

**SLOVENSKÁ POĽNOHOSPODÁRSKA UNIVERZITA
V NITRE
TECHNICKÁ FAKULTA**

**HODNOTENIE KVALITY ZVAROVÝCH SPOJOV
POMOCOU METALOGRAFICKÝCH SKÚŠOK**

Bakalárska práca

Študijný program:

Manažérstvo kvality produkcie

Študijný odbor:

2386700 Kvalita produkcie

Školiace pracovisko:

Katedra kvality a strojárskych technológií

Školiteľ:

Ing. Rastislav Mikuš

Nitra 2011

Marián Prokop

Abstrakt

Predkladaná bakalárska práca s názvom „Hodnotenie kvality zvarových spojov pomocou metalografických skúšok“ popisuje proces zvarovania v teoretickej rovine, ktorá zahŕňa základné pojmy späté so zvaraním a vybrané spôsoby zvarovania, prípravu vzoriek pre metalografickú analýzu a hodnotenie zvarov pomocou metalografickej analýzy. V práci je spracovaný výskum, ktorý sa zaoberá metalografickou, konkrétne makroskopickou analýzou zvarov. Skúmané zvary sú odobraté z reálnej sériovej výroby karosárskeho dielca v strojárskych firme. Vo výskume sú použité vzorky získané pomocou vhodne zvolených metód delenia, zalisovania, brúsenia a leštenia a leptania vzoriek. Hlavným cieľom práce je hodnotenie kvality zvarov, popis zistených chýb a následné návrhy na ich odstránenie. Realizovaným výskumom je poukázané na problémy v procese výroby pomocou zistených defektov na jednotlivých vzorkách. V práci sú uvedené možné postupy a metódy odstránenia nálezov.

Kľúčové slová: Zváranie. Metalografia. Metalografická analýza. Chyby zvarových spojov. Hodnotenie zvarov.

Abstract

The bachelor thesis, named „Quality assessment of welded joints using metallographic tests“, describes the process of weld in theoretical way, which includes basic terms connected to welding and specific methods of weld, preparation of samples for metallographic analysis and ranking of weld joints by using metallographic analysis. In the work we can find research which deals with metallographic, more concretely macroscopic, analysis of weld joints. Examined weld joints are taken from production work at the mechanical company, out of specific bodyshell component. In the research, we used samples acquired by suitable methods of dividing, forcing-in, grinding and polishing, and sample etching. The main aim of the work is ranking of weld joint's quality, description of defects and consecutive suggestions for its elimination. Through defects found on specific samples, we pointed out problems in the process of production. In the work we can find also possible processes and methods for removal of these defects.

Keywords: Welding. Metallography. Metallographic analysis. Defect of weld joints. Ranking of welds.

Čestné vyhlásenie

Čestne vyhlasujem, že predkladanú bakalársku prácu s názvom „Hodnotenie kvality zvarových spojov pomocou metalografických skúšok“ som vypracoval samostatne s pomocou literatúry, ktorú uvádzam v zozname použitej literatúry.

Marián Prokop

Pod'akovanie

Touto cestou sa chcem pod'akovať môjmu školiteľovi Ing. Rastislavovi Mikušovi za jeho usmerňovanie a cenné rady pri písaní bakalárskej práce.

Obsah

Úvod.....	7
1 Zváranie	8
1.1 Charakteristika	8
1.2 Základné pojmy	9
1.3 Rozdelenie spôsobov zvárania.....	11
1.3.1 Druhy zvarov	13
1.4 Oblúkové zváranie v ochrannej atmosfére.....	14
1.4.1 Prídavný materiál	16
1.4.2 Ochranné plyny.....	18
1.5 Metalurgické reakcie pri zváraní MAG ocelí	19
2 Metalografická analýza zvarov	22
2.1 Makroskopické hodnotenie	22
2.2 Príprava metalografických vzoriek.....	23
2.2.1 Delenie materiálu	24
2.2.2 Zalievanie vzorky	24
2.2.3 Brúsenie vzorky	25
2.2.4 Leštenie vzorky.....	26
2.2.5 Leptanie vzorky	28
2.3 Kvalita zvaru.....	29
2.4 Chyby v zvarovom spoji	31
3 Cieľ práce.....	34
4 Metodika práce	35
5 Výsledky práce	40
5.1 Vlastné merania a analýza	40
6 Záver	47
7 Zoznam použitej literatúry.....	49

Úvod

V súčasnosti je človek obklopený mnohými vecami od malých jednoduchých súčiastok a častí až po zložité autá, lode, gigantické stavby. Veľké a zložité veci sa skladajú z jednoduchších, ktoré sú pospájané do jedného celku. Spájané sú rozoberateľnými alebo nerozoberateľnými spojmi. Medzi rozoberateľné spoje možno zaradiť skrutkové spoje, medzi nerozoberateľné spoje lepenie, spájkovanie, nitovanie, zváranie. A práve zváranie možno považovať za najčastejšie používané spojenie materiálov, ktoré s rozvojom priemyslu naberalo na dôležitosť. Jedným rýchlo sa rozvíjajúcim odvetvím priemyslu je aj automobilový priemysel, v ktorom zvarové spoje našli široké uplatnenie.

Históriu zvárania a vybrané druhy zvárania sú popísané v prvej kapitole. Zvarové spoje však musia spĺňať i určité charakteristiky, aby vyhovovali požiadavkám, ktoré sú na ne kladené. Typické charakteristiky sú skúšané nedeštruktívnymi skúškami (ultrazvuková skúška, skúška magnetickou práškovou metódou a iné) a deštruktívnymi skúškami (skúška ťahom, makroskopická a mikroskopická analýza a iné).

Makroskopická analýza štruktúry zvaru je charakterizovaná v druhej kapitole, kde sa ďalej zaoberá aj popisom prípravy vzorky na analýzu pod mikroskopom pri malom zväčšení. Význam analýzy povrchu a štruktúry zvaru spočíva v odhalení chýb a defektov na povrchu a vo vnútri zvarového spoja. Chyby spôsobujú negatívne vlastnosti zvarov a zhoršujú ich základné charakteristiky. Je nutné ich včas vo výrobe odhaliť a odstrániť správnym technologickým postupom.

V poslednej kapitole boli vybrané vzorky zvarov z karosárskeho dielu, ktoré boli podrobené makroskopickej analýze. Využitím dostupných technológií boli spracované ich geometrické rozmery, vizuálny vzhľad a štruktúra.

Práca môže byť využitá pracovníkmi technického úseku, ktorých poslaním je spolu so zamestnávateľom predchádzať zlej a nekvalitnej výrobe. Môže poslúžiť ako pomôcka metalografických pracovníkov a pre navrhovanie preventívnych opatrení pri zváraní.

1 Zváranie

Súčasná technologická, kvalitatívne a ekonomické požiadavky sú mnohokrát náročné a neumožňujú zhotovenie výrobku z jedného celku pomocou technológií odlievania, tvárnenia alebo obrábania. Do popredia sa preto dostáva technológia zvárania, ktorou možno vytvoriť z viacerých menších častí väčší nerozoberateľný celok. Používa sa vo všetkých výrobných odvetviach, v strojárskom, automobilovom priemysle, ale aj pri opravách a renováciách strojných zariadení a parkov v poľnohospodárstve a ďalších odvetviach priemyslu.

1.1 Charakteristika

Zváranie je možné definovať ako nerozoberateľné spojenie dvoch častí kovov za pomoci tlaku alebo tepla pri teplote tavenia oboch materiálov vyvolaním deformácie kontaktných plôch (Kubíček, 2006).

Technológia zvárania a procesy príbuzné procesom zvárania majú veľký význam a prínosy v národnom hospodárstve. Zváranie dovoľuje zvýšiť produktivitu práce, znížiť spotrebu konštrukčného materiálu, zjednodušiť konštrukciu a skrátiť výrobné časy. Zváranie je spájanie kovov do nerozoberateľného celku za pomoci tepla, tlaku, prídavného materiálu schopného vytvoriť spoje so základným materiálom. Je využívané čoraz častejšie, zvárané súčiastky sa využívajú pri výrobe nových strojov, pri opravách. Zvárané súčiastky môžu nahradiť odliatky a výkovky, ak sa uvažuje o súčiastkach veľkých rozmerov. Všetky kovové materiály, ktoré sa zvarujú, musia mať osobitú vlastnosť – zvariteľnosť (Technológie zvárania, spájkovania a lepenia, 2011).

Na zváranie kovov a zliatin sa využíva tepelná, mechanická alebo radiačná energia. Všetky pevné látky majú väzby medzi atómami, ktoré umožňujú spojenie na teplom alebo tlakom aktivovaných plochách. Každá pevná látka má charakteristický typ väzby, kde ióny a atómy sú usporiadané tak, aby potenciálna energia mriežky bola čo najmenšia. Vlastnosť valenčných elektrónov, ktoré môžu voľne prechádzať od atómu k atómu, je základom väzby. Ak príťažlivé sily medzi kovovými iónmi prevažujú nad odpudivými silami elektrónov v elektrónovom mraku, dochádza ku kovovej väzbe. Príťažlivé a odpudivé sily spôsobia usporiadanie iónov podľa presne definovaného rozloženia (Kubíček, 2006).

1.2 Základné pojmy

Základné pojmy, ich vymedzenie a význam definuje norma STN 05 0000 (1996). Názvy rozdeľuje do štyroch častí:

- Všeobecné pojmy,
- Spôsoby zvárania,
- Zvarové spoje a zvary,
- Technológia zvárania.

V časti Všeobecné pojmy sú uvedené definície pojmov, význam a vzájomné vzťahy:

Zváranie je proces vyhotovovania nerozoberateľných spojov dosiahnutím medziatómových väzieb medzi spájanými časťami pri ich ohreve alebo plastickej deformácii, alebo pri spoločnom pôsobení jedného i druhého.

Zváraná konštrukcia je kovová konštrukcia vyhotovená zváraním jednotlivých častí.

Zvarok je časť konštrukcie, v ktorej sa zvárajú navzájom pripojené časti.

Zvarový spoj je nerozoberateľné spojenie vyhotovené zváraním.

Zvar je časť zvarového spoja vytvárajúca sa v dôsledku kryštalizácie roztaveného kovu alebo plastickej deformácie pri tlakovom zváraní alebo kombináciou kryštalizácie a deformácie. Zvar je teda časťou zvarového spoja, ktorý je zasa časťou zvaru, z ktorého alebo z ktorých pozostáva celá zváraná konštrukcia (obr. 1).

Základný materiál je materiál, ktorý sa zvára alebo sa naň navára.

Prídavný materiál sa používa na vytvorenie zvaru alebo návaru, ktorý sa zúčastňuje popri základnom materiáli zvaracieho pochodu.

Koreňová medzera je vzdialenosť medzi zváranými dielcami v mieste budúceho koreňa zvaru.

Uhol skosenia je ostrý uhol medzi plochou skosenia hrany a plochou čela.

Otupenie je neskosená časť zvarovej plochy v mieste budúceho koreňa zvaru.

Uhol rozovretia je uhol medzi skosenými hranami zváraných častí.

Zvarová medzera je najkratšia vzdialenosť medzi zvarovými plochami častí pripravených na zváranie.

Hĺbka závaru je najväčšia hĺbka roztavenia základného materiálu v priereze zvaru alebo navarenej húsenice.

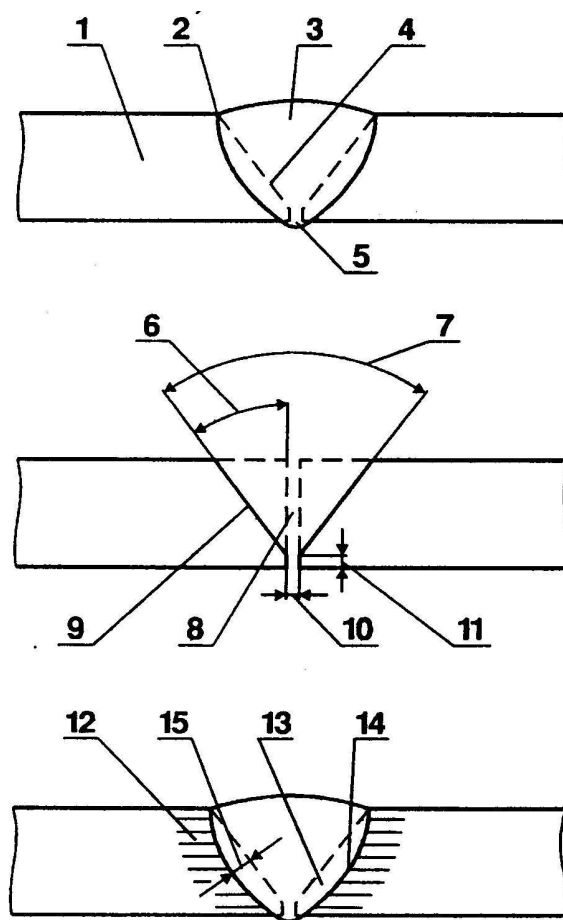
Oblasť roztavenia je oblasť zvaru, roztavená pri zváraní s výraznou lejacou štruktúrou.

Hranica stavenia je oblasť čiastočne natavených zŕn na hranici základného materiálu a zvarového kovu.

Zavar je časť základného materiálu, ktorá bola počas zvárania roztavená.

Ovplyvnená oblasť je nenatavená oblasť zvarového spoja, v ktorej došlo vplyvom zvaracieho procesu k zistiteľným zmenám štruktúry alebo vlastností základného materiálu.

Zvarový kúpeľ je časť zvarového materiálu, ktorá sa pri tavnom zváraní nachádza v tekutom stave (Zváranie, 2011).



Obr. 1 Popis zvaru (Priemyselné technológie a výrobné zariadenia, 2011)

1 – základný materiál, 2 – okraj zvaru, 3 – zvarový kov spoja, 4 – zvarová plocha, 5 – koreň zvaru, 6 – uhol skosenia, 7 – uhol rozovretia, 8 – styčná medzera, 9 – skosená zvarová plocha, 10 – koreňová medzera, 11 – výška otupenia, 12 – ovplyvnená oblasť, 13 – závar, 14 – prechod zvaru, 15 – hĺbka zvaru

1.3 Rozdelenie spôsobov zvárania

V procese zvárania musí byť dodaná energia pre aktiváciu kontaktných plôch, kedy sa prekoná bariéra potenciálnej energie povrchových atómov (obr. 2). Na aktiváciu kontaktných plôch sa využívajú formy aktivačnej energie:

1. termická aktivácia,
2. mechanická aktivácia – pružná a plastická deformácia,
3. radiačná aktivácia – elektrónové, fotónové alebo iónové ožarovanie.

