

ŠKODA AUTO VYSOKÁ ŠKOLA, O.P.S.

Studijní program: B6208 Ekonomika a management

Studijní obor: 6208R088 Podniková ekonomika a management provozu

Měření kvality penetrace svaru v automobilovém průmyslu

Marek Heinrich

Vedoucí práce: Ing. et Ing. Martin Folta, Ph.D., EUR ING

Tento list vyjměte a nahradte zadáním bakalářské práce

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci vypracoval(a) samostatně s použitím uvedené literatury pod odborným vedením vedoucího práce.

Prohlašuji, že citace použitých pramenů je úplná a v práci jsem neporušil(a) autorská práva (ve smyslu zákona č. 121/2000 Sb., o právu autorském a o právech souvisejících s právem autorským).

V Mladé Boleslavi dne 7. prosince 2018

Poděkování

V následujících řádcích bych rád poděloval vedoucímu bakalářské práce panu Ing. et Ing. Martinu Foltovi, Ph.D., EUR ING za příkladné vedení, za mimořádnou ochotu a trpělivost při konzultacích a za jeho cenné připomínky, které napomohly k zhotovení této práce.

Zvláštní poděkování patří i mé rodině za nepřetržitou podporu během celého studia.

Obsah

Úvod	8
1 Metalurgická laboratoř	9
1.1 Charakteristika činností metalografické laboratoře	9
1.2 Makroskopie	9
1.3 Zkouška tvrdosti	11
1.4 Zkoušky tahem	15
1.5 Zkouška drsnosti	17
1.6 Spektrometrie	19
2 Svařování metodou MAG.....	21
2.1 Historie obloukového svařování.....	21
2.2 Technologie svařování MIG/MAG.....	22
2.3 Rozdělení technologií svařování.....	23
2.4 Metoda MAG	24
2.5 Vznik elektrického oblouku	25
2.6 Výhody a nevýhody metody.....	26
2.7 Rozdíl mezi metodami MIG a MAG	27
2.8 Svařovací zařízení.....	28
3 Analýza procesu přípravy vzorků a vyhodnocování penetrace svaru	31
3.1 Management kvality ve společnosti Benteler	31
3.2 Laboratoř ve společnosti Benteler	32
3.3 Destrukční zkoušky.....	33
3.4 Laboratoř kvality	34
3.5 Shrnutí	41
4 Návrh alternativních způsobů přípravy vzorů na makroskopickou analýzu....	43
4.1 Brusné pásy.....	43
4.2 Hromadné leptání vzorků.....	44
4.3 Focení snímků svarových spojů	45
5 Porovnání a vyhodnocení efektivnosti původních a alternativních metod přípravy vzorků.....	46
Závěr	49

Seznam literatury	51
Seznam obrázků a tabulek	52
Seznam příloh	54

Seznam použitých zkratek a symbolů

Zkouška Al-Si – zkouška mechanických vlastností a struktury slitiny hliníku

KTL – kataforézní lakování (německy: Kathodische Tauchlackierung)

ČSN – československé normy

FAAS – Laboratoř plamenové atomové absorpční spektrometrie

MAG/MIG – Metal active gas, metal inert gas

OK/NOK – kvalitativní znázornění vzorků, zda souhlasí/nesouhlasí s normami

A – jednotka el. proudu ampér

V – jednotka el. napětí volt

mm – milimetr

SAD – Sběr a Analýza dat

QRK – regulační karta (německy: Qualitätsregelkarte)

ISO – mezinárodní organizace pro normalizaci

G60 – zrnitost 60 zrn na centimetr čtvereční

G180 – zrnitost 180 zrn na centimetr čtvereční

cm² – centimetr čtvereční

3D – trojrozměrné

Úvod

„Zlepšete kvalitu a automaticky zvýšíte produktivitu. Budete na trhu úspěšní nižší cenou a vyšší kvalitou. Budete obchodně úspěšní a vytvoříte pracovní příležitosti.“ Už v polovině 20. století věděl legendární W. Edwards Deming, jaký směrem se bude udávat moderní řízení kvality v sériové výrobě. Pro zajištění kvality v dnešní době slouží mnoho nástrojů a v odvětví metalurgického průmyslu je vitálním nástrojem kvality metalografická laboratoř.

Celá bakalářská práce na téma Měření kvality penetrace svaru v automobilovém průmyslu, včetně návrhů ke zlepšení jednotlivých kroků a závěrečné porovnání efektivnosti původního a alternativního způsobu měření, je rozdělená do pěti kapitol. Teoretická část je rozdělena na dvě kapitoly, jejichž obsah je teoretický základ bakalářské práce. První kapitola vysvětluje význam laboratoře v automobilovém průmyslu, jaké odpovědnosti má laboratoř a pro které zkoušky se využívá. V další kapitole autor rozebírá svařování jako takové. Informuje obecnými informacemi o svařování, detailněji popisuje metodu svařování MAG, rozdíl mezi metodami svařování MIG a MAG a za jakých podmínek se dá svařovat těmito metodami, které jsou bezpochyby nejvyužívanějšími metodami v sériové výrobě.

Praktická část začíná analýzou procesu měření kvality penetrace svaru, pro kterou sloužila laboratoř kvality ve společnosti Benteler s.r.o. v Rumburku. Tato analýza podrobně popisuje momentální stav procesu přípravy a vyhodnocování kvality penetrace svarových vzorků. V kapitole je detailně popsán každý jednotlivý krok v procesu od úplného začátku, kdy oddělení destrukčních zkoušek obdrží produkt do okamžiku archivace výsledků zkoumání. V další kapitole jsou navrženy alternativní kroky pro zvýšení efektivnosti, které autor sám v praxi vyzkoušel a mají ověřený účinek funkčnosti. V poslední řadě závěrečná kapitola reflektuje celou práci a porovnává původní a alternativní způsob přípravy a vyhodnocování penetraci svarových vzorků.

Cílem této bakalářské práce je přiblížit činnosti laboratoře v automobilovém průmyslu, funkci svarových spojů a hlavně makrografické měření svarových spojů a pokusit se o navržení alternativních způsobů, které by v praxi vedly ke zvýšení efektivnosti práce v laboratoři.

1 Metalurgická laboratoř

Obecná definice laboratoře je vcelku jednoduchá. Laboratoř je specializované pracoviště využívané pro vědecký výzkum, odborné pokusy, expertní rozbor, technický vývoj a zkušební testy, zejména v technických a přírodovědných laboratořích. Laboratoř se dá dále rozdělit podle předmětu zkoumání. Nejčastěji najdeme laboratoř v chemickém průmyslu, dále ve zdravotnictví, zemědělství, fyzikální a v neposlední řadě technické laboratoře, kam patří i námi zkoumaná metalurgická laboratoř, kolem které se budeme v následujícím textu neustále pohybovat.

1.1 Charakteristika činností metalografické laboratoře

Jak bylo již zmíněno, laboratoř je vitální součástí kontroly kvality v závodech automobilového průmyslu. V oddělení laboratoře kvality se provádí mimo metalografické měření svarů další testy. Zkoušky prováděné v laboratoři kvality bych rozdělil do dvou skupin. Jako zkoušky destruktivní a nedestruktivní. Většina zkoušek laboratoři kvality jsou však destruktivní. Mezi destruktivní zkoušky prováděné v závodech jsou měření tvrdosti, drsnosti, tahové a tlakové zkoušky nebo zkouška Al-Si. Bavíme-li se o zkoušce destruktivní, mluvíme o měření kvality na vzorku, který se po absolvování dané zkoušky nedá dále využít a je následně zpravidla sešrotován. Vedle tohoto velkého souboru druhů zkoušek destruktivních máme také zkoušky nedestruktivní jako například spektrometrie, tramptest nebo měření tloušťky laku. (Interní zdroje)

1.2 Makroskopie

Jednou z nejdůležitějších zkoušek v metalografické laboratoři a v závodech, které se zaměřují na svařování, je makroskopická zkouška. Na základě této zkoušky zkoumáme s určitou přesností kvalitu materiálu a kvalitu technologického postupu zpracování.

