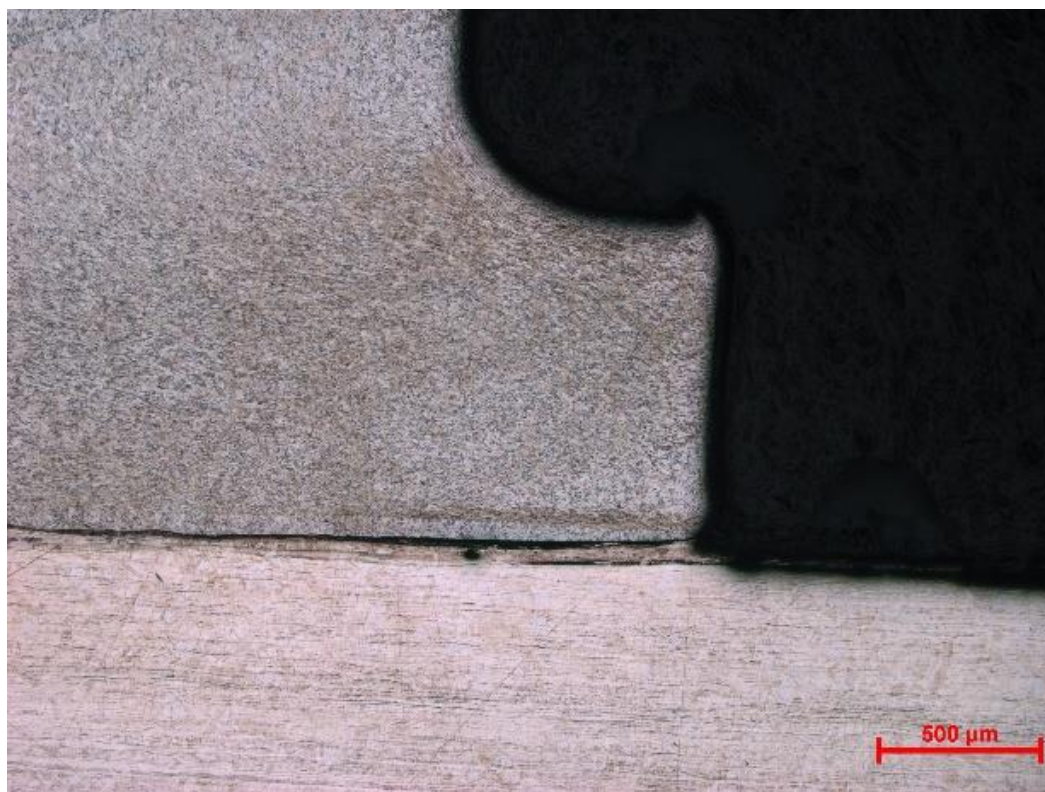


Obr. 4.29. Pravý okraj



Obr. 4.30. Ľavý okraj

Naleptaná vzorka a pohľad (obrázok 4.31) v polohe ekvivalentnej obrázku 4.30. Detailný záber na prechodovú oblasť medzi základným materiálom a svorníkom (obrázok 4.32.1 a 4.23.2). Studený spoj bol vytvorený na ploche o priemere približne 1200 μm bez známok výrazne TOO. Vzniknutá tavenina v mieste zvaru má známky turbulentného premiešania a je viditeľný ostrý prechod medzi základným materiálom a svorníkom. Ostatná tavenina bola čiastočne odstránená zo zvarovej plochy.



Obr. 4.32.1. Ľavý okraj zvaru a viditeľná oblasť taveniny nespojená ani s jedným materiálom