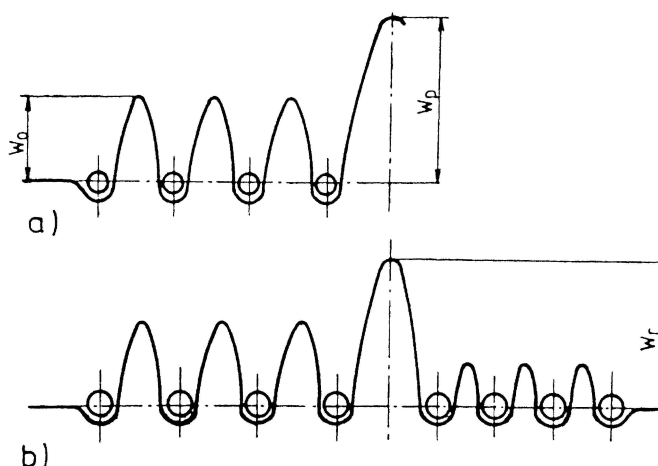
Avšak bežné metódy zvárania možno rozdeliť na dve skupiny:

1. tavné zváranie,
2. tlakové zváranie.

Pri tavnom zvarovaní spoj vzniká prívodom tepelnej energie do oblasti zvaru, čím sa roztaví základný materiál, prípadne prídavný materiál. Medzi tekutou fázou a povrchom tuhej fázy pôsobia adhézne sily, ktoré sa pri tuhnutí menia na chemickú väzbu, vytvárajú kryštalovú mriežku, rastú nové zrná.

Tlakové zváranie je založené na využití mechanickej energie. Aktivácia povrchových atómov a deformácie nastávajú priblížením spojovaných povrchov na vzdialenosť pôsobenia medziatómových síl a tým vzniká vlastný spoj.

Nutnosťou oboch procesov zvárania je prekonanie hladiny potenciálnej energie na rozhraní aktivovaných kontaktných plôch (Kubíček, 2006).



Obr. 2 Energetické bariéry potenciálnej energie (Kubíček, 2006)

W_o – potenciálna energia nutná pre zmenu polohy iónu vo vnútri kryštálu; W_p – vplyv povrchu kryštálu na veľkosť potenciálnej energie (energia nutná pre zmenu polohy iónu); W_r – potenciálna energia na rozhraní fáz

Spôsoby zvarovania zatriedené do tavného zvarovania:

- a) oblúkové zvarovanie,
- b) plameňové zvarovanie,
- c) elektrotroskové zvarovanie,
- d) laserové zvarovanie,
- e) elektrónové zvarovanie,
- f) aluminotermické zvarovanie.

Jednotlivé prívlastky upresňujú zdroj tepla pri zvarovaní, pri elektrotroskovom zvarovaní roztavenie zvarovaných materiálov zapríčiňuje teplo uvoľňujúce sa cez roztavenú trosku pri prechode elektrického prúdu a pri aluminotermickom je zdrojom ohrevu horenie aluminotermickej zmesi.

Spôsoby zvarovania s použitím tlaku:

- a) odporové zvarovanie – teplo vzniká prechodom elektrického prúdu cez zvarované časti,
- b) trecie zvarovanie – ohrev je dôsledkom trenia zvarovaných častí,
- c) tlakové zvarovanie – veľkosť ohrevu nesmie prekročiť teplotu tavenia zvarových materiálov,
- d) kováčske zvarovanie – nastáva plastickou deformáciou pri kovaní,
- e) difúzne zvarovanie – vzájomnú difúziu atómov stýkajúcich sa častí je vyvolané dlhodobým pôsobením zvýšenej teploty a malej plastickej deformácie,
- f) ultrazvukové zvarovanie – pôsobením ultrazvukového kmitania,
- g) zvarovanie za studena – bez ohrevu bez externého zdroja tepla pri veľkej plastickej deformácii,
- h) magneticko-impulzné zvarovanie – spoj vzniknutý nárazom spájaných častí vyvolaným vplyvom impulzného magnetického poľa,
- i) zvarovanie výbuchom – spoj vyvolaný tlakom detonačných splodín trhaviny.

Jednotlivé spôsoby zvarovania možno ešte ďalej rozvíť na viacero modifikácií danej technológie, napr. oblúkové zvarovanie možno deliť na zvarovanie taviacimi elektródami, obalenou elektródou, gravitačné oblúkové zvarovanie obalenou elektródou, vibračné zvarovanie, oblúkové zvarovanie v ochrannnej atmosfére, oblúkové zvarovanie staviacou sa elektródou v inertnom/aktívnom plyne MIG/MAG. Ďalším príkladom je

odporové zváranie, ktoré je možné deliť na zváranie: bodové, švové, stykové atď. (Zváranie, 2011).

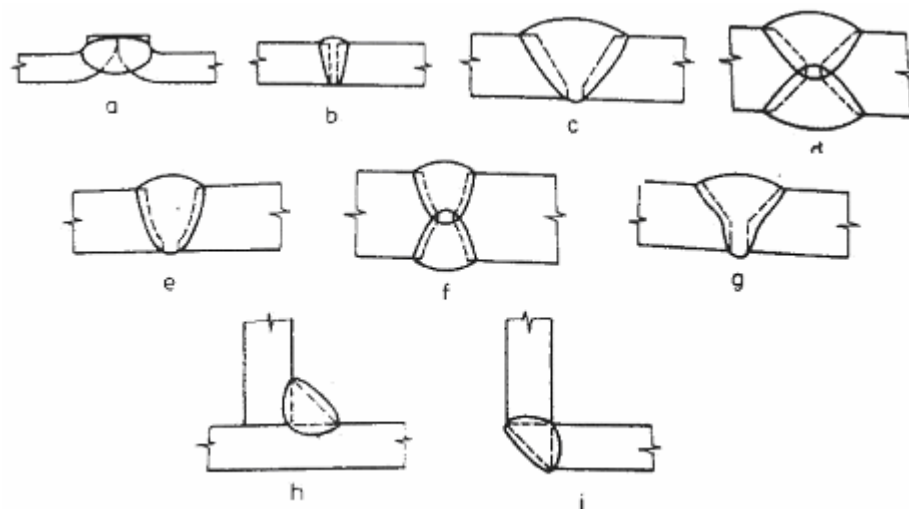
Ďalej je možné zváranie rozdeliť podľa automatizácie na:

- a) ručné zváranie – je vykonávané ručne pomocou nástroja,
- b) mechanizované zváranie – vykonávané použitím strojov a mechanizmov ovládaných človekom,
- c) automatizované zváranie – je vykonávané mechanizmami podľa zadaného programu (Zváranie, 2011).

1.3.1 Druhy zvarov

Zvary možno rozdeliť podľa vzájomného situovania zváraných materiálov a zvaru vo zvarovom spoji na:

- Lemové zvary (obr. 3a) – zváranie materiálov do hrúbky 3 mm
- Tupé zvary (obr. 3b až 3g) – na zváranie plechov všetkých hrúbok
- Kútové zvary (obr. 3h) – zváranie navzájom kolmých plôch
- Rohové zvary (obr. 3i) – sú náročné na nastavenie polohy zváraných dielcov
- Dierové zvary – vyplňajú otvor zhotovený v jednom zvaracom dielci
- Priearové zvary – na preplátované spoje (Technológie zvárania, spájkovania a lepenia, 2011)



Obr. 3 Druhy zvarov (Technológie zvárania, spájkovania a lepenia, 2011)

a – lemový zvar; b až g – tupé zvary; h – kútový zvar; i – rohový zvar

V praxi zvar bežne pokračuje po celej dĺžke zvarového spoja. Vtedy ide o priebežný zvar – ak je zvarový spoj bez prerušenia, prerušovaný zvar – ak sa zvarový spoj skladá z kratších, navzájom nespojených úsekov (Zváranie, 2011).

Nosný zvar prenáša sily pri zaťažení zvarkov, požiadavkám na tesnosť dielcov zváranej konštrukcie vyhovuje tesniaci zvar. Spájanie zváraných dielcov bez nosnej funkcie sa uskutočňuje spojovacími zvarmi. Stehové zvary sa využívajú na zabezpečenie polohy zváraných dielcov pred a v priebehu zvárania (Technológie zvárania, spájkovania a lepenia, 2011)

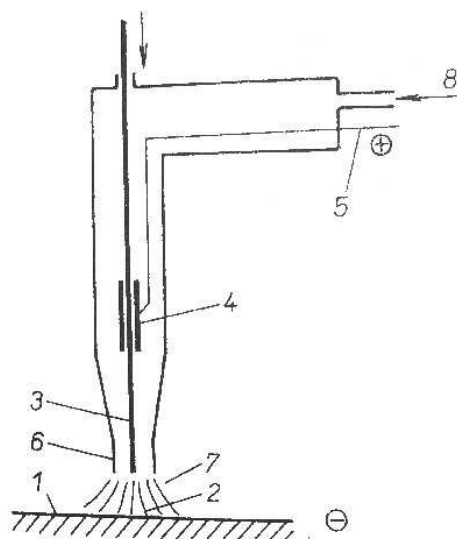
V niektorých prípadoch, kedy to nie je možné z technologických, konštrukčných a dopravných príčin, sa zhotoví zvar až na mieste – takýto zvar sa nazýva montážny zvar (Zváranie, 2011).

1.4 Oblúkové zváranie v ochrannej atmosfére

Zváranie metódou MIG/MAG je oblúkové zváranie, kde odtavujúca sa kovová elektróda je súčasne aj zvaracou prísadou a nositeľom oblúku. Zvárací drôt sa odvíja zo zásobníka a je hnaný cez hnacie kladky do zvaracieho horáka, kde cez kontaktnú rúrku alebo tiež vymeniteľný prievlak dochádza k prechodu prúdu. Voľný koniec prechádza cez zúžený koniec hubice a je koncentricky obklopený ochrannou atmosférou plynu. Prúdiaca ochranná atmosféra zamedzuje oxidácii a iným chemickým reakciám na povrchu zvaru s okolitým prostredím (obr. 4). Ochranný plyn zachováva pevnosť a húževnatosť zvaru (OERLIKON, 2011).

Ochranná atmosféra môže byť inertná alebo aktívna. Inertné plyny chránia roztavený kúpeľ a nevstupujú do chemických reakcií s tavným kúpeľom. Naopak aktívne atmosféry spolu pôsobia na chemických reakciách v tavnom kúpeľi, ich pôsobenie je závislé od zloženia prídavného materiálu (Strojárska technológia, 2009).

Zváranie taviacou sa elektródou v ochrannej atmosfére aktívneho plynu MAG (Metal Active Gas) patrí medzi tavné spôsoby zvárania. Medzi koncom elektródy a základným materiálom horí oblúk, ktorý je spolu so zvarovým kúpeľom chránený ochranným plynom, ktorý prúdi z hubice horáka. Elektrický prúd je privádzaný do elektródy cez vymeniteľný prievlak (Technológie zvárania, spájkovania a lepenia, 2011).



Obr. 4 Princíp zvárania MIG/MAG (Technológie zvárania, spájkovania a lepenia, 2011)

1 – základný materiál, 2 – elektrický oblúk, 3 – elektróda, 4 – prievlak, prívod prúdu do elektródy, 5 – prívod prúdu do horáka, 6 – hubica horáka, 7 – ochranná plynová atmosféra, 8 – prívod ochranného plynu do horáka

Zváranie taviacou sa elektródou v ochrannej atmosfére inertného plynu MIG (Metal Inert Gas) je veľmi podobné zváraniu metódou MAG. Medzi hlavné oblasti použitia tohto spôsobu zvárania je zváranie kovov a zliatin, kde je potrebné udržanie mechanických vlastností zvarov. Aktívna atmosféra by zapríčinila veľký preval prvkov a zhoršenie mechanických vlastností zvarov. Ako inertná atmosféra sa prevažne využíva argón, ojedinele hélium a ich zmesi. Oproti zariadeniam na zváranie MAG je rozdiel v použitej ochrannej atmosfére, ktorá neovplyvňuje natavený materiál. Zariadenie na zváranie MIG sa líši od zariadení MAG len niektorými konštrukčnými úpravami (Technológie zvárania, spájkovania a lepenia, 2011).

Charakteristickým znakom MIG/MAG je veľké prúdové zaťaženie elektródy – 180 až 700 A . mm⁻². (Mičian, 2006).

Spomedzi oblúkových metód zvárania sa dosahujú zvaracie prúdy od 30 A pri tenkých plechoch až do 800 A u vysokovýkonných mechanizovaných metódach. Pre tenké plechy je charakteristický prenos kovu oblúkom a sprchový prenos pre väčšie hrúbky plechov. Charakter prenosu kovu oblúkom závisí na parametroch zvárania a ochrannom plyne a pri vysokých prúdoch sa môže dosiahnuť rotujúci oblúk. Rotujúci oblúk sa dosahuje vplyvom elektromagnetických síl. Na parametroch zvárania

technológii v chemickom zložení a vlastnostiach materiálu závisí teplota roztaveného kúpeľa (1600 až 2100 °C) a teplota kvapiek sa pohybuje v rozmedzí od 1700 až po 2500 °C. Rýchlosť prenášaných kvapiek oblúkom presahuje 130 m/s pri vysokých prúdoch a zvarovacia rýchlosť 150 cm/min. (Kubíček, 2006).

Ako výhody zvárania je možné uviesť možnosť zvärať vo všetkých polohách, vyššiu produktivitu práce pri zváraní, adaptabilnosť procesu, možnosť automatizácie a robotizácie. Medzi nevýhody možno zaradiť nutnosť neustáleho prívodu ochrannej atmosféry (je potrebné zvýšiť pozornosť pri smere zvárania voči prievanu, poveternostným podmienkam). Ďalšími nevýhodami sú vyššia náchylnosť k tvorbe studených spojov, neprievarov a iných chýb, vyššie nároky na riešenie spojené s automatizáciou a sériovou výrobou (Strojárska technológia, 2009).