Makroskopická zkouška nevyžaduje nějak neobvyklé vybavení. Vzorky se posuzují pouhým okem nebo lupou, kdy se zvětšení pohybuje do nanejvýš dvacetinásobného zvětšení. Celý proces makroskopické zkoušky není obzvlášť náročná. Dokonalá rovinnost není nutností, nejdůležitější je zachování chemického složení vzorku a

neovlivnit strukturu vzorku tepelně nebo plastickou deformací. Hlavní pozornost připadá na část odmaštění a vysušení vzorku, aby pod mikroskopem byla viditelná tepelně ovlivněná zóna od původního materiálu. Makroskopické vzorky můžeme posoudit pouze vybroušené, ale zpravidla je lepší použít leptadlo pro zviditelnění tepelně ovlivněné zóny. (Interní zdroje)

Postup pro přípravu metalografického vzorku je následující:

- 1. Odebrání a následné označení vzorku** – korektně odebraný vzorek materiálu z produktu je účelově vybraný pro své charakteristické vlastnosti. Vzorek je zpravidla odebírán na místě, které je označené jako kritické a s větší pravděpodobností výskytu nesrovnalostí nebo chyb (trhliny, slévárenské chyby, vady svarů apod.) Při odebírání vzorků je nutné dbát na to, aby nebylo zkoumané místo tepelně ovlivněné (plazmařezem) nebo příliš tvářené (obráběním tupým nástrojem nebo stříháním). Po odebrání je nutné vzorky trvale označit, aby v následném postupu se vzorky nezaměnily a nedošlo k nedopatřením.
- 2. Broušení** – už předem hrubě upravený povrch na makroskopickém výbrusu se začne postupně brousit řadou brusnými metalografickými papíry s odstupňovanou zrnitostí. Začíná se s brusným papírem se zrnitostí 90, postupuje se s papírem zrnitostí 180 a postupuje se už s leštěním s brusným papírem se zrnitostí 320, popřípadě 400. Brusný papír se přilepuje na skleněnou nebo ocelovou desku, která je připevněná na kotouči. Broušení se může uskutečnit za sucha nebo při pravidelném přívodu vody za účelem odstraňování nečistot vytvořené broušením, popřípadě leštěním. V případě upravování plochy makroskopického vzorku za sucha musí pracovník dbát na zachování metalurgické struktury vzorku v místě zkoumání a nepoškodit toto místo tepelnou úpravou nebo plastickou deformací.
- 3. Leptání** – po kroku broušení, kdy vidíme už v nějaké podobě tepelně upravenou zónu, následuje práce vzorky s leptáním vzorků. Vzorek můžeme do leptadla ponořit, nebo leptadlo nanést lokálně na cílovou plochu na vzorku. Doba leptání vzorku se určí experimentálně a závisí na metalurgických vlastnostech materiálu vzorku a na roztoku, s kterým se snažíme odleptat plochu, aby šla vidět tepelně upravená plocha co nejlépe. Po leptání musí být vzorek opláchnut destilovanou vodou a osušen.

4. Focení a vyhodnocování – pokud je makroskopický vzorek ve vhodném stavu, následuje focení vzorku s následujícím vyhodnocením. Vyhodnocování vzorku je odlišné dle použití softwaru, s kterým pracujeme. Standardně se využívá k software Atlas k vyhodnocování, v kterém se vzorek vyfotí makroskopickou lupou a následně i vyhodnotí. (Interní zdroje)

1.3 Zkouška tvrdosti

Tento druh zkoušky je v rumburském závodě jednou z nejčastěji používaných. Tento druh zkoušky se využívá na různých projektech. Rumburský závod Benteler disponuje dvěma přístroji, na kterých mohou pracovníci destrukce vykonat tuto zkoušku.

Tvrdot můžeme definovat jako určitou odolnost povrchových oblastí vůči lokálnímu porušení cizím tělesem. Byť se může zdát, že se jedná o fyzikální vlastnost povrchu, není to tak. Tvrdot je celá řada vlastností hmoty, zejména vlastností povrchu materiálu. (Jareš V., 1966, str. 113)

Tento druh destruktivní zkoušky se dělí dle způsobu porušení povrchu zkoušeného vzorku:

1) Statické – Indentor¹ je vtlačován klidnou silou kolmo ke zkušebnímu povrchu. Tyto zkoušky jsou nejčastěji používané pro svou jednoduchost, přesnost a dobrou reprodukovatelnost. Statické zkoušky tvrdosti jsou často označovány jako „zkoušky vnikající“.

2) Dynamické – Indentor rázem a kolmým směrem proniká do zkoumaného povrchu – tzv. „rázová zkouška“.

3) Porušení zkoušeného kovu je způsobeno pohybem ostrého nástroje rovnoběžně k materiálu, aby vytvořil vryp. Tento druh zkoušky se používá u křehkých materiálů, zejména minerálů. (Pluhař J. et. All., 1989, str. 117)

¹ Geometrický definované těleso.

1.3.1 Zkoušky vnikací

Zkouška vnikací měří odolnost materiálu proti vniknutí cizího tělesa, která je dána velikostí sil vazeb atomů kovu. Bavíme-li se o vazbě kovové, která umožní plastickou deformaci, vznikají deformace o to snáz, čím jsou vazební síly vyrovnanější. Parametry ovlivňující tento jev jsou:

- a) Tvar krystalických elementů
- b) Jemnost krystalizace – čím jemnější strukturu materiál má, o to větší úsilí musí indentor vydat pro proniknutí. Důvodem je větší množství krystalografických rozhraní v jemnozrnné struktuře. Krystalografické rozhraní odolává vniknutí cizím tělesům. Tím pádem je jemnozrnná struktura odolnější a má větší tvrdost.
- c) Teplota - parametr ovlivňující roztahování, čímž se vazby stanou méně pevnými a kov je tím pádem měkčí. Bavíme-li se o teplotě s ohledem na kovy, musíme uvažovat s bodem tání daného kovu.
- d) Cizí příměsi – jakákoli příměs snižuje plasticitu kovu, čím zvětšuje tvrdost kovu.
- e) Vnitřní pnutí – tepelné pnutí, tváření za studena nebo pnutí způsobena nestabilními fázemi způsobují tvrdost.

Technika měření tvrdosti kovových materiálů počítá své počátky už od konce devatenáctého století, kdy Němec Kirsch navrhl zatlačení válcového indentoru do materiálu kovu zvětšující se silou do momentu, kdy se na materiálu objeví trvalý vtisk. Postupem času se neustále objevovaly nové metody, některé však byly do určité míry nepřesné a zdlouhavé, a proto upadly do zapomnění, jiné na druhou stranu se používají dodnes. Praxe si vyžádala různé druhy zkoušek, které se jenom malou mírou lišily od sebe. Nejčastější odlišnosti jsou rozdílné tvary a druhy materiálu indentoru, velikosti zatížení nebo způsob vyhodnocování. (Janovec J., 1995, str. 69)

První známou metodou používanou dodnes je metoda švédského metalurga Brinella, která byla představena na mezinárodním kongrese pro zkoušení materiálů v roce 1900 v Paříži. Tato metoda je ve všech průmyslových státech normována včetně České republiky (ČSN 42 0371). Základem této zkoušky je zatlačení ocelové kalené kuličky o průměru D do vyleštěné plochy konstantním zatížením. Další rozšířená metoda je Ludwikova zkouška. Touto zkouškou měla být odstraněna velká nevýhoda Brinellovy zkoušky závislosti tvrdosti na velikosti zatížení. Tento nedostatek měl být odstraněn výměnou kuličky za kužel. Tento indenter má poměr tangenciálního a normálního napětí při všech zatíženích stejný, čímž je hodnota tvrdosti na zatížení nezávislá. Ludwikova metoda využívá indenter tvaru kužele z kalené ocele a s vrcholovým úhlem $120, 90$ a 60° se zaobleným vrcholem. Jak čas plynul, přišla i nová metoda. Tato metoda pojmenovaná podle svého tvůrce Rockwella měla snížit tření indentoru při vnikání do materiálu. Americký metalurg Rockwell použil diamantový kužel s vrcholovým úhlem 120° . Zkouška byla vytvořena pro sériovou kontrolu tepelně zpracovaných, ušlechtlých nebo kalených ocelí. (Macek K., 2003, str. 72)



Obr. 1: Zařízení tvrdoměr

Souběžně s vytvořením Rockwellovy metody v Anglii vymysleli jinou metodu inženýři Smith a Sandland. Metoda byla pojmenována podle firmy vyrábějící tvrdoměry Vickers (viz obr. č. 1). V Americe je tato metoda označována „diamond pyramid hardness test“. Smith a Sandland použili indenter čtyřboký diamantový jehlan s vrcholovým úhlem stěn 136° , čímž se získá pravidelný čtyřhranný vtisk.