Obr. 4.32.2. Turbulentné premiešanie a malá TOO

4.3.8 Vzorka 8

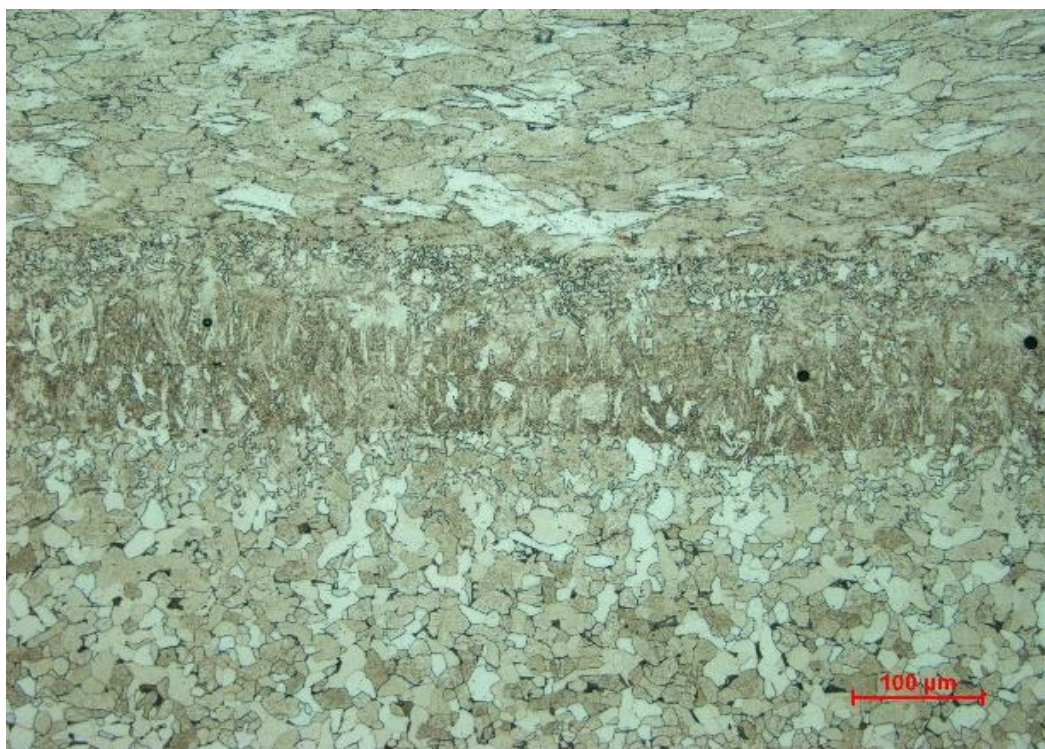
Vzorka podobná z hľadiska zváracích parametrov ako vzorky 1 a vzorka 2 (kde bol iný zvárací čas). Zváracie napätie 140 V, zvárací prúd 3,047 A za čas 2,92 ms. Na zvarovej ploche bol zámerne ponechaný povlak oxidov železa - okují.

Naleptaný stav vzorky (obrázky 4.33 a 4.34) ukazuje viditeľnú oblasť TOO ktorá je široká asi 50 μm . Zvar sa vytvoril po celej ploche svorníku. Okraj svorníku sa natavil mimo kontakt so substrátom a to v dôsledku horenia oblúku mimo spoj, avšak zásadný vplyv na kvalitu spoja by to mať nemalo.

Na vzorke 8 bola vykonaná skúška tvrdosti podľa noriem, zobrazená v grafickej schéme na obrázku 4.35 a v tabuľkách s hodnotami tvrdosti prislúchajúcim jednotlivým oblastiam vpichu.