1.4.1 Prídavný materiál

Prídavným materiálom na zváranie je zvarací drôt a jeho chemické zloženie a obsah nečistôt ovplyvňuje kvalitu zvaru (Mičian, 2006). Ďalším rozhodujúcim ukazovateľom pre voľbu drôtu je hodnota minimálnej pevnosti základného materiálu a prevádzkové parametre, v ktorých bude zvarovaný výrobok pracovať. Vo všeobecnosti platí, že pevnosť zvarového kovu má byť približne rovnaká alebo málo vyššia ako medza klzu alebo pevnosť základného materiálu. Preto sa prídavné materiály vyrábajú v rôznych kategóriách podľa pevnostných vlastností, chemického zloženia a zvariteľnosti základného materiálu (Malina, Papajčík, 2002).

Z hľadiska konštrukcie sa prídavné materiály pre zváranie metódou MIG/MAG rozdeľujú na (Mičian, 2006):

- plné,
- plnené.

Najbežnejšie používané plné zvaracie drôty sú s priemerom 0,8 až 1,6 mm, ale výrobcovia vyrábajú a dodávajú aj priemery 0,6; 2,0 a 2,4 mm.

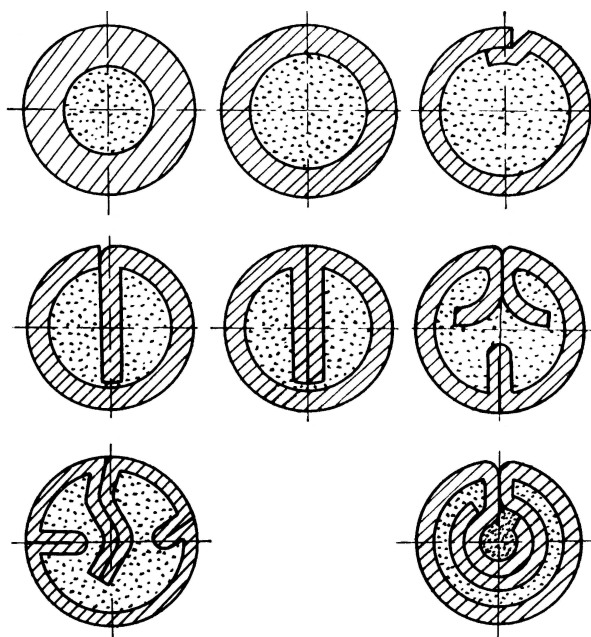
Plnené drôty pre zváranie sa klasifikujú do dvoch skupín (obr. 5):

1. bezšvové plnené drôty,
2. tvarovo uzavreté plnené drôty.

Bezšvové plnené drôty sú zvárané vysokofrekvenčným zváraním do tvaru nekonečnej trubičky s kalibrovaním plniaceho priemeru. Vnútorňý objem trubičky je plnený pomocou vibrácií aglomerovaným plnivom. Nasledujúcim ťahaním na žihací

priemer a žíhaním na mätko sa znižuje obsah vodíku pod hodnotu 5 ml na 100 g zváraného kovu prídavného materiálu. Konečným krokom pri výrobe je čistenie a leštenie a následne môže byť plnený drôt pomedený. Náplňou plnených drôtov bývajú bázické, kyslé, rutilové, fluoridové struskotvorné prísady, ktorých úlohou je ovplyvňovať formovanie zvaru a kvalitu povrchu. Popri struskotvorných zmesiach náplne tiež obsahujú dezoxidačné a ionizačné prísady na ovplyvňovanie kvality zvaru a horenie oblúku. Medzi výhody plnených drôtov patrí ich dobrá zmáčavosť, hladký povrch, umožňujú zníženie nebezpečia vzniku studených spojov, nízku náchylnosť na tvorbu trhlín a spôsobujú veľmi dobré mechanické vlastnosti zvarov.

Tvarovo uzavreté plnené drôty sa valcujú z kovového pásu a zakružujú sa do tvaru kruhového prierezu. Nazývajú sa tiež švové trubičky. Rozdiel vo výrobe oproti bezšvovým plneným drôtom je v tom, že plnivo sa dávkuje pred uzavretím do tvaru trubičky. Nevýhodou týchto drôtov je možné roztvorenie pri väčších tlakoch v podávacích kladkách zariadenia. Tento typ trubičiek sa vyrába bez povrchovej úpravy (Kubíček, 2006).



Obr. 5 Zobrazenie plnených drôtov bezšvových
a plnených drôtov so švom (Kubíček, 2006)

1.4.2 Ochranné plyny

Ochranné atmosféry plynov zaviedli technológovia a konštruktéri z nutnosti a odstránenia trosky z vyhotoveného tvaru. Používa sa čistý plyn alebo zmes viacerých plynov (Zváranie, 2011).

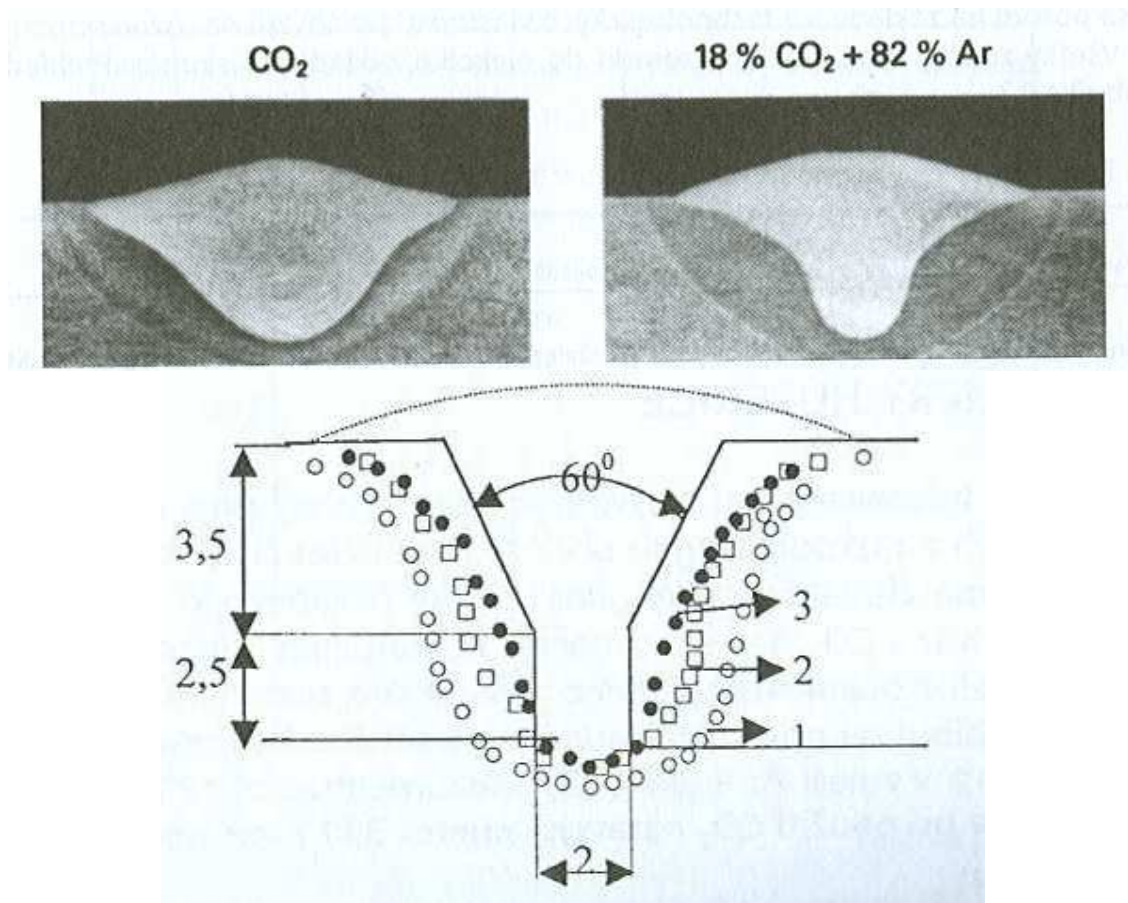
Ochranná atmosféra môže byť tvorená inertným ochranným plynom alebo aktívnym ochranným plynom. Ako inertné plyny sa využívajú argón a hélium. Ich použitie sa väčšinou vzťahuje na zváranie vysokolegovaných ocelí, hliníka, špeciálnych zliatin a farebných kovov. Na zváranie nelegovaných alebo nízkelegovaných ocelí ako oceľové konštrukcie a zariadenia sa používa aktívny plyn alebo zmesi aktívnych plynov (Malina, Papajčík, 2002).

Ochranné plyny sa líšia chemickými a fyzikálnymi vlastnosťami, zabraňujú kontaminácii zvarového drôtu a tekutého kúpeľa okolitou atmosférou, ovplyvňujú stabilitu oblúku, spôsob prenosu kovu metalurgickej reakcie v oblúku, kvapke, tekutom kove (Mičian, 2006).

Podľa Kubíčka (2006) ochranné plyny výrazne ovplyvňujú typ prenosu kovu v oblúku, prenos tepelnej energie do zvaru, správanie tekutého kúpeľa, rýchlosť zvárania a iné parametre zvárania, napr. vytvorenie ionizovaného prostredia pre dobrý štart a horenie oblúku, sily pôsobiace oblúku, tvar a rozmery oblúku, tvar a rozmery prierezu zvaru, kvalitu, celistvosť a mechanické vlastnosti zvarového spoja (obr. 6).

Medzi základné komponenty ochranných plynov patria argón (Ar), hélium (He), oxid uhličitý (CO_2), kyslík (O_2), vodík (H_2) a dusík (N_2). Argón (Ar) a oxid uhličitý (CO_2) tvoria zložky jednokomponentných zmesí. Spojením dvoch a viacerých plynov môžeme vytvoriť široký sortiment zmesí:

- dvojkomponentné pre zváranie – Ar + CO_2 , Ar + O_2 , Ar + He
- dvojkomponentné pre formovanie zvaru – H_2 + N_2
- trojkomponentné pre zváranie – Ar + O_2 + CO_2 , Ar + He + H_2 , Ar + CO_2 + He
- štvorkomponentné pre zváranie – Ar + CO_2 + He + H_2 (Mičian, 2006)



Obr. 6 Vplyv plynu na profil zvaru (Mičian, 2006)

1 – 100% CO₂, 2 – 84% Ar + 13 CO₂, + 3% O₂, 3 – 82% Ar + 18% CO₂

1.5 Metalurgické reakcie pri zváraní MAG ocelí

Ochranné atmosféry aktívnych plynov pri metóde zvárania MAG sa delia do troch skupín podľa pôsobenia na prídavný materiál:

1. redukčné účinky,
2. oxidačné účinky,
3. nauhličujúce účinky.

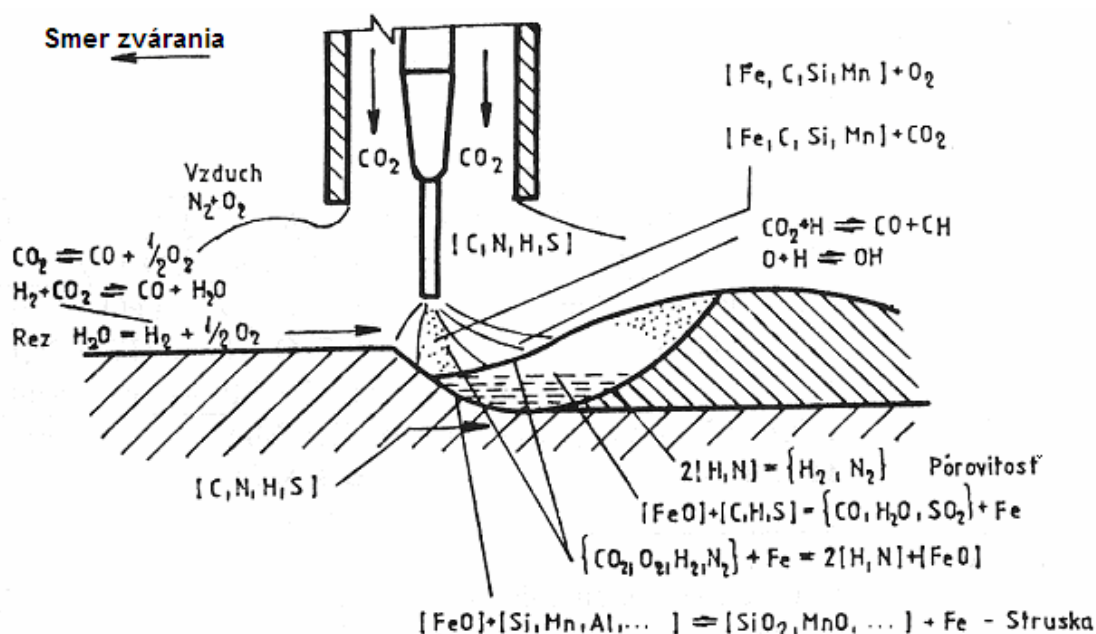
Redukčné účinky na tavný kúpeľ má vodík a jeho zmesi. Oxidačné účinky sa prejavujú v plynch s určitým podielom kyslíku a nauhličujúci efekt má plyn s obsahom uhlíku.

Medzi dôležité metalurgické reakcie pri zváraní patria oxidačné a dezoxidačné pochody prebiehajúce v kvapkách taviacej sa elektródy a v tekutom kúpeli (Kubíček, 2006).

Atomárny kyslík chemicky reaguje s prvkami v prídavných materiáloch a podľa chemickej afinity ku kyslíku sa prvky delia v prídavných materiáloch na (Mičian, 2006):

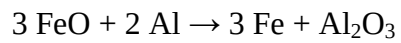
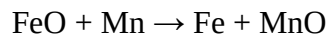
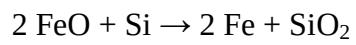
1. aktívne – rýchlo reagujúce – C, Al, Zr, Ti, Si, V, Mn,
2. stabilné – pomaly reagujúce – Cr, Fe, Mo, Ni, Cu.