Netradiční úhel 136° je volen pro zminimalizování tření, aby v co nejmenší míře ovlivňoval výsledek a také aby snížil odlišnosti hodnoty tvrdosti k hodnotám tvrdosti dle Brinella. Po zakončení mechanické části testu se změří úhlopříčka vtisku a tato hodnota je dosazena do vztahu:

$$HV = 0,189 \frac{F}{u^2}$$

F – zátěžná síla [N], u – průměrná hodnota úhlopříčky [mm]

Vickersova metoda je mimo jiné používána v závodě Benteler Rumburk. Obvyklá zatížení při metodě Vickers je dle normy ČSN 42 0374 9,8; 29,4; 49; 98; 294 a 490N. Tato zkouška je doposud jedinou zkouškou, která splňuje teoretické požadavky. Vickersova metoda má definovanou stupnici tvrdosti od měkkých kovů až po nejtvrdší kalené ocele. Výhoda této metody je nezávislost hodnoty tvrdosti na velikosti zatížení. Navíc jsou naměřené hodnoty velmi přesné, což je velká výhoda této metody. Další výhodou je malý vtisk indentorem, čímž se materiál téměř nepoškodí. Jedinou nevýhodou je nepřesnost výsledku u hrubozrnných nebo nehomogenných kovů, což způsobuje malý vtisk. (Janovec J, 1995, str. 79)

V tabulce č.1 můžeme vidět základní rozdělení zkoušek vnikajících. Tabulka obsahuje i základní parametry, kterými jednotlivé zkoušky od sebe liší. Indentor je jistě nejvýznamnější vlastností

Zkouška tvrdosti	Indentor	Vtisk	Označení a výpočet tvrdosti
Brinellova	kulička		$HBW = \frac{0,204 \cdot F}{\pi \cdot D(D - \sqrt{D^2 - d^2})}$
Vickersova	jehlan		$HV = \frac{0,189 \cdot F}{u^2}$
Knoopova	jehlan		$HK = \frac{14,2 \cdot F}{l^2}$
Rockwellova	kužel kulička		HRC, HRD, HRA, HRN, HRG, HRB, HRF, HRT*)

*) podle velikosti zátěžné síly

Tab. 1: Základní rozdělení metod vnikacích zkoušek

1.4 Zkoušky tahem

Mezi základní mechanické vlastnosti kovů patří pružnost, plasticita, pevnost a houževnatost, zatímco jiné vlastnosti jako odolnost vůči únavě nebo tečení tvrdosti jsou vlastnosti odvozené od základních vlastností. Pro minimalizaci odlišnosti mezi podmínkami jednotlivých zkoušek se většina testů normalizují a klasifikují podle dalších kritérií:

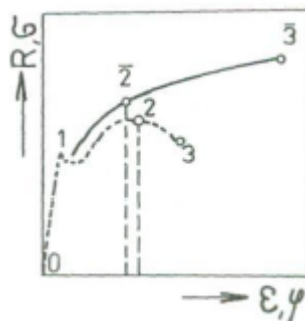
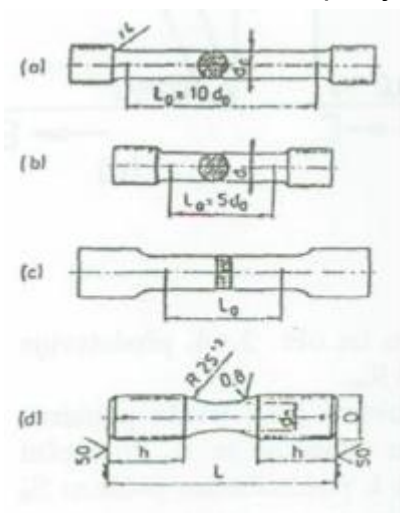
- a) Způsob zátěže – zkoušky tlakem, tahem, ohybem, stříhem
- b) Stav napjatosti
- c) Časový průběh zátěžné síly
- d) Podle fyzikálních podmínek – prostředí, teplota [Janovec J., 1995, str. 69]



Obr. 2: Zařízení pro tahové a tlakové zkoušky

Zkouška tahem je jednou z nejčastěji používanou zkouškou v oboru metalurgie. Předmětem zkoušky je kovová tyč normovaných tvarů (viz obr. č. 3), které podstoupí postupné zatěžování. Zkouška je většinou zakončena přetržením předmětu zkoušení. Testovací zařízení (viz obr. č. 2) registruje zátěž tahovou silou a prodloužení zkušebního vzorku extenzometrem. Po vykonání testu můžeme vidět tahový diagram síla – prodloužení, popř. po přepočtu napětí-deformace s typickými výsledky. Hledanými veličinami jsou mez kluzu a pevnosti, tažnost a kontrakce.

Mez kluzu (viz obr. č. 4) je napětí, u něhož dochází k prvnímu stálému poškození zkušební vzorku. Přechod z elasticity k plasticitě je u některých materiálů jako například měkka uhlíková ocel patrný a je označován jako výrazná mez kluzu. Většina materiálů však nesplňuje parametry pro tak výrazný přechod a najdeme



Obr. 4: Deformační diagramy měkké nelegované oceli

Obr. 3: Tvary zkušebních tyčí pro tah

většinou plynulý přechod. Tento přechod je definovaný napětím, kdy plastická deformace docílí předurčené hodnoty. V tomto případě se hovoří o smluvní mezi kluzu. Systém stanovení meze kluzu je vysvětlen v tab. č. 2. (Macek K., 2003, str. 72)

Typ meze kluzu	Označení	Definice
Výrazná horní mez kluzu	R_{eH}	Napětí odpovídající prvnímu poklesu zatížení - obr. 3-12a
Výrazná dolní mez kluzu	R_{eL}	Nejnižší napětí v průběhu plastické deformace - obr. 3-12a
Smluvní mez kluzu určená z trvalých deformací	R_p	Napětí, při kterém poměrná plastická deformace dosáhne předepsané hodnoty v % (např. $R_{p0,2}$) - obr. 3-12b
Smluvní mez kluzu určená z celkových deformací	R_t	Napětí, při kterém celkové poměrné prodloužení dosáhne předepsané hodnoty v % (např. $R_{t0,2}$) - obr. 3-12c
Smluvní mez kluzu určená z trvalé deformace po odlehčení	R_r	Napětí, po jehož odlehčení zůstane předepsaná hodnota trvalého prodloužení v % (např. $R_{r0,2}$) - obr. 3-12d

Tab. 2: Mez kluzu kovového materiálu

1.5 Zkouška drsnosti

Při úpravě materiálu typu obrábění není žádný povrch zcela rovný. Vždy vykazuje obrobený povrch určitý stupeň drsnosti. Stupně drsnosti se určují podle mikronerovností vzniklé při obrábění. Mezinárodní norma ISO 4287 definuje drsnost jako souhrn nerovností povrchu s malými vzdálenostmi, které vzniknou nevyhnutelně při produkci nebo jiným vlivem. Samozřejmě nemůžeme zahrnout jako drsnost vady povrchu, čili nepravidelné náhodné nerovnosti s ojedinělým výskytem (trhlínky, rysky, důlky, apod.).²