Obr. 4.33. Spojenie základného materiálu



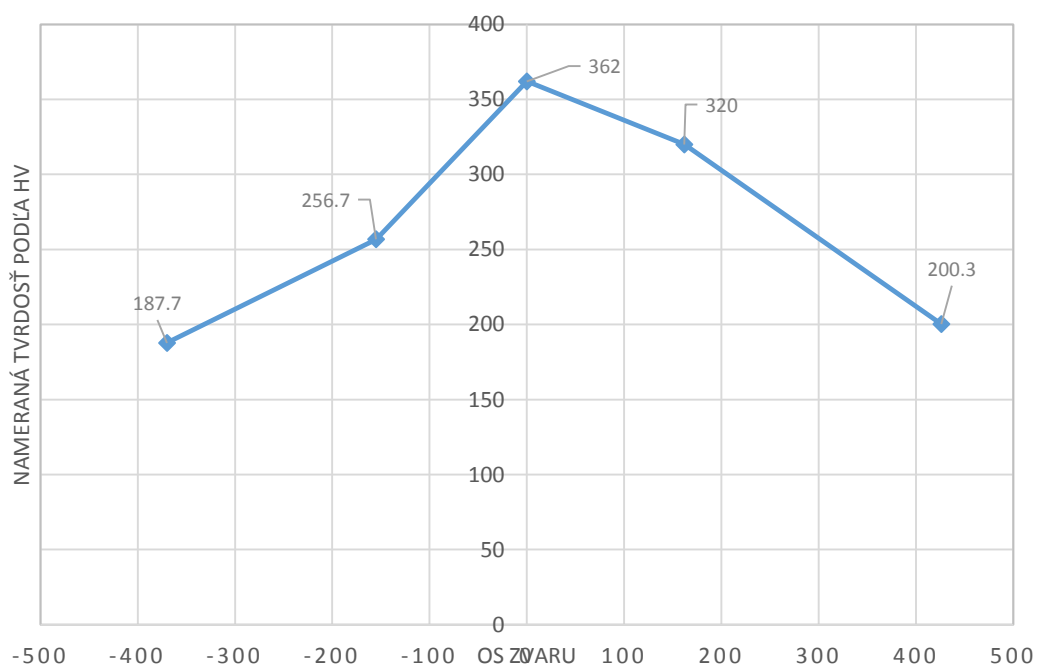
Obr. 4.34. Oblast' prechodu a viditeľná oblasť TOO so zjemneným zrnom

<i>Poloha</i>	<i>Hodnota HV</i>
1	185
2	189
3	189
4	233
5	312
6	225
7	379
8	387
9	320
10	372
11	311
12	277
13	192
14	217
15	192

Tabuľka 4.7. Nameraná tvrdosť



Obr. 4.35. Schéma odtlačkov



Obr. 4.36. Tvrdosť kovu vzhľadom k polohe ose zvaru

V oblasti rychle ochladenej taveniny (obsah uhlíku 0,17 %hm), ktorá bola najviac teplotne ovplyvnená bola nameraná najvyššia hodnota tvrdosti. Štruktúra vzniknutá rýchlym ochladením z oblasti austenitu. Nízky obsah uhlíku nedovolil vytvoreniu priamo martenzitickej štruktúry s vysokou tvrdosťou, no nebezpečnou krehkosťou. Graf zobrazuje priebeh tvrdostí v závislosti na polohe vpichu na obrázku 4.36.

5. ZHRNUTIE

5.1 Optimálne zvaracie parametre

Pri nastavení na zvaracom stroji vhodných zvaracích parametrov, ktoré sa volia podľa druhu materiálu a priemeru zvaraného svorníku, vzniklo niekoľko zvarov. Tie spĺňajú kvalitu, čo sa týka miery defektných miest vo zvaranom materiáli. Vzorky 1, 2, 3 a 8 sú dôkazom, že daná technológia a zvaracie nastavenia boli účinné a vytvorili pevné spoje, ktoré možno použiť v praxi. Ani prítomnosť oxidov železa pri vzorke 8 nepôsobila negatívne vo veľkej miere na výslednú štruktúru a teda aj pevnosť spoju. Technológia zvarania svorníkov sa využíva aj pre homogénne a heterogénne spoje. Oba druhy sú vhodné bez výnimky. Pri každej vzorke bola zachovaná konštantná kapacita kondenzátorov.

5.2. Nízke zvaracie parametre

V prípade príliš nízkych nastavení zvaracieho stroja prichádzajú do úvahy spoje studené, nekvalitné bez dostatočného premiešania oboch častí zvaru a to základného materiálu a materiálu svorníku. Vďaka nízkemu zvaraciemu prúdu a napätiu neposkytuje zvarací oblúk dostatočné teplo, ktoré je pri zvaraní dôležité. Ako homogénne tak aj heterogénne zvary neboli dostatočne kvalitné. V štruktúre sú viditeľné defekty. Dôkazom je vzorka 5 a 7.

5.3 Vysoké zvaracie parametre

Príliš vysoký zvarací prúd a napätie zapríčiňuje spálenie štruktúry, ktorá vznikla pri rozprsknutí zvarového kúpeľa do okolia spoja. Natavená časť tak nebola efektívne spojená so základným materiálom. Vzniknuté dutiny (defekty) nepriaznivo ovplyvnili pevnosť spoju. Tieto nepriaznivé podmienky boli použité na vzorke 4 a 6.