Podiel obsiahnutého kyslíku v ochrannom plyne ovplyvňuje oxidačné reakcie – zlučovanie O_2 s Fe, Mn a Si, poprípade vytvára oxidy s uhlíkom za vzniku CO. Oxidačné reakcie sú exotermické, čím dodávajú teplo kvapkám zvarového kovu pri prechode do tavného kúpeľa. Veľkosť takto uvoľneného tepla závisí na množstve kyslíku v ochrannom plyne. Teplo uvoľnené reakciami je difúziou rozptyľované do okolitého základného materiálu, čím je dosiahnutý hlbší a oválnejší tavný kúpeľ zvaru s ochranným plynom CO_2 . Vznik bublín vo zvare je zapríčinené zlučovaním oxidu FeO s C. Ako prevencia proti pórovitosti a bublinatosti zvarov sa do prídavných materiálov legovaním dodávajú dezoxidačné prvky Mn a Si. Tieto vytvárajú oxidy v dezoxidačných reakciách, ktoré tvoria strusku na povrchu tavného kúpeľa. Existuje priama závislosť medzi množstvom strusky a množstvom O_2 a CO_2 v zmesi oxidačného plynu. Chemické zloženie strusky pri zváraní uhlíkovej oceli: 14% FeO, 40% MnO, 45% SiO_2 , stopy Cu_2O a oxidy stopových prvkov (obr. 7) (Kubíček, 2006).



Obr. 7 Reakcia ochrannej atmosféry s povrchom tavného kúpeľa (Kubíček, 2006)

Problém prepalu pórovitosti a bublinatosti je možné zvýšiť obsahom aktívnych prvkov v prídavných materiáloch a dezoxidáciou prvkami s vysokou afinitou ku kyslíku cez prídavný materiál (Si, Mn, Al).



Vzniknuté oxidy je nutné priviesť na okraj zvaru do trosky ako nežiadúce vtrúseniny k zamedzeniu vzniku pórov (Mičian, 2006).

2 Metalografická analýza zvarov

Metalografia je vedecká disciplína zaoberajúca sa zložením a štruktúrou kovov, zliatin a materiálov (Iždinský, 2008).

Metalografia napomáha správne vysvetliť správanie sa materiálu, vlastnosti materiálu, pred a po jeho následnom ovplyvnení. Pri pozorovaní sa kladie dôraz na posúdenie vlastností materiálu, chemického zloženia a štruktúry ovplyvnenej technologickými operáciami a podmienkami pri prevádzke. Štruktúra kovu je charakterizovaná kryštalickou stavbou, metódy skúmania štruktúry kovových materiálov sa označujú ako metalografické metódy (Praktická metalografia, 2007).

Vo všeobecnosti existujú tri úrovne pozorovania štruktúry materiálu: makroskopická, mezoskopická a mikroskopická úroveň.

Makroskopická úroveň popisuje vzťahy v štruktúre na rozmerovej úrovni nad 1 mm (tokové čiary v tvárnených zliatinách, kryštalizačné štruktúry v odliatkoch, zvarové spoje – hĺbka natavenia, veľkosť zóny natavenia, počty húseníc, veľkosť tepelne ovplyvnených zón, druhy a veľkosti zvarových defektov, výrobné nedostatky – studené spoje a dutiny, pórovitosť a stiahnutiny v odliatkoch a i.).

Mezoskopická úroveň popisuje vzťahy v štruktúre na rozmerovej úrovni 1 mm – 100 μm (objekty na úrovni veľkosti zrna, hĺbka zakalenia, veľkosti buniek, dendritov a ich ramien, typ zŕn, chemická mikrosegregácia a i.) a mikroskopická úroveň na rozmerovej úrovni nad 100 – 0,1 μm (veľkosť zŕn, dvojčatenie, tvar a distribúcia častíc sekundárnych fáz) (Iždinský, 2008).

2.1 Makroskopické hodnotenie

Zváranie ako technologická operácia ovplyvňuje metalurgické deje na povrchu zváraných základných materiálov chemicky, fyzikálne a termicky ovplyvňuje štruktúru základných materiálov. Tieto zmeny štruktúry je možné pozorovať pomocou makroskopickej metalografickej metódy, ktorou sa budeme zaoberať.

Makroskopická analýza je pozorovanie materiálu na rozmerovej úrovni nad 1 mm voľným okom alebo do 30 – násobného zväčšenia. Zahŕňa vstupné a orientačné metódy zisťovania štruktúry kovu. Pri pozorovaní sa často krát pozorujú väčšie plochy a na zvýraznenie štruktúry sa používajú leptadlá. Pomocou nich možno vyvolať:

- primárnu štruktúru – stavba ingotu,
- vady materiálu,
- nečistoty,
- akosť zvaru,
- priebeh vlákien a deformácia u tvárnených materiálov (Kontrola štruktúry, 2011).

Makroskopická analýza patrí medzi deštruktívne metódy, kontroly zvarových spojov, kde tiež môžeme zahrnúť aj ťahovú skúšku, skúšku lámavosti, skúšku tvrdosti, skúšku rozlomením, skúšku rázom v ohybe (Leždík a i., 2006).

Analýza makroskopickej metódy sa zameriava hlavne na (Kontrola štruktúry, 2011):

- pozorovanie vád materiálu,
- pozorovanie chemickej nerovnorodosti,
- pozorovanie makroštruktúry výrobkov a polotovarov.

Pri zvarovom spoji sa bližšie analyzujú tieto charakteristiky (Leždík a i., 2006):

- horúce studené trhliny,
- dutiny a vtrúseniny,
- neprievar a geometrický tvar,
- tepelne ovplyvnená oblasť,
- mechanické tepelné vplyvy.

2.2 Príprava metalografických vzoriek

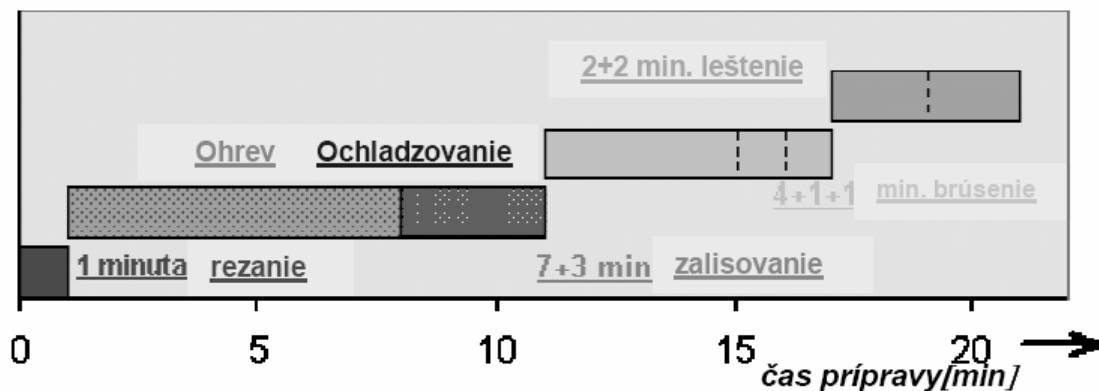
Odobratie metalografickej vzorky je závislé od účelu pozorovania. Je potrebné zvoliť správnu rovinu rezu, v ktorej sa pozoruje štruktúra vzorky. Stupeň plastickej deformácie jednotlivých štruktúrnych zložiek kovovej základnej hmoty, morfológia a usporiadanie nekovových inklúzií je možné pozorovať v pozdĺžnych rezoch. V priečných rezoch sa skúma hĺbka a rovnomernosť povrchových alebo korózných vrstiev, rozloženie nekovových inklúzií v celom priereze, hĺbka prienikov povrchových defektov, hrúbka prechodovej vrstvy pri zvaroch (Praktická metalografia, 2007).

Na prípravu vzoriek sú použité metalografické postupy, ktoré sa skladajú z operácií:

- delenie materiálu (odber vzorky),
- zalisovanie vzorky,
- brúsenie vzorky,

- leštenie vzorky,
- leptanie vzorky.

Doba prípravy metalografickej vzorky sa pohybuje rádovo v minútach (obr. 8) (Metalografia, 2011).



Obr. 8 Čas prípravy vzorky z ocele s plochou 100 mm² (Metalografia, 2011)

2.2.1 Delenie materiálu

Pri odbere vzoriek zo skúmaného materiálu si vzorka musí zachovať vlastnosti materiálu, z ktorého bola odobratá. Oddelovanie vzorky musí prebiehať tak, aby nedochádzalo k deformáciám a následnému skresleniu analyzovaných údajov. Musí byť zabezpečené dostatočné chladenie pri rezaní a optimálna rezná rýchlosť a rýchlosť posuvu stola so vzorkou (Praktická metalografia, 2007). Nesprávnymi charakteristikami rezania môžeme vyvolať deformácie alebo tepelné ovplyvnenie materiálu. Nežiadúcim účinkom je potrebné predchádzať, pretože môžu materiál ovplyvniť do pomerne veľkej hĺbky a tento vplyv sa už následnými operáciami nemusí odvrátiť. Ohrev vzorky môže ovplyvniť mikroštruktúru materiálu, preto sa pre odber vzoriek najčastejšie používa abrazívne rezanie so stálym chladením. Pre delenie kovov sa používajú kotúče s obsahom Al₂O₃ alebo SiC. Pre metalografickú analýzu stačí pripraviť vzorku s plochou 1 až 2 cm² (Metalografia, 2011).

2.2.2 Zalievanie vzorky

Zalievanie vzoriek sa realizuje pre lepšiu ochranu hrán, manipuláciu s malými a krehkými vzorkami, pohodlné uchytenie vzoriek v leštičkách, možnosť lepšej identifikácie vzoriek a jednoduchšiu skladovateľnosť. Existujú dva druhy zalievania, a to zalievanie za studena a zalievanie za tepla – zalisovanie.

Pri zalievaní vzoriek za studena zalievacie hmoty obsahujú živicu a vytvrdzovač. Dvojzložkové zalievacie hmoty môžu byť (Iždinský, 2008):

- epoxidové živice – majú najmenšie zmrštenie, vynikajúcu priľnavosť k materiálom, sú odolné voči teplu a chemikáliám
- akrylové živice – sú rýchlo tvrdnúce, majú minimálne zmrštenie a vynikajú termoplastickosťou a chemickou odolnosťou
- polyesterové živice – majú krátke doby vytvrdzovania, sú odolné voči teplu, nazývajú sa tiež duroplastické.

Akrylátové živice sa vyznačujú tiež nízkou tvrdosťou, ale zalievanie vzoriek je najrýchlejšie, niekedy môže dôjsť pri zalievaní k nedokonalému zafixovaniu vzorky. Nevýhodou epoxidových živíc je ich nevodivosť, to znamená, že nie sú vhodné pre analýzy v riadkovacom elektrónovom mikroskope (Metalografia, 2011).

Používanéjšie v súčasnosti je zalievanie za tepla (zalisovanie) hmotou na báze termosetov alebo termoplastov. Vyrábajú a dodávajú sa v práškovej forme. Za súčasného pôsobenia teploty a tlaku dokonale obalia a fixujú vzorku. Nevýhodou tejto metódy je to, že sa nesmú zalisovať mäkké vzorky a ľahko tavitelné kovy (Metalografia, 2011). Na zalisovanie za tepla je nutné využívať lisovacie zariadenie, ktoré zabezpečí požadovanú teplotu a tlak (120 až 200 °C, 20 až 30 MPa). Výhodou lisovania vzoriek sú kvalita a odolnosť vzorky proti opotrebeniu, rýchla metóda preparácie a presný priemer vzorky (Konečná, 2010).

Základnou požiadavkou dobre pripravenej vzorky je dokonalá priľnavosť k hranám. Pri nesplnení tejto podmienky sa na hranici vzorky a bakelitu hromadia produkty neskoršieho opracovania, ktoré môžu následne spôsobiť koróziu (Praktická metalografia, 2007).

2.2.3 Brúsenie vzorky

Pri brúsení metalografických vzoriek, tak ako pri delení, môže nastať tepelné ovplyvnenie a preto je nutné zabezpečiť priamy chladiaci účinok prúdom chladiacej kvapaliny, ktorá zároveň aj odplavuje častice zbrúseného materiálu a uvoľneného abrazíva. Využívané sú vodovzdorné brúsne papiere s obsahom abrazívnych častí, napr. SiC, Al₂O₃, Al₂O₃ – Fe₃O₄ s rôznou zrnitosťou (označ. 60 až 4000) (Metalografia, 2011). Brúsne papiere 320 až 600 sa používajú pri brúsení ocelí a liatin, pri brúsení silumínu sa používajú papiere 320, 600 až 1000. Ručné brúsenie sa v súčasnosti už

nepoužíva, nahradilo ho brúsenie na poloautomatických a automatických brúskach. Pri strojových brúskach je nutné upnúť vzorku do rotačnej hlavy, nastaviť otáčky a potrebný prítlak na vzorku (Praktická metalografia, 2007).

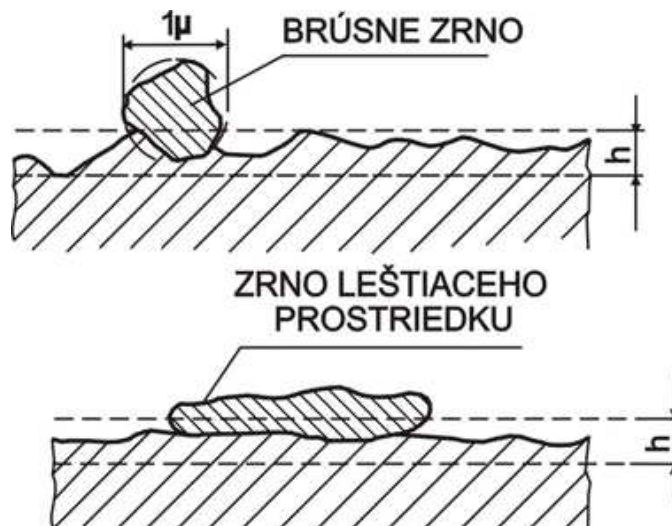
Parametre, ktoré musíme pri príprave vzoriek brúsením dodržať (Iždinský, 2008):

- voľba brúsneho kotúča a brúsneho papiera,
- typ a veľkosť brúsneho zrna,
- mazací prostriedok,
- rýchlosť otáčania,
- prítlačná sila,
- čas prípravy.

Brúsením sa odstraňuje deformovaná vrstva povrchu vzorky, ktorá vznikla pri oddelovaní vzorky od základného materiálu. Úlohou brúsenia je odobrať materiál pomocou tvrdých brúsnych zŕn, ktoré plnia funkciu obrábacieho nástroja. Úlohou brúsenia je tiež minimalizovať deformovanú vrstvu metódou postupného brúsenia a znižovania veľkosti brúsnych zŕn. Pri jemnom brúsení sa minimalizuje deformácia na takú tenkú vrstvu, ktorú sa odstráni ďalším krokom prípravy vzorky (Konečná, 2010).