Drsnost se liší podle druhu obrábění na příčný a podélný směr. Dokončovací práce jsou jedinou výjimkou, kde se neliší drsnost v příčném a podélném směru (broušení, honování nebo lapování). V zásadě se určuje směr největší drsnosti podle stupně drsnosti. Drsnost lze ovlivnit při obrábění mnoha podmínkami. Nejdůležitější podmínkou je druh obrábění. Už jenom rozdíl v tom, jestli se jedná o úpravu brusnou nebo soustružní, ovlivní parametry drsnosti diametrálně. Další podmínkou jsou řezné podmínky jako rychlost a posuv řezu. Častou příčinou způsobení nežádoucích parametrů povrchu jsou tvar, jakost a geometrie nástroje obrábění. V tomto případě je vitální poloměr špičky. Další důležitou vlastností je taktéž tuhost soustavy. Pokud se soustava STROJ-NÁSTROJ-OBROBEK nepohybuje v dobré kondici, nemůže dojít k úpravě v potřebné jakosti. S tuhostí nástroje samozřejmě souvisí způsob upnutí obrobku. Neméně důležitý vliv na kvalitu rovnosti povrchu mají fyzikální a mechanické vlastnosti materiálu obrobence, odvod třísek z místa obrábění, použití korektních provozních řezných kapalin nebo kondice nástroje.³

Drsnost povrchu je nedílnou součástí souboru vlastností pro dynamicky namáhané součásti. Zpravidla se tyto součásti začínají kazit od povrchu. Nadměrná drsnost vypadá jako vrub v součásti, a tudíž snižuje únavovou pevnost. Parametry drsnosti jsou zakomponované dopředu konstruktéry ve výkresové

²AICHLER, JAROSLAV. SYSTÉM MANAGEMENTU MĚŘENÍ. BRNO, 2009. Dostupné z: http://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=16794. DIPLOMOVÁ PRÁCE. VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ. Vedoucí práce Ing. PETR KOŠKA, Ph.D.

³Drsnost povrchu dle DIN EN ISO. [online]. [cit. 2013-06-13]. Dostupné z: <http://www.hommel-etamic.cz/technicke-informace/drsnost-povrchu-dle-din-en-iso>

dokumentaci. Ve výkresech jsou používána značka drsnosti, které jsou vedené v normě ISO 1302. Základní značkou jsou dvě úsečky o různé délce (viz obr. 5).⁴



Obr. 5: Základní grafická značka pro strukturu

1.5.1 Metoda měření drsnosti

Stejně jako na počátku 20. století se ve společnosti Benteler používají etalony drsnosti. Logicky se nepoužívá stejná metoda jako na počátcích měření drsnosti, kdy se etalony porovnávaly pouhým okem. Dnes se používají automatizované přístroje, které kontaktně pomocí etalonu měří drsnost povrchu zkoumaného materiálu. Přístroj je rozdělen na elektrickou a mechanickou část. Základem měření je zavěšené raménko se snímacím hrotem na samém konci. Snímací hrot mechanicky sejme vlastnosti zkoumaného povrchu a pošle signál na druhý konec ramene, kde je snímač. Tento snímač převádí mechanický signál na signál elektrický. Přístroje měřící drsnost se rozdělují na přístroje s optickým nebo elektromagnetickým snímačem.

JMENOVITÉ HODNOTY CHARAKTERISTIK PROFILOMETRU (podle normy CSN EN ISO 3274)	
Geometrie hrotu snímače	Ideálním tvarem snímacího hrotu je kužel s kulovou špičkou. - Poloměr zaoblení špičky: $r_{sp} = 2 \mu\text{m}, 5 \mu\text{m}, 10 \mu\text{m}$; - Vrcholový úhel kužele: $60^\circ, 90^\circ$, (přednostně 60°)
Statická měřicí síla	Jmenovitá hodnota statické měřicí síly ve střední poloze snímacího hrotu: $0,00075 \text{ N}$; Jmenovitá rychlost změny měřicí síly: 0 N.m^{-1}
Mezní vlnová délka filtru profilu (cut-off)	(Charakteristiky filtru podrobně popsány v ČSN EN ISO 11562) Jmenovité hodnoty mezních vlnových délek filtru profilu (cut-off) se vybírají z řady: ...mm; 0,08 mm; 0,25 mm; 0,8 mm; 2,5 mm; 8 mm; ...mm

Tab. 3: Jmenovité hodnoty charakteristik profilometru

Kontaktní snímací přístroje měří pomocí profilové metody, podle které se nazývají profilometry. Základním a nejdůležitějším kamenem profilometru je diamantový hrot. Tento hrot má parametry normou předem nastavené. Nejdůležitější jsou uvedené v tabulce 3. Podstata této dotykové měřicí metody je posuv hrotu po zkoumaném povrchu a přenesení do snímací části. Mechanický signál z vahadla je převeden na

⁴KOTLANOVÁ, Doc. Anna. DRSNOST POVRCHU. [online]. [cit. 2013-06-13]. Dostupné z: <http://zcu.yc.cz/TD/DRSNOST.doc>

elektrický signál, který se zpracuje v programu a výsledkem je profil povrchu zobrazený na monitoru. Získaná data se dají dále zpracovávat specializovaným softwarem. Pohyb dotykového hrotu musí být přesný, jelikož se nejedná u výstupního signálu pouze o funkci nerovnosti povrchu, ale také o parametry pohybu. Hrot se tedy musí pohybovat rovnoměrně a přímě. Už před měřením se přístroj musí nastavit dle podmínek zkoumaného materiálu, jelikož může vlivem nerovnosti povrchu dojít k odchýlení od osy pohybu a můžeme předejít chybám, které by byly způsobené nastavením přístroje.

Kontaktní měřicí metoda má spousty technických výhod. Největší výhodou oproti třeba laserovým měřicími přístrojům je fakt, že pokud měříme dotykem snímacího hrotu, může nastat situace, kdy je na povrchu zkoumaného materiálu nečistota, která je však odsunuta snímacím hrotem, a tak nedochází k chybnému měření. Další výhodou je využitelnost, kdy můžeme měřit i součástky, které nejsou ve vodorovné poloze. Tohoto faktu se využívá při měření kuželových ploch. Určitou výhodou je také rozšířenost těchto přístrojů, jelikož můžeme věrohodně porovnávat výsledky jednotlivých zkoušek mezi různými společnostmi.

Avšak dotykový měřicí přístroje mají i určitou nevýhodu. Dotykový měřicí přístroj využívá ke snímání povrchu diamantový hrot, který však nekončí ostřím, ale rádiusem. Tento tvar hrotu způsobuje, že konec špičky neměří přímo povrch, nýbrž místa dotyku špičky hrotu. To je důvod určité přesnosti a proč nemůže dotykový měřicí přístroje měřit mikronerovnosti a dokáže měřit na maximální přesnost pouze do průměru své špičky. Na druhou stranu laserový paprsek nemá tuto nevýhodu, jelikož průměr paprsku je přibližně 10x menší než u diamantového hrotu. Další nevýhodou je tvrdost měřicího hrotu. I když přístroj nepůsobí příliš velkou silou na snímací hrot, může nastat situace, kdy bude měřený povrch natolik měkký, že by hrot poškodil povrch měřeného předmětu.⁵

1.6 Spektrometrie

Atomová absorpční spektrometrie neboli AAS je analytická optická metoda pro kvantitativní stanovení kolem 60 prvků. Základem atomové absorpční spektrometrie

⁵ KOTLANOVÁ, Doc. Anna. DRSNOST POVRCHU. [online]. [cit. 2013-06-13]. Dostupné z: <http://zcu.yc.cz/TD/DRSNOST.doc>

je Kirchhofa a Bunsena zákon z roku 1860. Zákon praví, že volné atomy v plynném skupenství dokáží absorbovat záření vlnové délky takové, které samy dokáží emitovat. Záření poskytuje výbojka emitující atomové spektrum určitého kovu s výkonnými rezonančními čarami, které jsou charakteristické pro stanovený kov. Pokud záření výbojky projde optickým prostředím, které obsahuje volné atomy, můžeme z daného optického prostředí vyzorovat úbytek intenzity záření, které nebylo absorbované optickým zářením, jde dál monochromátorem na fotonásobič. Naměřená hodnota je podle Lambert-Beera zákona úměrná koncentraci stanoveného prvku. Proces atomové absorpční spektrometrie je rozdílný podle způsobu atomizace. Standardem je hojně využívaná plamenová atomová absorpční spektrometrie (FAAS). Na druhou stranu pokud zkoumáme látku v kapalném stavu, tak se použije součást přístroje zmlžovač, z kterého je nasáván vzorek do plamene přes zmlžovací komoru, kde se vypařuje aerosol vzorku.(Němcová I., 1998. str. 23)



Obr. 6: Zařízení spektrometr

2 Svařování metodou MAG

V následující kapitole bude autor pojednávat o svařovací metodě používané ve společnosti Benteler. Kapitola má zajistit podklady pro praktickou část, kde autor bude zkoumat postupy analýzy přípravy vzorků k vyhodnocování penetrace svarů právě vytvořené touto svařovací metodou. V závodě Rumburk společnosti Benteler se používají manuální, poloautomatizované a automatizované svařovací linky vyrábějící produkty, které jsou právě předmětem makroskopického měření v laboratoři.