5.4 Homogénny spoj

Na tento spoj boli použité materiály s označením konštrukčná oceľ S235JR a pomedený svorník z 11 378 podľa ČSN. Na výslednej štruktúre vyhotovených spojov nie je viditeľná hranica medzi substrátom (t.j. konštrukčná oceľ) a priváraným svorníkom (t.j. jemnozrnná nelegovaná oceľ). Vzorky boli preskúvané z hľadiska šírky TOO, šírky zvarového kovu, prítomnosti defektov, celistvosti zvarov, výskytu medzier podľa tabuľky 4.8 a či sa jedná o studený spoj.

Tabuľka 4.8 Zhrnutie kvality homogénnych spojov

Vzorka číslo	Šírka TOO ZM [μm]	Šírka TOO Svorník [μm]	Šírka zvarového kovu [μm]	Celistvosť spoju	Prítomnosť defektov	Studený spoj	Výrazná medzera
1	78	85	195	áno	nie	nie	nie
2	75	84	192	áno	nie	nie	nie
4	105	96	180	nie	áno	nie	áno
5	64	79	109	nie	nie	áno	áno
8	82	76	185	áno	nie	nie	nie

5.5 Heterogénny spoj

Vzorky ktoré boli zvarené z nerezovej ocele a svorníku z uhlíkovej ocele sú charakteristické viditeľnou hranicou medzi oboma materiálmi. Uprostred hranice je badateľná oblasť premiešania, ktorá je často turbulentná. Rovnako ako homogénne vzorky tak aj tieto vzorky boli preskúmané z hľadiska šírky TOO, šírky zvarového kovu, prítomnosti defektov, celistvosti zvarov, či sa jedná o studený spoj a z výskytu medzier podľa tabuľky 4.9.

Tabuľka 4.9 Zhrnutie kvality heterogénnych spojov

Vzorka číslo	Šírka TOO ZM [μm]	Šírka TOO Svorník [μm]	Šírka zvarového kovu [μm]	Celistvosť spoju	Prítomnosť defektov	Studený spoj	Výrazná medzera
3	45	72	122	áno	nie	nie	nie
6	52	75	136	nie	áno	nie	áno
7	67	83	85	nie	áno	áno	áno

5.6 Neočistený spoj

V prípade, kedy neboli splnené podmienky na čistotu základného materiálu a teda boli prítomné oxidy železa, bol zhotovený spoj pri vhodnom zváracom prúde a napätíu, vznikol spoj ktorý je vyhodnotený ako dostačujúci z dôvodu dostatočnej tvrdosti štruktúry v danom mieste spoju.

6. ZÁVER

V záverečnej práci boli využité metódy metalografie a meranie tvrdosti na určenie a hodnotenie mikroštruktúry zvarových spojov, ktoré boli vytvorené pomocou technológie navárania svorníkov s využitím kondenzátorového výboju. Boli použité 3 druhy zvaracích podmienok, na dvoch typoch spoja kombinujúce dve zvárateľné uhlíkové ocele a uhlíková oceľ s CrNi antikoroziou. Taktiež bol učený pokus vytvorenia spoja 2 materiálov, pri ktorej sa zohľadnil stav neočisteného základného materiálu.

Zistené mikroštruktúrne charakteristiky potvrdzujú, že podmienky zvolené firmou PROWELD ako optimálne pre danú kombináciu materiálov skutočne vytvárajú súvislý a technologicky funkčný zvar. Podmienky, u ktorých bol predpoklad príliš nízkeho alebo vysokého výkonu vyprodukovali nevhodné zvary. Dôkazom vhodnosti optimálnych nastavení sú tabuľky 4.8 a 4.9.

Na základe experimentálnych pokusov a zhodnotenia mikroštruktúry sa dá určiť aj bez vedomia zvaracích parametrov, či ide o zvar dostačujúcej kvality a teda vhodný pre použitie alebo je spoj nekvalitný a nevyhovujúci.