2.2.4 Leštenie vzorky

Leštenie je krokom, ktorý odstraňuje miesta poškodené pri brúsení – deformovanú vrstvu povrchu a dosahuje sa hladký, zrkadlovo lesklý povrch bez rýh. Najrýchlejší úbytok materiálu a najlepšia rovinnosť povrchu sa dosahuje použitím diamantového brúsneho prostriedku. Ďalej sa na leštenie používa aj koloidný roztok SiO_2 a Al_2O_3 (obr. 9) (Iždinský, 2008).



Obr. 9 Prechod od brúsenia veľmi jemným brúsnyim papierom k mechanickému lešteniu (Konečná, 2010)

h – veľkosť povrchového reliéfu

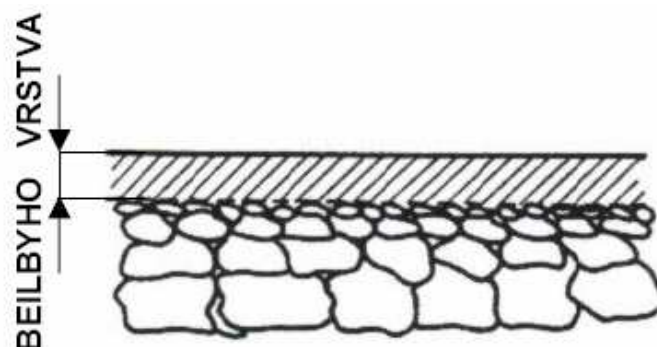
Podľa použitej metódy sa leštenie metalografických vzoriek rozlišuje na:

- mechanické leštenie,
- elektrolytické leštenie,
- chemické leštenie,
- špeciálne postupy leštenia.

Pri mechanickom leštení sa využívajú leštiace látkové kotúče a vodné emulzie oxidov kovov (Metalografia, 2011):

- Al_2O_3 – pre väčšinu kovov,
- MgO – suspenzie sa používajú pre finálne leštenie zliatin horčíka a hliníka,
- SiO_2 – sú určené pre veľmi mäkké materiály,
- Cr_2O_3 a Fe_2O_3 – sa používajú pre finálne leštenie ocelí a liatin.

Po mechanickom leštení zostáva na vzorke deformovaná vrstva, ktorú sa nazýva tzv. Beilbyho vrstva (obr. 10) a jej hrúbka je rovná jednej desatine až jednej šestine stredného rozmeru častíc brúsneho prostriedku, ktorý bol použitý ako posledný (Konečná, 2010).



Obr. 10 Deformovaná, tzv. Beilbyho vrstva (Konečná, 2010)

Ďalším spôsobom leštenia je elektrolytické leštenie, pri ktorom je vzorka anodicky rozpúšťaná. Chemické leštenie je aplikované ponorom, slúži na leštenie, odihľovanie, deoxidáciu a vyjasňovanie vzoriek kovov. Konečná (2010) uvádza aj kombináciu mechanického a elektrolytického leštenia – elektromechanické leštenie na prípravu veľmi hladkého povrchu.

2.2.5 Leptanie vzorky

Leptanie je posledným krokom prípravy povrchu vzorky, na ktorom možno pozorovať praskliny, nečistoty, nekovové častice. Odstránením Beilbyho vrstvy pomocou vhodného leptadla je možné sledovať štruktúru. Na leptanie vzoriek sa využívajú kyseliny a roztoky alebo sa vzorky môžu leptať elektrolyticky. Leptadlo má pôsobiť na plochu zŕn, hranice zŕn alebo na vybrané štruktúrne častice (Praktická metalografia, 2007).

Pre dosiahnutie čo najvýraznejšej štruktúry je vhodné vzorku naleptať, znovu jemne prebrúsiť a znova leptať, pričom sa stále kontroluje stupeň naleptania. Menšie vzorky určené pre mikroskopické pozorovanie sa leptajú ponorením, vzorky väčších rozmerov sa leptajú nanášaním leptadla vatou. Správne leptanie objaví a rozšíri necelistvosti – dutiny a trhliny, resp. hrubé vmestky. Ako bežné používané leptadlá sa používajú zriedená HCl, Nital a HNO_3 (Kontrola štruktúry, 2011).

Leptanie poskytuje zvýraznenie hranice zŕn, na ktorých je možné pozorovať výrazné porušenie kryštalickej mriežky, kde je vyššia koncentrácia nečistôt a prímiesí. Tieto koncentrácie nečistôt a prímiesí spôsobujú menšiu odolnosť voči leptadlám a tým zvýrazňujú štruktúru povrchu metalografickej vzorky (Konečná, 2010).

2.3 Kvalita zvaru

Proces zvárania je ovplyvňovaný množstvom faktorov, ktoré spôsobujú i vznik defektov zvarových spojov. Chyby sú teda neoddeliteľnou súčasťou a objavujú sa v priebehu zvárania alebo po zváraní. Nedostatky zvaru sa prejavujú na povrchu alebo vo vnútri zvarového spoja. Na základe situovania chyby sa delia na vonkajšie a vnútorné (Zváranie, 2011).

Defekty, ktoré je možné pozorovať vo zvarových spojoch klasifikuje norma STN EN ISO 6520 – 1 (2007) do šiestich skupín:

1. trhliny,
2. dutiny,
3. tuhé vtrúseniny (prímesky),
4. chyba nastavenia a neprievar,
5. odchýlky tvaru a rozmerov,
6. rôzne chyby.

Pri zvarových spojoch je nutné dodržiavať určité stupne kvality a medzné rozmery chýb pre stupne kvality, ktoré sú zadefinované v norme STN EN ISO 5817 (2006). Táto norma hovorí o medzných rozmeroch pre vnútorné a vonkajšie chyby, ktoré popisuje norma STN EN ISO 6520 - 1 (2007).

Stupne kvality slúžia na kvalitatívne zaradenie zvaru. Jednotlivé stupne určujú úroveň kvality, ktoré vyplývajú z konštrukčného riešenia a následného spracovania (povrchová úprava), spôsobu namáhania (statické, dynamické), prevádzkových podmienok (teplota, vlhkosť) a dôsledkov porušenia. Stupne kvality sa rozdeľujú do troch skupín:

Skupina B – vysoká úroveň kvality – zameraná na prevádzkovú pevnosť, prevažuje dynamické zaťaženie spoja,

Skupina C – staticky zaťažené spoje, dynamické zaťaženie je nepatrné,

Skupina D – zaťaženie spojov je nepatrné (Zváranie, 2011).

Predchádzanie chýb vo zvarovom spoji je možné ovplyvniť už pri príprave spojov. Vhodnou prípravou je možné dosiahnuť minimalizáciu chýb a uspokojivú funkčnosť zvaru počas zadanej životnosti. Odporúčania na prípravu spojov z hľadiska prípravy a rozmerov zvarového spoja sú uvedené v norme STN EN ISO 9692 – 1 (2003).

Po samotnom zvarení je nutné skontrolovať zhodu s kritériami prijateľnosti a vhodnosti pre daný účel (STN EN ISO 3834 – 3, 2006):

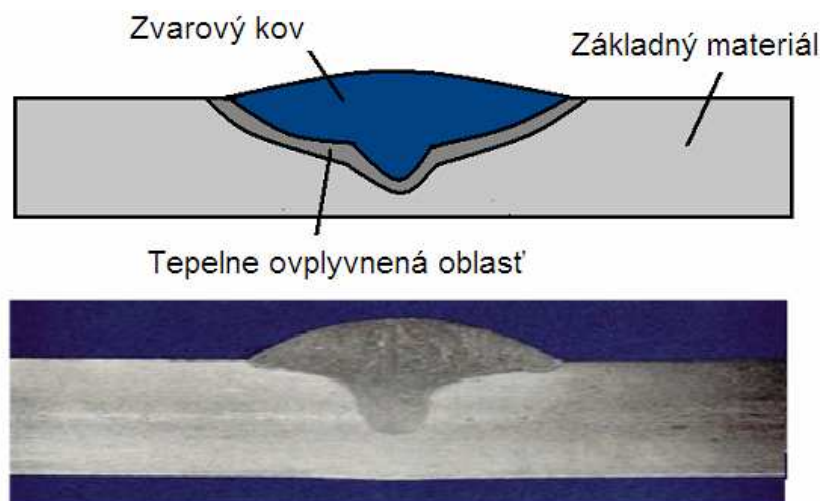
- vizuálnou kontrolou,
- nedeštruktívnymi skúškami,
- deštruktívnymi skúškami,
- kontrolou formy, tvaru, rozmeru konštrukcie,
- výsledkami a záznamami operácií vykonaných po zvaraní.

Z množstva nedeštruktívnych skúšok možno ako príklad uviesť magnetické skúšky, penetračné skúšky, skúšku ultrazvukom, prežiarením. Pri deštruktívnych skúškach dochádza k deštrukcii hotového zvarového spoja, môžeme uviesť skúšku rázom v ohybe, skúšku ťahom, skúšku rozlomením, skúšku tvrdosti (Vickers, Brinell, Rockwell) (Zváranie, 2011).

Prítomnosť porúch zvarov nemusí nutne znamenať, že zvarový spoj je nevyhovujúci a na ich vyhodnotenie sa využíva makroskopická analýza zvarov. Rozbor makroštruktúry sa sleduje na odobratých vzorkách zo zvarovej oblasti. Pre dobrú analýzu musí vzorka obsahovať samotný zvarový spoj aj s časťou základného neovplyvneného materiálu (Ocele na zvarované konštrukcie, 2011).

V makroskopickom rozbere zvarového spoja sa rozlišujú tri oblasti (obr. 11) (Metalografické hodnotenie kovov a zliatin, 2011):

1. zvarový kov (množstvo prídavného materiálu) – vzniká pri tvorbe zvarovania pretavením elektródy a časti základného materiálu, jeho rýchlosť ochladzovania je veľká a primárna štruktúra je hrubozrnná, vznikajú kolumnárne kryštály,
2. tepelne ovplyvnená oblasť – v tejto oblasti nastávajú veľké zmeny štruktúry ocele, vznikajú miesta s rozličnou teplotou, od teploty tavenia kovu až po teplotu okolia, čo má za následok zmenu zrna,
3. základný materiál – môžeme ho pozorovať v miestach, kde nedošlo k ohrevu, resp. štruktúrnym zmenám.



Obr. 11 Štruktúra zvarového spoja (Kubíček, 2006)

Pri rozbere makroštruktúry a vyhodnocovaní sa používa vhodne pripravenú vzorku, na ktorej následne vyhodnocujeme (Kontrola štruktúry, 2011):

- kvalitu spojenia,
- či nejde o studený spoj, či došlo k spojeniu,
- charakter prechodových oblastí zo zvaru do základného materiálu (ostrý, pozvoľný, atď.),
- prítomnosť väd, trhlín, dutín, bublín, nezvarených miest,
- tvar zvaru alebo spôsob nanášania jednotlivých vrstiev.

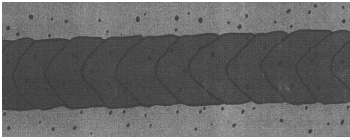
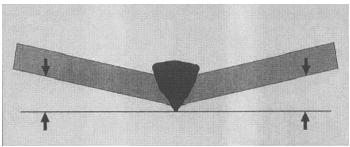
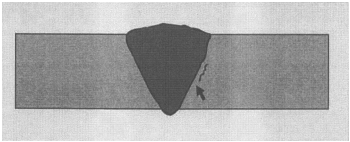
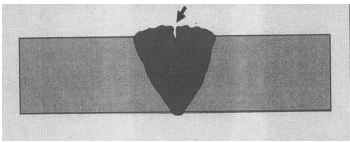
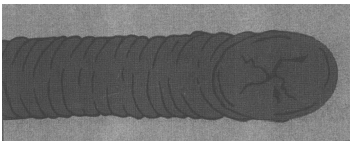
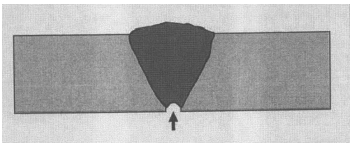
2.4 Chyby v zvarovom spoji

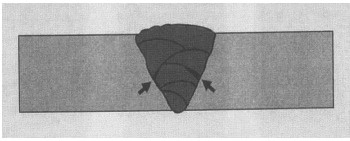
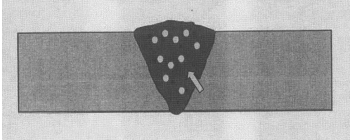
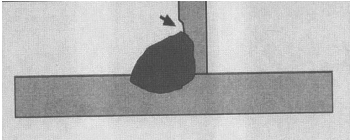
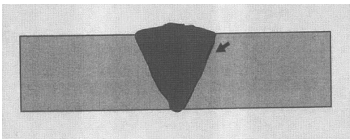
Chyby v zvarovom spoji sú spôsobené množstvom faktorov pri vyhotovovaní zvarových spojov. Môžu byť spôsobené zlou technológiou zvárania, zlou prípravou kovov pred zváraním, nedostatočným upnutím dielov a pod. Chýb vyskytujúcich sa v zvaroch je mnoho, ale hlavným kritériom pre delenie defektov je situovanie chyby na povrch alebo do vnútra zvarového spoja. Výskyt chyby nie je podmienkou pre nesplnenie požiadaviek kvality zvaru. Závisí na type, veľkosti chyby a aj na zámere použitia zvaru. Zvar tak musí vyhovovať vhodnosti pre daný účel a plniť svoju funkciu počas svojej zadanej životnosti (Ocele na zvarované konštrukcie, 2011).

Medzi najčastejšie vyskytujúce sa defekty zvarových spojov môžeme zaradiť veľký rozstrek, uhlové deformácie, trhliny vo zvarovom spoji, kryštalizačné trhliny, trhliny v kráteri, vady koreňa, struskové vmestky, póry, zápaly a studené spoje.

V tabuľke č.1 je uvedené ich zobrazenie, príčiny, ktoré ich vyvolávajú a možné opatrenia na ich korekciu.