2.1 Historie obloukového svařování

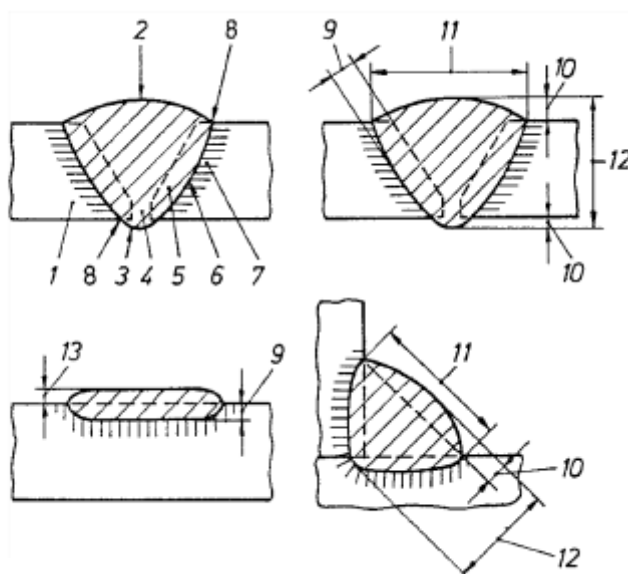
Prvními důkazy svařování jsou archeologické svary z doby bronzové čili 2000 let před našim letopočtem. V 19. století vzrůstají požadavky lidstva a kovářské svařování už je nedostačující pro vysoké nároky lidí. Objevují se nové metody svařování a lidé používají svařování plamenové, obloukové nebo odporové. V 20. století přijdou dále metody svařování difúzní, výbuchem nebo ultrazvukové. V dnešní době jsou nároky natolik vysoké, že se společnosti snaží produkci co nejvíce zefektivnit a přitom navyšovat kvalitu. Jedinou cestou k dosažení těchto cílů jsou robotizace a automatizace svařování. (Minařík V., 2007, str. 133)

První elektrický oblouk aplikoval Angličan H. Davy v roce 1801. Davyho skok do neznáma využil Francouz A. de Meritens, aby svařil desky baterií z olova. Patent na obloukové svařování však vznikl až v roce 1900, kdy se použila poprvé kovová tavící se elektroda. Metodu vylepšil Strohmenger, který použil obalenou elektrodu s přísadami chránícími roztavený kov s oxidací a stabilizací hoření elektrického oblouku. Začátkem 20. století použil O. Kjellberg křemičitan uhelnatý jako mineralizaci vrstvy oceli, což umožnilo průmyslovou aplikaci. Jako každá válka, tak i 1. světová válka nastartovala průmyslovou výrobu, tudíž se posunulo i obloukové svařování vpřed. Pro výrobu vojenské techniky a na opravu vojenské techniky se už používalo pouze obloukové svařování. V roce 1920 došlo k prvnímu zautomatizování a obrovskému zefektivnění produkce díky Alfredu Nobelu, jelikož vymyslel první automatické svařování. Třicátá léta přinesla inovativní metodu WIG, kdy inženýři použili poprvé wolframovou elektrodu pro obloukové svařování. Metoda svařování WIG nebyla zcela jednoznačná metoda. Jedna skupina používala jako

ochranný inertní plyn hélium a druzí argon. Častěji jsme se mohli setkat ale s héliem jako inertním plynem. V roce 1953 se metoda WIG upravila, kdy se přidala chladicí tryska a v tuto chvíli mluvíme o plazmovém svařování. Pro svařování masivních materiálů byla metoda WIG nehodící z důvodu wolframové elektrody, a proto se netavicí elektroda byla vyměněná za tavicí a to znamenalo vzniku metody MIG – Metal Inert Gas. Nebylo však příliš levné svařovat takto ve velkých množstvích kvůli inertním plynům héliu nebo argonu, a proto se vědci snažili využít levnější alternativy, čím byl oxid uhličitý. V praxi dokázali uplatnit oxid uhličitý ale až ruští vědci Ljubavskij a Novosilov a tím vynalezli metodu, která se s technologickými úpravami používá dodnes – MAG. Rozvoj této funkce znamenal průlom v průmyslu, jednak kvůli ceně, ale také pro efektivnost této metody. V dnešní době se snažíme vymyslet různé jiné metody, které by mohly být ještě efektivnější, ale stále je na světě nejpoužívanější metodou s aktivním plynem – MAG. (Samek E., 1982, str. 132)

2.2 Technologie svařování MIG/MAG

Svařování je pracovní postup, kdy působením teplem, tlakem nebo kombinací obojího spojujeme dva materiály za podmínky zachování původní podstaty materiálů. Při procesu svařování se zpravidla používá přídavný materiál. Pro práci s přídavnými materiály platí jediná podmínka a to, že přídavný materiál musí mít stejný řád teploty tání jako základní materiál. Svařováním vznikne stálý a neoddělitelný spoj, který můžeme vidět na obr. č. 7 s detailními popisky jednotlivých částí. (Kolektiv autorů, 2001, str. 142)



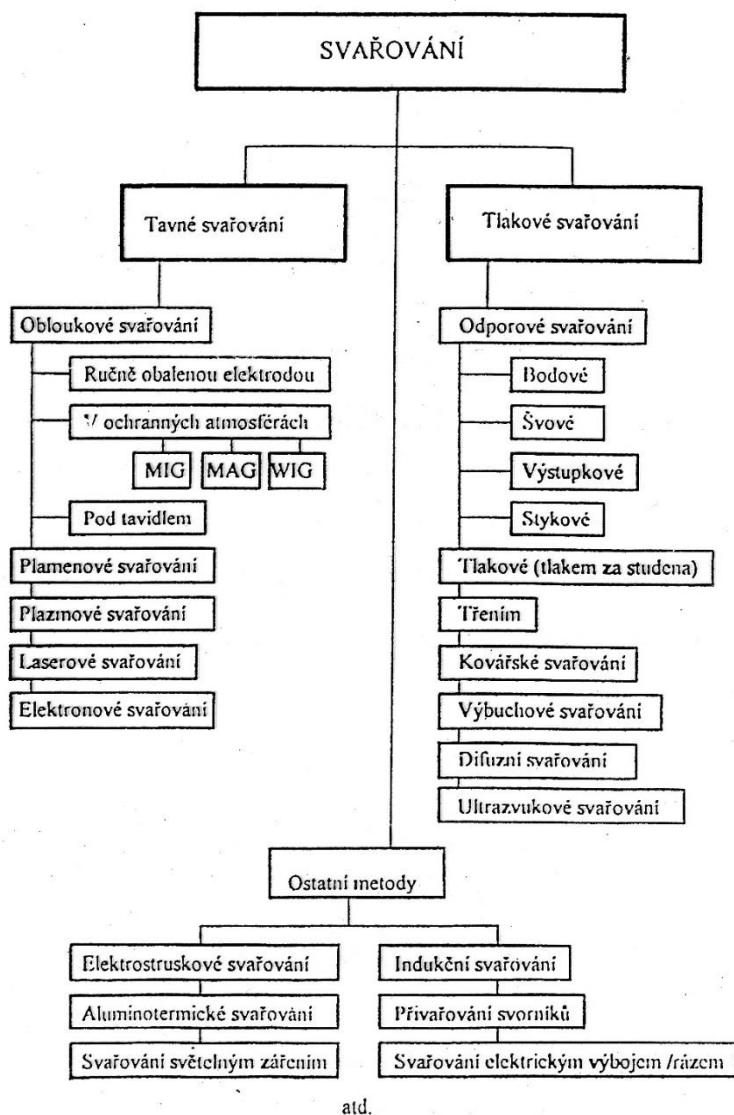
1 - základní materiál; 2 - povrch svaru; 3 - povrch kořene svaru; 4 - kořen svaru; 5 - závar; 6 - hranice svaru; 7 - tepelně ovlivněná oblast; 8 - pata svaru; 9 - hloubka závaru; 10 - převýšení svaru; 11 - šířka svaru; 12 - tloušťka svaru; 13 - výška návaru