7. ZOZNAM POUŽITEJ LITERATÚRY

- [1] HRIVŇÁK, I.: Teória zavriteľnosti kovov a zliatin. Bratislava, Veda 1989
- [2] KUNCIPÁL, J. a kolektiv: Teorie svařování. SNTL Praha 1986
- [3] MINAŘÍK, V.: Plamenové svařování. Scientia Praha 1997
- [4] MINAŘÍK, V.: Obloukové svařování. Scientia Praha 1998
- [5] KUČERA, J.: Teorie svařování. Učební texty VŠB Ostrava 1991
- [6] ŽÁK, J., Novák, M.: Teorie svařování. Učební texty VUT Brno 1988
- [7] VASILKO, K.: Kovové materiály a technológia ich spracovania, Bratislava, Alfa 1990
- [8] TURŇA, M.: Špeciálne metódy zvarovania. Bratislava, Alfa 1989
- [9] ČABELKA, J. a kol.: Mechanická technológia. Vydavateľstvo SAV Bratislava, 1967
- [10] MINAŘÍK, V.: Obloukové svařování. Scientia Praha, 1998
- [11] TECHNOLOGY, Hobart Institute of Welding. 2009. *Welding guide*. Troy, Ohio: Hobart Institute of Welding Technology. ISBN 978-193-6058-143.
- Dostupné z:
http://app.knovel.com/web/toc.v/cid:kpWGEW0002/viewerType:toc/root_slug:welding-guide-ew-385/url_slug:kt008VYDW2
- [12] Výskumno-vývojová a inovačná sieť pre oblasť materiálov a technológií [online] [cit 2015-12-4]. Dostupné z: <http://www.matnet.sav.sk/index.php?ID=381>
- [13] MAGAZÍN PRAKTICKÉHO SVAŘOVÁNÍ [online] [cit 2015-12-4]. Dostupné z: <http://www.svarbazar.cz/phprs/view.php?cisloclanku=2008011702>
- [14] FORNIUS SLOVENSKO MIG/MAG [online] [cit 2015-12-4]. Dostupné z: http://www.fronius.com/cps/rde/xchg/SID-FF6E24A1-97B5635C/fronius_slovensko/hs.xsl/29_3916.htm#.VVCIr_ntmko
- [15] KOLEŇÁK, R. – ULRICH, K. – PROVAZNÍK, M.: Zvaracie procesy a zariadenia. Bratislava: STU, 2011. ISBN 978-80-227-3575-9
- [16] O'Brien, A.: *Welding Handbook, Volume 2 - Welding Processes, Part 1 (9th Edition) - 9.9.4 Capacitor Discharge Weld Quality and Inspection*. American Welding Society (AWS). 2004. Dostupné z:
<http://app.knovel.com/hotlink/pdf/id:kt0095V5I1/welding-handbook-volume/capacitor-discharge-weld>
- [17] RNDr. MRŇA, L. PhD: Přivařování svorníků, Brno, 2010 [cit. 2015-05-1]. Dostupné z:
http://ust.fme.vutbr.cz/svarovani/opory_soubory/hsv__specialni_metody_svarovani__privarovani_svorniku__mrna.pdf
- [18] ING. KOLAŘÍK, L. a ING. VÁLOVÁ, M: Obloukové přivařování svorníků [online]. Brno, 2013 [cit. 2015-05-1]. Dostupné z:
http://u12133.fsid.cvut.cz/podklady/TMSV/privarovani_svorniku_TMSV.pdf