Tabuľka č.1: Defekty zvarových spojov, znázornenie defektu, ich príčiny a opatrenia

Defekt	Znázornenie defektu	Príčiny	Opatrenia
Veľký rozstrek		- príliš veľký zv. prúd - dlhý oblúk - nesprávna polarita - vlhkosť alebo nečistota na zvarových hranách	- zníženie zv. prúdu - zmenšenie dĺžky oblúka - kontrola polarity - osušiť miesto zvaru
Uhlové deformácie		- nevhodný postup zvarovania - veľký počet vrstiev - nesymetrické zvary	- obojstranné zvarovanie - elektródy väčšieho prierezu - riadne upevnenie zvarenca
Trhliny vo zvarovom spoji		- základný materiál má väčší % C, Mn alebo ďalších legúr - rýchle ochladzovanie v TOO - vlhké elektródy	- voliť zvárateľný materiál - znížiť rýchlosť ochladzovania v TOO - použitie vysušených bázických elektród
Kryštalizačné trhliny		- nevhodný typ elektródy - základný materiál s vysokým obsahom uhlíka a síry - nevhodná geometria zvaru - zvar nie je dostatočne dimenzovaný	- elektródy s bázickým obalom - vhodný základný materiál - zamedzenie širokých medzier medzi zvarencami - dimenzovanie zvarov
Trhliny v kráteri		- príliš rýchle ukončenie zvarovania (trhliny začínajúca v dutine krátera je zapríčinená vplyvom zmrašťovania pri tuhnutí zvarového kovu)	- vyplnenie krátera po ukončení zvarovania
Vady koreňa		- postupová rýchlosť zvarovania je veľká - medzera medzi zvarencami je malá - nevhodné vedenie elektródy	- zníženie rýchlosti zvarovania - voliť menší priemer elektródy - správna medzera medzi zvaranými dielmi - správna technika zvarovania

Struskové vmestky		- struska predbieha oblúk - nedokonalé odstránenie strusky medzi jednotlivými vrstvami - nesprávne poradie kladenia vrstiev	- zvýšiť rýchlosť zvarovania - odstránenie strusky aj brúsením, ak je to nevyhnutné - správna technika nanášania vrstiev
Póry		- vlhkosť nesprávne skladovaných elektród - nečistoty alebo ochranné nátery na zvarových hranách - vysoká rýchlosť zvarovania - rýchle chladnutie kúpeľa vplyvom nízkeho zvaracieho prúdu	- presušenie elektród, alebo používanie novej krabice - odstránenie náterov, nečistôt, korózných produktov - zníženie rýchlosti zvarovania - skrátenie dĺžky oblúka
Zápaly		- zv. prúd je príliš veľký alebo dlhý - nesprávna elektróda - nevhodný priemer elektródy	- nastaviť správnu intenzitu prúdu - správny uhol vedenia elektródy - dodržiavať vhodnú dĺžku - vhodný priemer elektródy
Studené spoje		- nízky zvarací prúd - nesprávne vedenie elektródy - príliš veľká rýchlosť zvarovania - malý priemer elektródy	- zvýšiť hodnoty zv. prúdu - zmeniť uhol elektródy - elektródy väčšieho priemeru

Zdroj: Metalografické hodnotenie kovov a zliatin, 2011

3 Cieľ práce

V strojárskom priemysle vo vzťahu výrobcu – zákazník musí výrobca vyhovieť požiadavkám zákazníka. Musí dosiahnuť želaný výsledok a splniť očakávania zákazníka. Plnenie požiadaviek sa realizuje predovšetkým cez kvalitu výrobku, pretože spoľahlivý výrobok ovplyvňuje v neskoršej dobe náklady na reklamáciu, prevádzku a údržbu. Organizácia sleduje kvalitu a cez politiku kvality sa snaží o trvalé udržanie a zvyšovanie kvality a výkonnosti.

Hodnotenie kvality výrobku bude predmetom skúmania aj v našej práci, konkrétne kvalita zvarových spojov, ktoré sú súčasťou výrobku. Budú popísané spôsoby zvarovania, analýzy a hodnotenia ako dosiahnuť lepšiu kvalitu zvarových spojov. V práci bude opísaná vybraná technológia zvarovania, ktorá úzko súvisí s procesom výroby výrobku. Vysvetlí sa opis ako samotná technológia funguje, ako výsledky zvarovania možno ovplyvniť a zlepšiť ich kvalitu.

Ďalej sa v práci bude orientovať na makroskopickú analýzu štruktúry zvarov. Objasnené budú zmeny štruktúry kovov ovplyvnené zvarovaním, možnosti ich hodnotenia a popis chýb. Po objasnení teórie sa pristúpi k samotnej tvorbe metalografických vzoriek nutných k dosiahnutiu výsledkov vlastného výskumu. Výskum bude realizovaný za pomoci teoretickej prípravy a použitia vhodných metód makroskopickej analýzy.

4 Metodika práce

Ako bolo spomenuté, príprava vzoriek prebieha v piatich fázach, a to z delenia materiálu, zalisovania vzorky, brúsenia, leštenia a leptania. Pre makroskopickú analýzu je dôležité získať dobre pripravenú vzorku s odporúčanou plochou do 2 cm².

Príprava jednej vzorky môže trvať približne 25 až 30 minút. S využitím nových technológií a prístrojov je možné túto dobu skrátiť. Máme na mysli napr. lisovanie, príp. leštenie dvoch a viacerých vzoriek súčasne.

Pri delení materiálu je nutné postupovať tak, aby sa predišlo tepelnému ovplyvneniu a deformáciám a tým znehodnoteniu odoberanej vzorky. V tomto prípade na prvotné odobratie zvarov z celého dielca bude použitá rotačná kotúčová píla značky BOSCH s hrúbkou rezného kotúča 2,5 mm. Rez sa vykoná v dostatočnej vzdialenosti od zvaru, aby nedošlo k tepelnému ovplyvneniu. Pri ďalšom delení materiálu sa využíva abrazívne delenie s chladiacou tekutinou. Pri tomto delení bude použitá píla AbrasiMatic® 300 (obr. 12) s abrazívnym rozrezávacím kotúčom s priemerom 250 mm hrúbky 1,5 mm.

Pílený zvar sa upne do polohovateľného stola a vo zvolenej polohe sa vykoná rez. Otáčky rezného kotúča sú dané výrobcom, rýchlosť posuvu upínacieho stola je navolený na 0,2 mm/s. Menšie rýchlosti posuvu nespôsobujú veľkú ryhovatosť na pílenej vzorke. Rezaný materiál bude delený tak, aby sa dosiahla požadovaná veľkosť vzorky.



Obr. 12 Píla AbrasiMatic® 300 s abrazívnym rozrezávacím kotúčom

Ak sa pílením získala vhodná vzorku zvaru, pristupuje sa k jej ďalšej príprave, a to k zalisovaniu vzorky do bakelitu vo forme prachových granúl Phenocure® Resin Powder. Na zalisovanie bude využitý automatický zalievací lis SimpliMet® 1000 Automatic Mounting Press (obr. 13). V tomto lise je možné zalievať dve vzorky súčasne, čo sa využije pre skrátenie času prípravy vzoriek v prípade, ak je nutné analyzovať viacero vzoriek. Na digitálnom displeji sa nastavujú požadované funkcie pre správne zalisovanie vzorky. Daná vzorka bude lisovaná pri teplote 150 °C v trvaní 2 min. 30 sekúnd. Doba chladenia cirkuláciou vody je navolená na 4 min. 30 sekúnd. Tlak, ktorý sa využíva na lisovanie, je 280 bar. Veľkosť zaliatej vzorky je daná typom lisu, v našom prípade 30 mm. Hodnoty a trvania časov sú zvolené podľa katalógu k príslušnému lisu, počtu vzoriek lisovaných súčasne a použitej zalisovacej hmoty. Pri správnom nastavení hmota dokonale obalí vzorku, prilne k hranám a zostane viditeľná iba časť určená na analýzu.



Obr. 13 Zalievací lis SimpliMet® 1000 Automatic Mounting Press

Nasledujúcou operáciou po zalisovaní vzorky je jej brúsenie a leštenie povrchu. Brúsenie je taktiež abrazívnou činnosťou podobne ako pílenie, dochádza k odoberaniu materiálu z povrchu vzorky a zároveň aj k uvoľneniu brúsnych zŕn. Aby nedochádzalo k tvorbe ďalších rýh týmito odpadmi, sú odplavované vodou. Využívajú sa brúsne papiere s rozličnou veľkosťou brúsneho zrna a odolnosťou voči vode. Celý proces sa vykonáva na prístroji EcoMet® 250 & AutoMet® 250 Family (obr. 14).



Obr. 14 Brúska a leštička EcoMet® 250 & AutoMet® 250 Family

Pozostáva z dvoch hlavných častí, a to z EcoMet® 250, ktorý zabezpečuje hlavné funkcie nastavenia a výkonnou časťou je rotačný tanier, na ktorý sa pripevňujú kotúče s brúsnym papierom. Druhou časťou je automatická otočná hlavica AutoMet® 250 na šesť vzoriek s prítlačnými piestami. Na prípravu vzoriek je zvolené protichodné otáčanie taniera s brúsnym kotúčom a hlavice. Rýchlosti otáčania taniera a hlavice a doba opracovávania sú závislé od veľkosti zŕn brúsneho kotúča. Prítlačné piesty tlačia na vzorky silou 5 lb. Na efektívne využitie prístroja sa do hlavice vkladá maximálny možný počet vzoriek. Ako prvý je volený brúsny kotúč s veľkosťou zrna P120, ktorý na vzorke upraví najväčšie nerovnosti po pílení. Rýchlosť otáčania taniera je navolená na 300 ot./min, rýchlosť otáčania hlavice 60ot./min a doba opracovania je 1,5 min. Druhým krokom je brúsenie na brúsnom kotúči s veľkosťou zrna P400 s rovnakými otáčkami ako v predchádzajúcom kroku, ale čas brúsenia sa predĺžil na 2,5 min. V poslednom kroku brúsenia sa vzorka brúsi s brúsnym kotúčom s veľkosťou zrna P800 s rýchlosťami otáčania taniera 150 ot./min a hlavice 40ot./min. Doba brúsenia je 2,5 min. Brúsením sa zmenšili nerovnosti po pílení, ale pre ešte lepšiu povrchovú úpravu vzorky (zmenšenie tzv. Beilbyho vrstvy) je potrebné vzorku vyleštiť.

Leštenie sa vykonáva na filcovom kotúči bez oplachovania vodou za pomoci zmáčadla a emulzií. Rýchlosti otáčania pre tanier sú 150 ot./min a pre hlavicu

40 ot./min. Čas leštenia sa nastaví na 4 min. Rýchlosti otáčania sú zvolené nižšie, aby nedošlo k prehrievaniu vzoriek, nakoľko už neprebíha chladenie vodou. Na filc je následne aplikované zmáčadlo MetaDi® Fluid - Lubricant a emulzia MetaDi® Monocrystalline Diamond Suspension s veľkosťou častíc 6 μm . Po uplynutí dvoch minút leštenia je pridaná emulzia MetaDi® Monocrystalline Diamond Suspension s veľkosťou častíc 3 μm a nechá sa doleštiť. Takto vybrúsené a vyleštené vzorky sa opláchnu vodou a osušia papierovou utierkou.

Po dokonalom vyleštení povrchu vzorky nie je možné skúmať a analyzovať štruktúru a defekty zvarov. Pre zviditeľnenie štruktúry sa preto používa leptanie. Vzorky sa leptajú v 5 % kyseline dusičnej zriedenej v benzínalkohole v sklenenej miske. Počas leptania sa pozoruje postupné zobrazovanie štruktúry a vo vhodnej fáze leptania je proces ukončený. Vzorka sa opláchnu vo vode za účelom zneutralizovania a následne sa osuší papierovou utierkou.

Makroskopická analýza skúma vzťahy v štruktúre s veľkosťou častíc väčších ako 1 mm pozorovateľné voľným okom alebo vzťahy v štruktúre do 30 – násobného zväčšenia. Na hodnotenie získaných vzoriek a popis geometrických rozmerov sa používa mikroskop NIKON SMZ800 a analógovou kamerou JVC s 5 – násobným zväčšením (obr. 15). Vzorky boli merané v programe a4i Docu.



Obr. 15 Mikroskop NIKON SMZ800 s 5 – násobným zväčšením

Vhodne upravená vzorka sa vloží pod mikroskop a jej pravý obraz sa zobrazí v programe a4i Docu. Vzorka sa nastaví do náležitej polohy a pri správnom osvetlení sa pomocou kamery odfotí. Po odfotení program ponúkne možnosť, kde sa navolí veľkosť zväčšenia, podľa ktorého program vyhodnotí mierku merania. S fotkou sa ďalej pracuje v programe za pomoci vložených funkcií.

5 Výsledky práce

Metalografia je náuka o štruktúre kovov a ich zliatin. Na to, aby bolo možné sledovať štruktúru voľným okom alebo v malom zväčšení pod mikroskopom, je nutné vykonať odber vzorky a jej nutnú prípravu pre metalografickú analýzu. Tieto postupy boli popísané v predchádzajúcej kapitole a podľa metodiky sa postupovalo i pri príprave analyzovaných vzoriek zahrnutých do výskumu.

Vzorky, ktoré budú analyzované v tejto práci, pochádzajú z karosárskeho dielca montovaného do automobilov nemeckej automobilovej spoločnosti vyrábanej na Slovensku, konkrétne z tunela medzi prednými sedadlami.

Jednotlivé dielce sa skladajú z monodiellov ako sú matice, svorníky a ďalšie lisované monodiely z pásového oceľového plechu. Pri spájaní monodiellov je využívaných viacero druhov zvarovania. Pri maticiach sa používa výstupkové odporové zvarovanie na zvarolisoch, pri svorníkoch sa používa odporové zvarovanie a pri lisovaných monodielloch sa využíva oblúkové zvarovanie MAG.

Práca je zameraná práve na zvary zvarované metódou MAG, na hodnotenie ich štruktúry a geometrické rozmery zvaru. Pre analýzu je vybrané zvarové spojenie dvoch monodiellov preplátovanými zvarmi, kde jeden monodiell má hrúbku materiálu 1,5 mm a druhý 1 mm. Dĺžka zvarov dosahuje maximálne 46 mm.

5.1 Vlastné merania a analýza

Na meranie geometrických rozmerov zvaru bol použitý program a4i Docu. Nameraným jednoduchým a paralelným čiaram priradil program dĺžky automaticky podľa predošlej voľby zväčšenia pri fotení. Geometrické rozmery sú vyhodnotené podľa požiadaviek zákazníka. Zákazník určí minimálne rozmery zvarov, ktoré vyhovujú budúcim potrebám zhotovenia výrobku. Základné rozmery zvarov sú odvodené od ich funkcie na výrobku. Musia vyhovovať napr. pevnostným skúškam a zárukou kvality je minimálny závar do materiálu a iné. Minimálne požiadavky geometrických rozmerov skúmaných zvarov môžeme vidieť v tabuľke č.2 a č.3. V tabuľkách je ďalej uvedený popis zistených chýb vo zvare, na základe ktorých bol hodnotený zvar ako vyhovujúci alebo nevyhovujúci.