Obr. 7: Základní popis svarového spoje

Jako každý proces v průmyslovém odvětví, tak i svařování je normované s vysokou přesností a podle systémových norem a norem pro zabezpečení jakosti se svařování řadí mezi zvláštní procesy. Toto je z důvodu nedostatečné ověřitelnosti kvality, kdy, i přes kontroly kvality a zkoušek svařovaných součástí, nedokážeme zcela potvrdit, jestli byly použity při svařovacím procesu všechny kvalitativní normy. (Kolektiv autorů, 2001, str. 45)

2.3 Rozdělení technologií svařování

Základním kritériem pro rozdělení technologií svařování je podmínka, zda se používá síla nebo ne. Pokud se síla používá, tak hovoříme o svařování tlakem, kdy je svar tvořen za pomoci tlakové síly a vytvoří se plastické deformace mezi



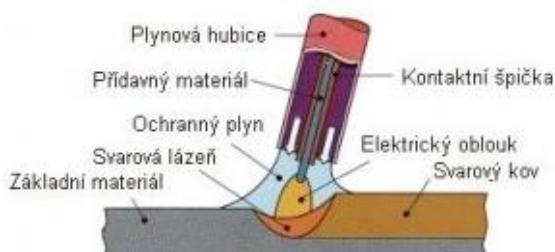
Tab. 4: Základní rozdělení druhů svařování

svarovými plochy. Grafické rozdělení svařovacích metod je znázorněné v tabulce č. 4. Při používání tohoto principu se nevyužívají přídavné materiály. Opakem je tavné svařování, kdy při svařování nepoužíváme pomocnou tlakovou sílu, nevytváří se plastické deformace, jelikož musí být místo svaru předem připravené pro správně svaření. Při této metodě se většinou používá přídavný materiál, ale nemusí.

2.4 Metoda MAG

Označení MAG pochází z němčiny (Metallschweißen mit aktiven Gas) a označuje metodu svařování tavící se elektrodou v ochranné atmosféře aktivního plynu. Toto označení je využíváno převážně v Evropě. Zbytek světa používá zkratku GMAW z anglického Gas Metal Arc Welding. Metoda MAG je i v České republice hojně využívána a nese svoje číselné pojmenování metoda 135. (Hluchý M., 1999, str. 300)

Bavíme-li se o metodě MAG, mluvíme o metodě obloukového svařování s tavící se elektrodou v ochranném plynu, který je přiveden do místa působení ze zásobníku. Procesy v elektrickém oblouku jsou chráněny ochranným plynem a tento plyn chrání též tavnou lázeň před kontaktem se vzduchem. Jako elektroda je používán drát navinutý na cívce, z které se stálou rychlostí odvíjí ke kontaktní trysce. V tomto momentu se dostává elektrický stejnosměrný proud do drátu ze zdroje. Od trysky je drát nastaven až k svarové lázni chráněnou aktivním plynem. Mezi katodou, kterou je základní materiál, a anodou tvořenou drátem hoří elektrický oblouk. (Minařík V., 2007, str. 133)



Obr. 8: Popis metody MIG/MAG v praxi

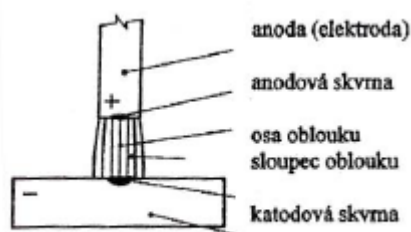
Definice elektrického oblouku je poměrně jednoduchá, je to fyzikální jev, který se projevuje obrovským elektrickým výbojem za podmínky, že se nachází v neředěném plynu a při normálním tlaku. Elektrický oblouk je zdrojem tepla při svařování a samostatně se udržuje. K vzniku elektrického oblouku je bezpodmínečně nutný ionizovaný plyn jako vodič elektrického proudu. Plyn se ionizuje teplotou, vysokým napětím nebo ionizačním zářením například UV nebo gamma. (Kolektiv autorů, 2001, str. 118)

V rozmezí mezi 10 A a 1000 A se vytvoří elektrický oblouk. Velikost elektrického proudu je závislá na požadavcích, kterých chceme dosáhnout. Pro zajištění klidného hoření oblouku a zamezení nadměrného rozstříku kovu, stálou hloubku závaru a rovnoměrnou šířku svarové housenky.

Napětí pro vytvoření oblouku je mezi 10 V a 100 V. Pokud napětí v elektrickém oblouku naběhne vyšším hodnotám, než je 100 V, sníží se frekvence přenášení kapek kovu, kapky se zvětší, svarová housenka bude širší, ale hloubka závaru se zmenší. (Pilous V., 2001, str. 142)

2.5 Vznik elektrického oblouku

Na záporné elektrodě (katoda) se vytvoří místo s vysokou teplotou nazývané katodová skvrna, z které jsou vyzařovány elektrony. Tyto elektrony se střetnou s atomy plynu a dochází ke srážkám, kdy elektrony předají svou kinetickou energii atomům plynu. Atomy plynu se rozbijí na kladné ionty a elektrony. Působícím napětím mezi katodou a anodou jsou kladné ionty a elektrony uváděny do pohybu. Pohybem naráží do dalších neutrálních iontů, které nárazem rozbijí na další elektrony a kladné ionty. Elektrony dopadají na konci své dráhy na kladnou elektrodu a kinetická energie elektronů se mění na tepelnou. Teplota kladné



Obr. 9: Proces elektrického oblouku

elektrody vystoupá na 2400 °C. Na druhé straně přijímá záporná elektroda kladné ionty a její teplota se nastoupá k přibližně 2100 °C, čímž je zaručené další vysílání elektronů. Tento jev je znázorněný na obrázku č. 9. Nízká teplota na hranici obloukového sloupce zaručí slučování elektronů s kladnými ionty. Tento jev se nazývá rekombinace. Obloukový sloupec je zřetelně viditelná část oblouku, v němž se teplota pohybuje okolo 6000 až 8000 °C. (Kudumović D., 1998, str. 239)

2.6 Výhody a nevýhody metody

Příchod inovativní metody MAG znamenal přínos hlavně z hlediska času a kvality výroby, což bylo vítané v oblasti sériové výroby. Na druhé straně metoda MAG požaduje vyšší nároky na pracovní prostředí, obsluhu zařízení a vyšší pořizovací náklady na výrobní linku.

Mezi výhody svařovací metody MAG patří:

- Nepřerušovaný svařovací proces, odpadá výměna elektrod
- Vysoká odtavovací rychlost svařovacího drátu
- Vysoké proudové zatížení
- Vysoká produktivita a hospodárnost provádění svarových spojů
- Dobrá operativnost i při svařování v polohách
- Malé deformace svařených součástí a konstrukcí
- Při vyšších rychlostech je malá tepelně ovlivněná oblast
- Velmi nízká tvorba strusky
- Dobré využití vlastností provedených spojů
- Hlubší závar
- Nízký obsah vodíku ve svarovém kovu
- Metoda nevyžaduje využití tavidel
- Viditelnost svarové lázně a elektrického oblouku
- Možnost využití přesného řízení procesu řídicí jednotkou
- Velká dostupnost svářečské techniky, ochranných plynů a přídavných materiálů
- Malé investiční náklady při uskutečnění metody v klasickém provedení
- Možnost mechanizace, robotizace a automatizace metody (Barták J. a kolektiv, 2008, str. 395)

Za nevýhody se považují:

- Vyšší nároky na údržbu zařízení
- Vyšší nároky na obsluhu
- Vliv oxidační atmosféry
- Vyšší pořizovací nároky při robotizaci a automatizaci metody
- Při využití hořáků nad 200 A je nutné zajistit ochlazování kapalinou (Bernasová E., 1988, str. 119)

2.7 Rozdíl mezi metodami MIG a MAG

Pojednáváme-li svařovací metodu MAG, musí zmínit také její bratrskou svařovací metodu MIG, která se liší pouze detaily nebo použitými prostředky, metody jako takové jsou víceméně totožné. V procesu svařování metodou MIG se elektrický oblouk vyskytuje mezi elektrodou a základním materiálem. Elektrodou je standardně svařovací drát, který je do oblouku přiváděn podávacím zařízením. Drát, představující nekonečnou elektrodu, se konstantní rychlostí přenáší do místa svaru pomocí mechanizovaného podávacího zařízení. V místě oblouku se elektroda taví a kov je přenášen do svarové lázně. Aby místo svaru bylo dostatečně chráněno před okolními vlivy, přivádí se ochranný plyn do místa svaru, který vytváří plynový obal společně s roztaveným kovem. Jedná se o naprosto stejný proces jako o svařovací metody MAG.