- [19] CAMPBELL, F.C.: *Joining - Understanding the Basics - 4.4 Capacitor Discharge Stud Welding*. ASM International. 2011. Dostupné z: <http://app.knovel.com/hotlink/pdf/id:kt009IAD64/joining-understanding/capacitor-discharge-stud>
- [20] ING. MIČIAN, M. PhD: *Základné pojmy pri zváraní* [online]. Žilina, 2013 [cit. 2015-05-1]. Dostupné z: <http://fstroj.utc.sk/kti/studium/pdf/09.pdf>
- [21] *Welding equipments* [online], 2011 [cit. 2015-05-1]. Dostupné z: <http://studweldprod.com/studs/images/CDload.jpg>
- [22] *Welding equipments* [online]. [cit. 2015-05-06]. Dostupné z: http://www.thomas-welding.com/machine/image/NOMARK_10.jpg
- [23] *Stud welding* [online]. In: [cit. 2015-05-06]. Dostupné z: <http://www.zocindustrial.com/wp-content/uploads/2014/05/welding.jpg>
- [29] HOYT, S. L.: *Metallography: Principles of metallography*. USA : McGrawHill book company, inc., 1920. 250 s.
- [30] George F. V. V. (Ed): *ASM Handbook Volume 9 Metallography and Microstructures*, ASM 2004, 2733s
- [31] PETZOW, G: *Metallographic etching: techniques for metallography, ceramography, plastography*. 2nd edition. USA : ASM International, 1999. 240 s. ISBN 0871706334, 9780871706331.
- [32] SAMUELS, L. E: *Metallographic polishing by mechanical methods*. 4th edition. USA : ASM International, 2003. 345 s. ISBN 0871707799.
- [33] Vscht [online]. 02.12. 2008 [cit. 2011-11-07]. *Metalografie I. - příprava vzorku pro pozorování mikroskopem*. Dostupné z : http://old.vscht.cz/met/stranky/vyuka/labcv/labor/fm_metalografie_1/teorie.htm
- [34] *Měření tloušťky tloušťky vrstev povrchově upravených materiálů* [online]. [cit. 2015-05-06]. Dostupné z: <http://povrchovauprava.cz/clanek/50/mereni-tloustky-vrstev-povrchove-upravenych-materialu>
- [35] *Cold Mounting Accessories* [online]. [cit. 2015-05-06]. Dostupné z: http://www.struers.com/resources/elements/12/187333/ColdMountingAccessories_EN.pdf
- [36] *Equipments of stud welding* [online]. [cit. 2015-05-06]. Dostupné z: http://img.weiku.com/waterpicture/2011/10/29/17/DIN_EN_13918_shear_connector_stud_634593230116970216_1.jpg
- [37] *Studs for welds* [online]. [cit. 2015-05-06]. Dostupné z: http://1.wlimg.com/product_images/bc-full/dir_5/129622/c-d-weld-studs-161959.jpg
- [38] *Diagrams of stud welding* [online]. In: . [cit. 2015-05-06]. Dostupné z: <http://www.cutlass-studwelding.com/images/CD%20Studs/Diagrams/cd%20fl%20diagram.jpg>
- [39] VÁLOVÁ, Ing. M a Ing.L KOLAŘÍK.: *Perspektivní metody spojování materiálů – privařování spojníků*. učební opora.

- [40] *Materiálove normy* [online]. In: [cit. 2015-05-06]. Dostupné z:
<http://www.novel.sk/materialove-normy/>
- [41] DOLEŽAL, PH.D., Ing. P., Ing. S. HUTAŘOVÁ, PH.D. a Ing. P. PAVLÍKOVÁ: *Příprava a hodnocení materiálografických vzorků*. učební opora.
Dostupné z: <http://imse.fme.vutbr.cz/images/umvi/opory/phmv/index.php>
- [42] PODRÁBSKÝ, CSC, Prof. Ing. T., a Ing. M. JULIŠ: *Barevná metalografie slitin železa*.
Dostupné z: http://imse.fme.vutbr.cz/images/umvi/opory/phmv/fv_li.php. učební opora
- [43] MIHALIKOVÁ, PH.D., Doc. Ing.: *Úvod do materiálového inžinierstva*. Košice. 2013.
Dostupné z:
http://web.tuke.sk/hfknom/content/studenti/predmety/nom_sjf/uvod_do_materialoveho_inzinierstva.pdf. učební opora.

Zoznam použitých tabuliek :

Tabuľka 1.1	Koeficienty účinnosti podľa danej technológie
Tabuľka 1.2	Rýchlosti ohrevu podľa danej technológie
Tabuľka 4.1	Prehľad vlastností ocele S235JR
Tabuľka 4.2	Prehľad vlastností ocele 314
Tabuľka 4.3	Špecifické chemické zloženie
Tabuľka 4.4	Parametre zvaracieho stoja
Tabuľka 4.5	Parametre zvaracej pištole
Tabuľka 4.6	Zvaracie parametre
Tabuľka 4.7	Nameraná tvrdosť
Tabuľka 4.8	Zhrnutie kvality homogénnych spojov
Tabuľka 4.9	Zhrnutie kvality heterogénnych spojov