Tabuľka č.2: Geometrické rozmery a zistené chyby zvarov

Rozmer [mm]		OZNAČENIE VZORKY					
		zvar č. 1	zvar č. 2	zvar č. 3	zvar č. 4	zvar č. 5	zvar č. 6
t₁	PH	1,5 ±0,13	1,5 ±0,13	1,5 ±0,13	1,5 ±0,13	1,5 ±0,1	1,5 ±0,1
	NH	1,46	1,44	1,48	1,45	1,48	1,46
t₂	PH	1,0 ±0,09	1,0 ±0,09	1,0 ±0,09	1,0 ±0,09	1,0 ±0,09	1,0 ±0,09
	NH	0,91	0,93	0,92	0,91	0,95	0,95
f_{st}	PH	≥1,5 ±0,1	≥1,5 ±0,1	≥1,5 ±0,1	1,5 ±0,13	≥1,5±0,13	≥1,5±0,13
	NH	1,46	1,44	1,48	1,45	1,48	1,46
f₂	PH	≥0,2	≥0,2	≥0,2	≥0,2	≥0,2	≥0,2
	NH	0,47	0,75	0,56	0,55	0,95	0,95
S₁	PH	≥0,7	≥0,7	≥0,7	≥0,7	≥0,7	≥0,7
	NH	2,12	1,93	2,26	2,04	1,52	1,96
S₂	PH	≥0,7	≥0,7	≥0,7	≥0,7	≥0,7	≥0,7
	NH	1,90	1,55	2,00	1,54	1,83	1,96
S_N	PH	≥0,7	≥0,7	≥0,7	≥0,7	≥0,7	≥0,7
	NH	2,30	1,99	2,37	1,96	1,64	2,10
b₂	PH	≥1,0	≥1,0	≥1,0	≥1,0	≥1,0	≥1,0
	NH	2,11	2,24	2,29	1,93	4,19	4,47
a	PH	≥1,2	≥1,2	≥1,2	≥1,2	≥1,2	≥1,2
	NH	1,82	1,40	1,65	1,43	1,28	1,45
h	NH	0,74	0,09	0,48	0,12	0,38	0,45
Zistené chyby vo zvare		5071 508	5071	505	5071	5071 5041	5071
Hodnotenie		V	V	N	V	V	V

Zdroj: Vlastné meranie, 2011

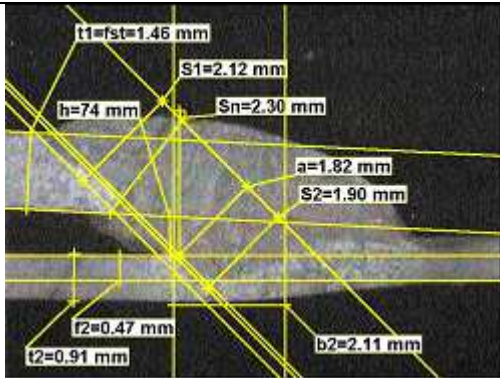
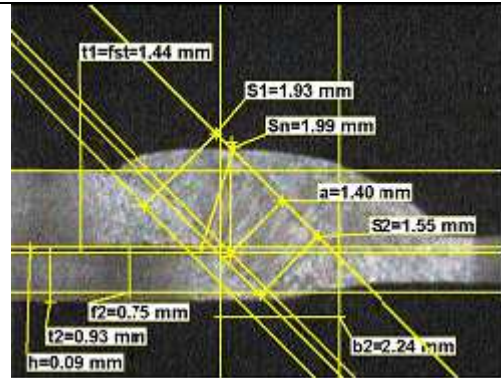
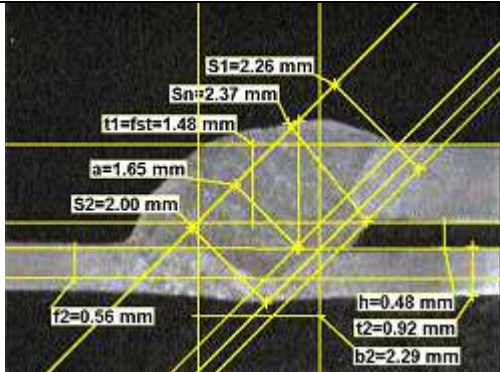
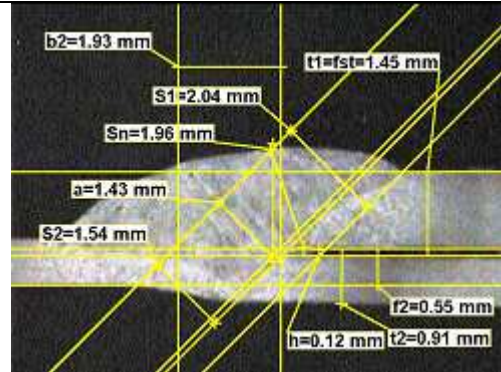
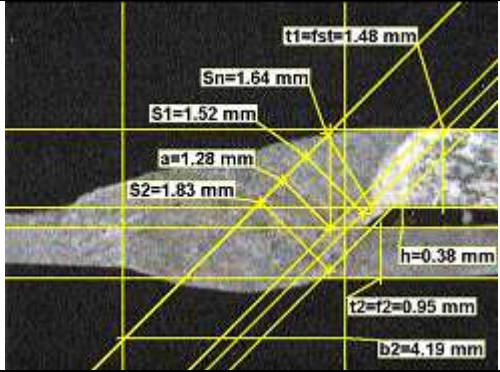
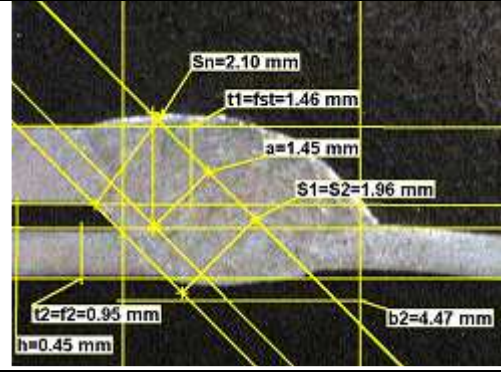
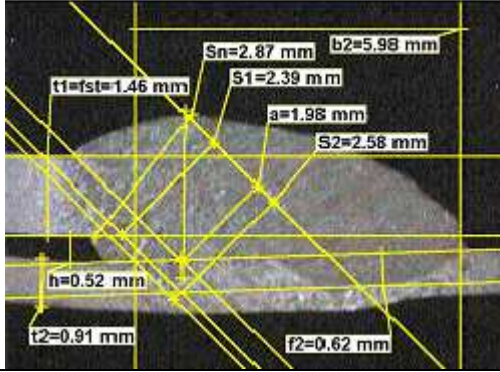
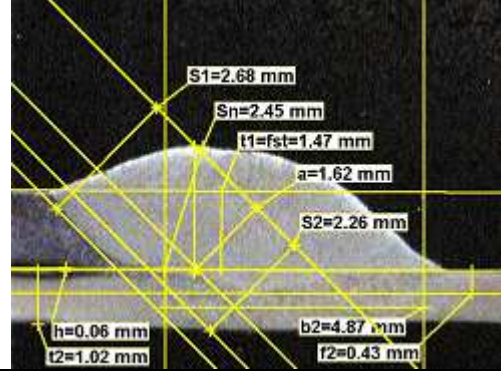
Legenda: **t₁** - **t₂** - hrúbka materiálu, **f_{st}** - prevarenie čelnej plochy **t₁**, **f₂** - hĺbka prevarenia materiálu **t₂**, **S₁** - maximálna veľkosť zvaru na **t₁**, **S₂** - maximálna veľkosť zvaru na **t₂**, **S_N** - najkratšia vzdialenosť medzi hranou materiálu a povrchom zvaru, **b₂** - šírka závaru, **a** - veľkosť zvaru, **h** - rozmer medzery, **PH** - predpísaný hodnota, **NH** - nameraný hodnota, **V** - vyhovuje, **N** - nevyhovuje

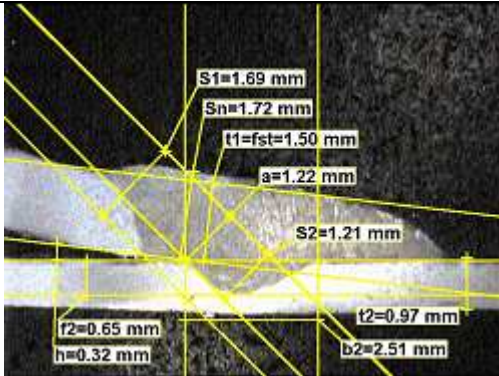
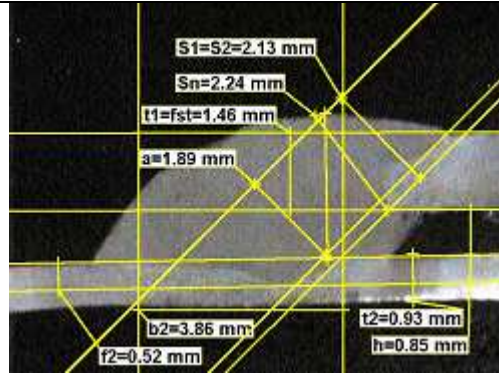
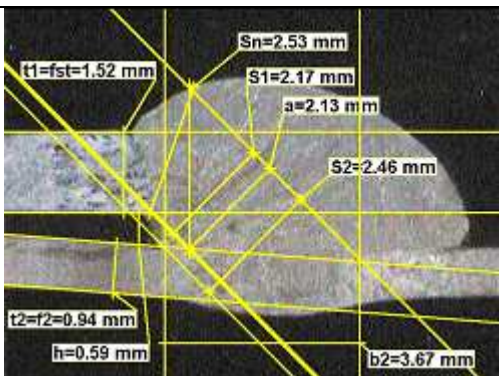
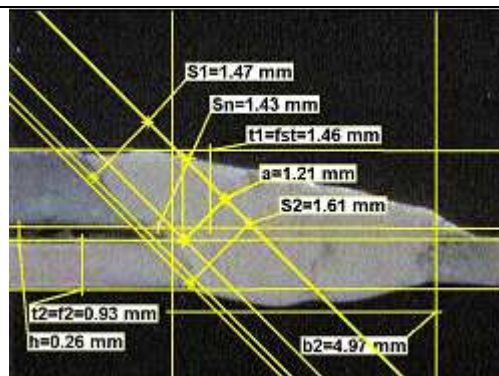
Tabuľka č.3: Geometrické rozmery a zistené chyby zvarov

Rozmer [mm]		OZNAČENIE VZORKY					
		zvar č. 7	zvar č. 8	zvar č. 9	zvar č. 10	zvar č. 11	zvar č. 12
t₁	PH	1,5 ±0,13	1,5 ±0,13	1,5 ±0,13	1,5 ±0,13	1,5 ±0,1	1,5 ±0,1
	NH	1,46	1,47	1,50	1,46	1,52	1,47
t₂	PH	1,0 ±0,09	1,0 ±0,09	1,0 ±0,09	1,0 ±0,09	1,0 ±0,09	1,0 ±0,09
	NH	0,91	1,02	0,97	0,93	0,94	0,93
f_{st}	PH	≥1,5 ±0,1	≥1,5 ±0,1	≥1,5 ±0,1	1,5 ±0,13	≥1,5±0,13	≥1,5±0,13
	NH	1,46	1,47	1,50	1,46	1,52	1,47
f₂	PH	≥0,2	≥0,2	≥0,2	≥0,2	≥0,2	≥0,2
	NH	0,62	0,43	0,65	0,52	0,94	0,93
S₁	PH	≥0,7	≥0,7	≥0,7	≥0,7	≥0,7	≥0,7
	NH	2,39	2,68	1,69	2,13	2,17	1,47
S₂	PH	≥0,7	≥0,7	≥0,7	≥0,7	≥0,7	≥0,7
	NH	2,58	2,26	1,21	2,13	2,46	1,61
S_N	PH	≥0,7	≥0,7	≥0,7	≥0,7	≥0,7	≥0,7
	NH	2,87	2,45	1,72	2,24	2,53	1,43
b₂	PH	≥1,0	≥1,0	≥1,0	≥1,0	≥1,0	≥1,0
	NH	5,98	4,87	2,51	3,86	3,67	4,97
a	PH	≥1,2	≥1,2	≥1,2	≥1,2	≥1,2	≥1,2
	NH	1,98	1,62	1,22	1,89	2,13	1,21
h	NH	0,52	0,06	0,32	0,85	0,59	0,26
Zistené chyby vo zvare		5071 508	-	508	-	5071 5041 508 505	5041 5012 505
Hodnotenie		V	V	V	V	N	N

Zdroj: Vlastné meranie, 2011

Legenda: **t₁** - **t₂** - hrúbka materiálu, **f_{st}** - prevarenie čelnej plochy **t₁**, **f₂** - hĺbka prevarenia materiálu **t₂**, **S₁** - maximálna veľkosť zvaru na **t₁**, **S₂** - maximálna veľkosť zvaru na **t₂**, **S_N** - najkratšia vzdialenosť medzi hranou materiálu a povrchom zvaru, **b₂** - šírka závaru, **a** - veľkosť zvaru, **h** - rozmer medzery, **PH** - predpísaný hodnota, **NH** - nameraný hodnota, **V** - vyhovuje, **N** - nevyhovuje

Zvar č.1 	Zvar č.2 
Zvar č.3 	Zvar č.4 
Zvar č.5 	Zvar č.6 
Zvar č.7 	Zvar č.8 

Zvar č.9 	Zvar č.10 
Zvar č.11 	Zvar č.12 

Zdroj: Vlastné meranie, 2011

Poruchou možno nazvať stav výrobku, kedy stratil schopnosť plniť požadovanú funkciu podľa technických parametrov (Hrubec, 2009).