Na rozdíl od svařovací metody MAG, která jako ochranný obal používá aktivní plyn ve formě oxidu uhličitého nebo směsi plynu oxidu uhličitého, argonu a kyslíku, metoda MIG využívá inertní plyn argonu, hélia nebo jejich směs. Celý elektrický oblouk je chráněn inertním plynem a hoří mezi elektrodou a základním materiálem. Jedinou funkcí inertního plynu je zamezit přístup vzduchu a nežádoucích účinků k roztavenému kovu. Inertní plyn se nezúčastňuje žádných chemických reakcí, a proto je ve vztahu k chemickým reakcím inertní, čili netečný. Přestože se svařovací pochody v obou metodách velmi podobají, není ochranná atmosféra u metody MAG netečná. Oxid uhličitý není netečný plyn, a proto při svařování částečně oxiduje tavnou lázeň.

Dalším rozdílem je elektroda, kdy se u metody MIG používá holý drát, který je mechanismem plynule dodávaný do místa svaru. Na druhé straně u metody MAG se můžeme setkat s elektrodou (drátem), na kterém je legovaný mangan a křemík. Tyto dva prvky mají funkci dezoxidovat tavnou lázeň tím, že na sebe navážou kyslík

a železo nebude oxidovat. Výsledkem toho jsou oxidy, které na povrchu kovu vytvářejí nepatrné strusky.

Tyto chemické rozdíly přináší jisté difference ve funkčnosti u jednotlivých metod. Metodou MIG je vhodné svařovat hliník a jeho slitiny, svařování slitin mědi, titanu a zpravidla svařitelné lehké kovy. Naopak metodou MAG se svařují plechy do tloušťky 12 mm, což umožňuje hluboký závar a úzký svar. Metodou MAG se svařují nelegované, nízkolegované a vysokolegované ocele.

Většinou se v literatuře nebo v praxi setkáváme s těmito svařovacími metodami pod společným názvem MIG/MAG, jelikož se nevyskytují žádné velké odlišnosti, opomeneme-li rozdílný ochranný plyn a svařovací dráty. (Kolektiv autorů, 2001, str. 76)

2.8 Svařovací zařízení

Svařovací zařízení (viz obr. č. 10) je pro obě metody obdobné a zřetelně to jde vidět na obrázku 8. Svařovací zařízení u obou metod se liší ochranným plynem a dle toho také přídatným materiálem. Svařečka je pro obě metody stejná.



Obr. 10: Svařovací zařízení pro svařování MIG/MAG

2.8.1 Přídavné materiály

Pro svařovací metodu MIG/MAG se používají přídavné materiály (viz obr. č. 11) ve formě plného drátu nebo trubičkového drátu vyhovující chemickým složením a svařovacími vlastnostmi. Tyto přídavné materiály se přepravují a skladují navinuté na cívce a ve vhodném obalu zabraňující poškození nebo znehodnocení.



Obr. 11: Názorný přídavný materiál v ochranném obale

Přídavné materiály zajišťují při svařování metodou MIG/MAG tyto funkce:

- zaručují dostatečný objem svarové lázně a požadovaný tvar svaru
- doplňují prvky, které se při procesu svařování MIG/MAG sníží svou koncentrací nebo vypálí
- zabezpečují vhodné množství dezoxidačních a legovacích přísad do svaru za účelem zlepšení vlastnosti svaru
- zajišťují funkce vodiče elektrického obvodu [Kolektiv autorů, 2001, str. 256]

Pro splnění výše uvedených funkcí musí mít přídavné materiály tyto vlastnosti:

- vhodné chemické složení
- správný průřez
- zabezpečený hladký povrch a vysokou čistotu
- vhodnou tvrdost
- správné rozměry a tvarové tolerance [Kolektiv autorů, 2001, str. 261]

Tvary elektrody přídavného materiálu MIG/MAG

Tvary průřezu jsou následující:

- a) drátové elektrody s plným kruhovým průřezem
- b) trubičkové elektrody plněné přísadami[

Drátové elektrody, se kterými se svařují nelegované a nízkolegované ocele, jsou na povrchu pokryty vrstvou mědi. Tenká vrstva mědi brání korozi při přepravě a dlouhodobém skladování. Měděný povrch nemá funkci pouze ochrannou, ale současně zlepšuje kvalitu přívodu proudu na elektrodu v momentě pohybu v koncovce svařovacího hořáku. Elektroda za užití metody MIG musí mít čistý povrch neobsahující oxidy, organické nečistoty a ani vlhkost.(Pilous V., 2001, str. 112)

2.8.2 Zdroje svařovacího proudu

Svařovací metoda MIG/MAG využívá zdroje mající stejnosměrný výstup proudu a kladným pólem zdroje připojený na drátovou elektrodu.

V dnešní době se převážně setkáváme s invertory⁶ s různými vlastnostmi výkonu. Pro zobrazení základních parametrů svařovacího proudu je nejvhodnější statistická voltampérová charakteristika. Tato závislost je vyjádřena při určitém nastavení invertoru. Pro zdroj svařovacího proudu je nezbytné, aby dokázal reagovat na změny uvnitř svařovacího procesu, což může být například změna vzdálenosti hořák – základní materiál.(Kolektiv autorů, 2001, str. 275)

⁶ Invertor neboli měnič je elektrotechnické zařízení sloužící k proměně parametrů elektrické energie. Základními parametry, které invertor může ovlivnit, jsou elektrické napětí, proud a u střídavého proudu ještě frekvence.

3 Analýza procesu přípravy vzorků a vyhodnocování penetrace svaru

V následujících kapitolách bude autor popisovat jednotlivé kroky procesu přípravy vzorků za účelem následného vyhodnocování penetrace svaru. Příprava vzorků projde dvěma odděleními společnosti Benteler, které jsou zaštitěné managementem kvality. Jedná se jednak o oddělení destrukčních zkoušek, které funguje ve třech směnách, včetně vedoucího směny a mistra zodpovídajícího za plynulost provozu směn, mechanického stavu zařízení spadajícího pod oddělení a aktuálnosti kontrolplánu jednotlivých projektů. Kde se však odehrává většina dění, je oddělení laboratoře, které funguje v rumburském závodě Benteleru pouze na ranní směně v obsazení dvou specialistů ovládajících všechny zkoušky popsané v kapitole 2.