Zoznam použitých obrázkov :

Obr. 1.1	Schéma teplotných cyklov
Obr. 1.2	Tvar zvarového kúpeľa
Obr. 1.3	Pásma TOO oblastí
Obr. 1.4	Energetické bariéry potenciálnej energie
Obr. 1.5	Schéma ručne ovládaného zvarania
Obr. 1.6	Schéma MIG/MAG
Obr. 2.1	Schéma zvaracieho zariadenia
Obr. 2.2	Ochranný keramický krúžok
Obr. 2.3.1	Typy svorníkov
Obr. 2.3.2	Rozmery svorníku
Obr. 2.4	Schéma metódy bez medzery
Obr. 2.5	Schéma metódy s medzerou
Obr. 2.6	Krivky výboja
Obr. 2.7.	Zvaracia pištoľ a zvarací stroj
Obr. 2.8.	Možnosti využitia technológie zvarania kondenzátorovým výbojom
Obr. 3.1	Vzorky vyrobené postupom preparácia za studena

Obr. 3.2	Lis na metalografické vzorky
Obr. 3.3	Vibračná pištoľ
Obr. 3.4	Brúsne papiere
Obr. 3.5	Prístroj na mokré mechanické brúsenie
Obr. 3.6	Plátna na mechanické leštenie
Obr. 3.7	Prístroj svetelný mikroskop
Obr. 3.8	Schéma odtlačku a fotografia zariadenia
Obr. 4.0	Geometria konštrukčnej ocele
Obr. 4.0.1	Základný materiál tvorený Feritom a Perlitom
Obr. 4.1	Geometria nerezovej ocele
Obr. 4.1.1	Štruktúra nerezovej ocele 314
Obr. 4.2	Pro-C1500
Obr. 4.3.	Parametre rozmerov
Obr. 4.4	Geometria svorníku
Obr. 4.5	Fotky vzoriek zhotovené firmou PROWLED
Obr. 4.5.	Stereolupa –mierny defekt
Obr. 4.6	Nenaleptaný stav –mierny defekt
Obr. 4.7.	Naleptaný stav-TOO
Obr. 4.8.	Ihlice
Obr. 4.9	Vzorka 2 stereolupa
Obr. 4.10	TOO
Obr. 4.11	Štruktúra základného materiálu
Obr. 4.12	Prechodová oblasť
Obr. 4.13	Stereolupa heterogénny spoj
Obr. 4.14	Nenaleptaný stav
Obr. 4.15	Heterogénny spoj
Obr. 4.16	Turbulentné premiešanie
Obr. 4.17	Nedokonalosť zvaru zapríčinená vysokým napätím
Obr. 4.18	Ľavý okraj zvaru
Obr. 4.19	Detailný pohľad na kvapku zvaru
Obr. 4.20	Nekvalitný spoj
Obr. 4.21	Ľavý bok spoju
Obr. 4.22	Prehľadová fotografia

Obr. 4.23	Detail slabého spoju
Obr. 4.24	Defekty na zvare
Obr. 4.25	Pravý okraj zvaru
Obr. 4.26	Ľavý okraj zvaru
Obr. 4.27	Zvar v strede svorníku (rôzne zväčšenia)
Obr. 4.28	Stereolupa
Obr. 4.29	Pravý okraj
Obr. 4.30	Ľavý okraj
Obr. 4.31	Naleptaný ľavý okraj
Obr. 4.32	Viditeľný prechod
Obr. 4.33	Spojenie základného materiálu
Obr. 4.34	Oblasť prechodu
Obr. 4.35	Schéma odtlačkov

Zoznam použitých znakov:

<i>Názov</i>	<i>Označenie</i>	<i>Jednotky</i>
Kapacita kondenzátorov	C	[mF]
Napätie	U	[V]
Prúd	I	[A]
Tepelný príkon	Q _s	[J/cm]
Teplota	t	[°C]
Sila	F	[N]
Priemer	d	[mm]
Medza pevnosti	R _m	[MPa]
Medza klzu	Re	[MPa]
Nárazová práca	K _v	[J]
Čas	T	[ms]
Účinnosť	η	[%]