Na zisťovanie porúch sa používajú skúšky a analýzy, ktoré skúmajú zhodu alebo odchýlku od požadovaného stavu výrobku. Analýze boli podrobené vzorky zvarov odobraté z dielca. Sú súčasťou výrobku a preto je nutné, aby spĺňali prvky spoľahlivosti. Analyzované vzorky a ich charakteristiky boli vyhodnotené podľa normy STN EN ISO 5817 (2006), ktorá hodnotí zvarové spoje a stupne kvality. Číselné označenie chýb je citované z STN EN ISO 6520-1 (2007), ktorá vo všeobecnosti popisuje zatriedenie chýb zvarových spojov kovových materiálov.

Najčastejšie vyskytujúca sa chyba zvarov vyhodnotených podľa STN EN ISO 5817 (2006) bola lineárne presadenie medzi plechmi (5071), ktorú možno pozorovať na zvare č. 1, č. 2, č. 4, č. 5, č. 6, č. 7 a č. 11. Chyba bola zapríčinená vysokým prehriatím a rýchlym chladnutím materiálu pri zváraní. Mohla byť spôsobená i slabým uchytením zváraných plechov. Popri tejto chybe sa v štyroch prípadoch vyskytla i chyba uhlové presadenie (508), ktorá je viditeľná na zvare č. 1, č. 7, č. 9 a č. 11, nakoľko je nutné, aby povrchové roviny oboch zváraných plechov boli paralelné. Uhlové

presadenie bolo zistené aj na zvare č. 9. Možné opatrenie na odstránenie oboch chýb je zvýšenie zvaracej rýchlosti, aby nedochádzalo k prehrievaniu v oblasti základného materiálu. Zlepšenie by mohlo priniesť i silnejšie upnutie materiálu do prípravku na zváranie. V troch prípadoch, t.j. v zvare č. 5, č. 11 a č. 12 sa vyskytla chyba pretečený koreň (504), konkrétne kvapeľ, miestne pretečenie koreňa (5041). Chyba je spôsobená nesprávnou technikou zvárania a jej možné odstránenie môžeme dosiahnuť pomocou zníženia prúdu pri zváraní, ďalej zvýšením rýchlosti zvárania, aby nedochádzalo k priepalom. Ako opatrenie môže byť spomenuté i zväčšenie zvaracieho oblúka.

Popisované chyby znižujú kvalitu výrobku, ale podľa STN EN ISO 5817 (2006) pre skupinu hodnotenia B sú ešte prípustné. Neprípustné zistené chyby boli na zvare č. 3, č. 11 a č. 12, nadmerná strmosť zvaru medzi rovinou základného materiálu a tangenciálnou rovinou povrchu zvaru v jeho úpäti (505), prerušovaný zápal (5012), kde zaraďujeme akékoľvek krátke prerušované zápaly pozdĺž zvaru. Tieto chyby sú neprípustné a je nutné ich bezodkladne opraviť. Medzi opatrenia na odstránenie chyby 505 možno spomenúť správnu polohu zvarencov a horáku. Jedná sa hlavne o správnu polohu zvárania a dĺžku oblúku. Podobné opatrenie možno použiť aj pri chybe 5012, ktorá vzniká nesprávnou dĺžkou oblúku a uhla vedenia elektródy. Pri tejto chybe je nutné aj správne nastavenie intenzity zvaracieho prúdu a vhodný priemer elektródy.

Zvary č. 8 a č. 10 boli podľa normy STN EN ISO 5817 (2006) plne vyhovujúce.

Všetky zvary však vyhovovali požiadavkám geometrických rozmerov, ktoré boli namerané a zapísané v tabuľke č. 2 a 3.

Všetky chyby zistené v analyzovaných zvaroch boli výrobné chyby, ktoré možno ešte v procese výroby odstrániť a tým znížiť náklady na reklamácie. Po vyhodnotení sa dospelo k záveru, že softwarové nastavenie zvaracieho robota nie je vyhovujúce takmer pre všetky zvary. Pri jednotlivých zvaroch na dielci je nutné upraviť polohy zvárania, zvarový prúd a dĺžku oblúka. Veľkosť elektródy nie je možné počas procesu meniť, ale je potrebné prehodnotiť možnú alternatívu prídavného materiálu vyhovujúcu pre daný typ technológie zvárania a konštrukčné prevedenie zvaracieho robota.

Výsledky práce môžu byť použité pri riešení korekcie zistených chýb zvarov. Využiteľné sú najmä pre zvaracích technológov a zoraďovačov zvaracích automatov. Podľa zistených výsledkov a presného označenia zvarov možno prestaviť softwarové nastavenia pre jednotlivé zvary. Metodika a postup vyhodnocovania výskumu by mohli

byť využiteľné aj pre metalografické pracoviská pracujúce so zvarmi zváranými technológiou MAG. Výsledky práce pri správnej interpretácii by mali dopomôcť najmä k zlepšeniu kvality a odstráneniu chýb pri zvarových spojoch na skúmanom dielci.

6 Záver

Vývoj technológií nasleduje neustále dopredu. Vyvíjajú sa stále zložitejšie technológie, veci a nástroje. Ale nič nie je dokonalé natoľko, aby sa nemuselo kontrolovať. Človek musí vstúpiť do procesu a čas od času nastaviť alebo prestaviť určité parametre. Kontrola vedie často k zlepšeniu kvality, ale je aj katalyzátorom pre nový vývoj založený na zlepšovaní starých technológií, výrobkov. Kvalita je vlastnosť výrobkov, ktorá posúva výrobcov dopredu.

Je dôležité dokonale poznať výrobnú technológiu, parametre, možnosti alternatív, kontrolu a neustále zlepšovanie. Tomuto tvrdeniu sa podriadila i práca, v ktorej pozornosť bola upriamená vybranej technológii zvarovania. V práci sa popísali základné pojmy, ktoré je nutné poznať pri čítaní textu. Charakterizovali sa dve hlavné skupiny zvarovania, a to tavné a tlakové. Tieto skupiny boli ďalej rozšírené o jednotlivé spôsoby zvarovania. Pre prácu bolo dôležité užšie popísať oblúkové zvarovanie v ochrannej atmosfére. Spomenula sa všeobecná technika tohto spôsobu zvarovania, druhy prídavných materiálov, nakoľko sa jedná o tavné zvarovanie a ochranné plyny používané pri danom zvarovaní ako ochranná atmosféra.

Zvarovanie je dej, pri ktorom je vytvárané veľké teplo a za pomoci tavrnej elektródy sa spájajú materiály. Teplo a prídavný materiál spôsobia zmeny vizuálne, chemické a fyzikálne v oblasti zvaru. Týmito zmenami sa zaoberá vedný odbor metalografia. Existuje viacero spôsobov ako zmeny skúmať. V práci bola zvolená makroskopická analýza. Pri makroskopickej analýze je najskôr nutné získať vzorku. Podrobná príprava vzoriek bola popísaná v druhej časti práce. Charakterizovali sa jednotlivé fázy prípravy, čas trvania prípravy a konkrétne postupy ako sa so vzorkami v jednotlivých fázach pracuje. Neoddeliteľnou súčasťou všetkých zvarov sú chyby vznikajúce pri zvarových spojoch, ktoré boli v práci taktiež popísané. Defekty sú najpresnejšie popísané v technických normách, ktoré slúžia ako poradné dokumenty. I v práci boli použité vybrané normy spojené so zvarmi.

Po teoretickom zvládnutí technológie zvarovania, príprave vzoriek a analýze chýb sa pristúpilo k vlastnému výskumu. K dispozícii bolo 12 vzoriek získaných z karosárskeho dielca. Vzorky boli pozorne pripravené na pozorovanie podľa metodiky a za pomoci technického vybavenia. Najprv sa zisťovali defekty viditeľné voľným okom a pod mikroskopom pri 5-násobnom zväčšení. Na zvaroch sa nevyskytli žiadne povrchové poruchy ako napr. diery, vtrúseniny a iné. Druhým krokom bolo meranie

geometrických rozmerov zvarov. Ich vyhodnotenie bolo závislé od požiadaviek zákazníka – odberateľa dielcov. Analyzované vzorky vyhovovali všetkým požiadavkám kladeným na geometrické rozmery.

Na záver výskumu sa postupovalo podľa technickej normy STN ISO EN 5817 (2006), ktorá hodnotí zvarové spoje a stupne kvality. Dielec bol zaradený do skupiny B. Podľa tejto normy sa na siedmich zvaroch, z celkového počtu dvanásť, zistili chyby: lineárne presadenie medzi plechmi, uhlové presadenie a pretečený koreň, ale charakter a vlastnosti týchto zvarov boli podľa normy vyhovujúce. Na troch zvaroch však boli zistené závažné chyby: nadmerná strmosť a prerušovaný zápal, a tieto zvary boli na základe normy posúdené ako nevyhovujúce. Bezchybnosť zvarov z celkového počtu skúmaných zvarov bola preukázaná na dvoch vzorkách. Podľa zistených charakteristík zvarov možno povedať, že proces výroby zvarov na dielci nie je pod kontrolou. Sú nutné procesné a výrobné nápravy. V práci boli uvedené aj podrobné popisy možných spôsobov odstránenia chýb už v procese výroby. Dôraz bol kladený na kvalitu a reálnosť možných nápravných opatrení.

Prostredníctvom prehodnotenia a zmeny nastavení zvaracieho automatu je možné prispieť k zlepšeniu kvality výrobku a racionalizácii výroby. Zvýšenie kvality prispieva k trvalému zlepšovaniu, ktorý určite sleduje i cieľ organizácie. Je dôležité progresívne zlepšovanie, nakoľko prináša organizácii konkurenčnú výhodu a lepšie postavenie na vysokorozvinutom trhu.

7 Zoznam použitej literatúry

HRUBEC, J. a kol. 2009. *Integrovaný manažérsky systém*. 1. vyd. Nitra : SPU, 2009. 543 s. ISBN 978-80-552-0231-0.

IŽDINSKÝ, K. 2008. Svetelná mikroskopia – metalografia – základy obrazovej analýzy. In *Progresívne metódy štúdia mikroštruktúry materiálov* [online]. Bratislava : Ústav materiálov a mechaniky strojov SAV, 2008. [cit. 2011-03-10]. Dostupné na internete: <www.matdesign.sav.sk/data/long_files/izdinsky.pdf>.

KONEČNÁ, R. 2010. *Praktická metalografia* [online]. Žilina : Žilinská univerzita; Strojnícka fakulta, 2010 [cit. 2011-03-10]. 85 s. Dostupné na internete: <http://kmi2.uniza.sk/wp-content/uploads/2010/10/Prakticka_Metalografia.pdf>.

Kontrola štruktúry [s.a.] [online] [cit. 2011-01-21]. Dostupné na internete: <<http://kmi2.uniza.sk/wp-content/uploads/2010/12/prednasky-kvalita4.pdf>>.

KUBÍČEK, J. *Technologie II. Část svařování*. 2006. [online]. Brno : Vysoké učení technické, 2006 [cit. 2011-01-21]. Dostupné na internete: <<http://www.uloz.to/7778299/technologie-2-svarovani-tavne-doc>>.

LEŽDÍK, V. a i. 2006. *Tvorba postupov zvarovania kovových materiálov*. 1. vyd. Žilina : Inštitút kvality a vzdelávania, 2006. 77 s. ISBN 80-96959-90-5.

MALINA, Z. – PAPAJČÍK, O. 2002. *Základný kurz zvarovania MIG/MAG*. 2. vyd. Ostrava : ZEROSS, 2002. 113 s. ISBN 80-85771-99-3.

Metalografia [s.a.] [online] [cit. 2011-01-21]. Dostupné na internete: <www.mtfedca.szm.sk/subory/priprava-vzoriek-1.pdf>.

Metalografické hodnotenie kovov a zliatin [s.a.] [online] [cit. 2011-02-17]. Dostupné na internete: <<http://kmi2.uniza.sk/wp-content/uploads/2010/12/prednasky-kvalita5.pdf>>.

MIČIAN, M. 2006. *Oblúkové zvarovanie v ochranných atmosférach*. [online] [cit. 2011-02-21]. Dostupné na internete: <<http://fstroj.utc.sk/kti/studium/pdf/04.pdf>>.

Ocele na zvarované konštrukcie [s.a.] [online] [cit. 2011-02-17]. Dostupné na internete: <<http://kmi2.uniza.sk/wp-content/uploads/2010/12/kvalita7-hodnotenie-zvarov-podklad-1.pdf>>.

OERLIKON [s.a.] Zvarovanie MIG/MAG. In *Hlavný katalóg zariadení* [online] [cit. 2011-02-04]. Dostupné na internete: <www.oerlikon.sk/distributors/files/MIG.pdf>.

Priemyselné technológie a výrobné zariadenia. Časť – Zváranie. [s.a.] [online] [cit. 2011-01-21]. Dostupné na internete:

<http://www.mtfdca.szm.com/subory/zvaranie_1.gif>.

STN 05 0000: 1996, *Zváranie. Zváranie kovov. Základné pojmy.*

STN EN ISO 3834 – 2: 2006, *Požiadavky na kvalitu pri tavnom zváraní kovových materiálov. Časť 2: Úplné požiadavky na kvalitu.*

STN EN ISO 5817: 2006, *Zváranie. Zvarové spoje ocelí, niklu, titánu a ich zliatin zhotovené tavným zváraním (okrem lúčového zvárania). Stupne kvality.*

STN EN ISO 6520 – 1: 2007, *Zváranie a príbuzné procesy. Zatriedenie chýb zvarových spojov kovových materiálov. Časť 1: Tavné zváranie.*

STN EN ISO 9692 – 1: 2003, *Zváranie a príbuzné procesy. Odporúčania na prípravu spojov. Časť 1: Ručné oblúčkové zváranie, zváranie v ochrannej atmosfére, zváranie plynom, zváranie TIG a zváranie ocelí lúčom.*

STROJÁRSKA TECHNOLOGIA. 2009. *Zváranie v ochranných atmosférach plynov.* [online] [cit. 2011-02-06]. Dostupné na internete: <<http://www.strojarskatechnologia.info/9-zvaranie-v-ochrannych-atmosferach-plynov/>>.

Technológie zvarovania, spájkovania a lepenia [s.a.] [online] [cit. 2011-01-21]. Dostupné na internete: <<http://www.strojarstvo.depi.sk/predmety/maturity/stt/03-technologie-zvarovania-spajkovania-a-lepenia.doc>>.

Zváranie [s.a.] [online] [cit. 2011-01-21]. Dostupné na internete: <www.mtfdca.szm.sk/subory/zvaranie2.pdf>.