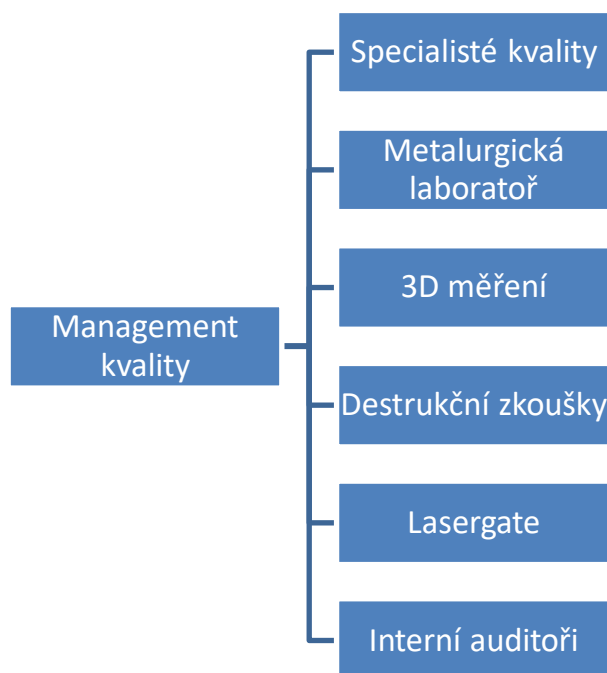
3.1 Management kvality ve společnosti Benteler

Benteler je hráčem v automobilovém průmyslu majícím široké portfolio produktů, a proto musejí být pracovníci laboratoře všestranní a laboratoř musí být vybavena potřebnými testovacími stroji. V rumburském závodě najedeme různé technologie jako například tváření za tepla a studena, řezání plazmou, mechanické obrábění, katodové lakování (dále KTL), ostřih za studena, letování a sváření, kterému se budu ve své práci věnovat v druhé kapitole. Většina těchto procesů pracuje s vysokopevnostní ocelí a hliníkem.

Nejdůležitějším aspektem výroby z hlediska kvality je spokojenost zákazníka, která je podmíněna neustálou kontrolou kvality produktu. Proto závod Benteler v Rumburku kontroluje jeden produkt hned několikrát v různých fázích a různými způsoby podle efektivnosti kontroly určitého produktu. Kontrola kvality, která je zastoupena u každého produktu, je vstupní a výstupní kontrola s rozdílem četnosti podle produktu. Podle produktu požadavků na kvalitu jsou dále přiděleny další druhy kontroly jako například laboratoř kvality, 3D měření nebo lasergate.

Management kvality společnosti Benteler v Rumburku zajišťuje manažer kvality, který je přímým podřízený ředitele závodu a na stejné úrovni v hierarchii s vedoucím

výroby a ostatními vedoucími (manažerskými) pozicemi. Manažer kvality je zodpovědný za 4 oddělení, interní auditory a jednotlivé specialisty kvality, kteří se starají každý o svůj projekt, kvalitu výrobku a komunikaci se zákazníkem. V krizovém momentě se zapojí i manažer kvality. Pro vizuální zobrazení nám slouží organizační diagram, v němž je vidět hierarchie oddělení kvality.



Organizační diagram managementu kvality ve společnosti Benteler Rumburk s.r.o.

3.2 Laboratoř ve společnosti Benteler

Laboratoř je nedílnou součástí řízení kvality v automobilovém průmyslu a to ať už se bavíme o laboratoři chemické, mechanické nebo metalografické. Laboratoř ve společnosti Benteler je chápána jako samostatné oddělení zaštiťované samotným managerem kvality celého závodu. Součástí laboratoře kvality je také oddělení destrukčních zkoušek, kde se odehrává hrubé zpracování vzorků, které se následně upravují a vyhodnocují v laboratoři kvality. Hlavním významem laboratoře kvality z pohledu společnosti Benteler je ověřování reálného stavu produktu s požadavky kvality. Bavíme-li se o požadavcích, mluvíme jednak o požadavcích interních a jednak externích. Interní požadavky jsou požadavky kvality daného produktu stanovené vedením společnosti Benteler. Pro pracovníky zabývajícími se vyhodnocováním vzorků jsou tyto parametry těmi podstatnějšími, jelikož jsou interní parametry vždy přísněji nastavené než požadavky zákazníků.

3.3 Destrukční zkoušky

Oddělení destrukčních zkoušek, na které narazíme v téměř každém závodě působícím v automobilovém průmyslu, dokonce v téměř každém výrobním podniku. Oddělení je nezbytně nutnou součástí systému kvality a neoddělitelnou součástí kontroly kvality dílů sériové výroby, která probíhá destruktivní metodou. Probíhají zde různé zkoušky, jako například trhání matic průvlaků, test pevnosti svarů, tvrdosti materiálu, tažnosti a celá řada dalších. Úkolem oddělení destrukčních zkoušek Benteleru Rumburk je uvolnění výroby podle plánu kontroly jednotlivých projektů, pravidelné zkoušky, ale i jednorázové prověrky, které jsou zapříčiněny inovací výrobní metody nebo startováním nového projektu ve firmě, které jde ruku v ruce s obrovským množstvím práce pro všechna oddělení zainteresované v kontrole kvality. Důležitou součástí odpovědností pracovníků destrukčních zkoušek příprava vzorků pro metalografickou laboratoř kvality. Získané výsledky zapisuje pracovník do programu SAD⁷

3.3.1 Příprava vzorků pro laboratoř kvality

Jelikož je závod v Rumburku pracoviště, kde se vyrábějí různé produkty na různých projektech od odlišných odběratelů, má každý produkt rozdílný plán kontroly, podle kterého musí pracovník destrukčních zkoušek postupovat. Plán kontroly vypovídá, v jakých intervalech má odpovědný pracovník z projektu doručit produkt, z kterého se bude odebírat vzorek, na oddělení destrukčních zkoušek. Dále určuje plán kontroly pozice kontrolovaných svarů a následné kroky. Pracovník destrukčních zkoušek může vzorek vyhodnotit stavu jako vyhovující (označení OK) nebo nevyhovující (označení NOK). Pokud stav vzorku odpovídá předepsaným podmínkám, vzorek je poslán do laboratoře kvality. Pokud pracovník destrukčních zkoušek vyhodnotí stav vzorku jako NOK, musí požádat o korekci a pracovník projektu je povinen zajistit náhradní kus a celý proces kontroly vzorku na destrukčních zkouškách se opakuje.

⁷ SAD – Systém SAD (Sběr a Analýza Dat) je komplexní databázovou aplikací, která slouží k získávání a analýze dat z oblasti výroby, kvality a logistiky. Samotný program byl vyvinutý pracovníkem závodu Benteler Rumburk a momentálně se používá v každém závodě společnosti Benteler. Systém umí samostatně vyhodnocovat soubor dat a zpracovat ve formě grafu, ale umí i exportovat do MS Excel nebo do specializovaného programu Q-Stat.

Nacházíme se v momentě, kdy pracovník destrukčních zkoušek obdržel zkoumaný produkt. Pracovník musí v prvním kroku označit místa, kde se nachází kritické svary sledované kontrolním plánem. Nejjednodušší cestou je použít označený příslušný „mustr“ daného projektu, který je dostupný na destrukčních zkouškách. Pokud je produkt kompletně popsán a pracovník si je jistý, že má všechny svary správně označené, může začít s oddělováním zkoumaných vzorků od zbytku materiálu pomocí plazmového řezání. Plazmové řezání je vysoce efektivní, ale má některé nevýhody. Některé z nich jsou vysoká nepřesnost a nečistý řez. Tyto technické nedostatky jsou doprovázeny zdravotními následky zapříčiněné užíváním tohoto plazmového řezacího stroje. Každý pracovník je proto vybaven příslušnými ochrannými prostředky, které mají eliminovat negativní následky na zdravotní stav. Nařezané vzorky si pracovník destrukčních zkoušek odnese k pracovišti s pilou. Hrany vzorků nařezané plazmovým strojem se upraví seříznutím hrubých hran a nedostatků pilou, vzorek bude mít hladké hrany, které budou způsobilé k broušení na brusném páse.

Díly po opracování na brusném páse mohou mít drobnější nedostatky ve formě nerovnosti zkoumaného povrchu. Tyto nerovnosti můžeme podle potřeby zarovnat pneumatickou bruskou značky „Fortuna“, která je ideální na drobné úpravy vzorku. Pokud je zkoumaný povrch na vzorku v naprosté rovině, můžeme nanést kyselinu HNO_3 v 15% koncentraci s technickým lihem, který se nazývá Nital pro zobrazení a vyhodnocení svaru. Zde se nacházíme v bodě rozcestí. Pokud pracovník destrukčních zkoušek vyhodnotí vzorek jako vyhovující, posílá vzorek do laborky. Pokud však nastane situace nevyhovujícího stavu vzorku, kdy nesplňuje nastavená kritéria, musí pracovník destrukčních zkoušek požádat o náhradní kus u zodpovědné osoby. Korekční vzorek mu musí být dodán co nejdříve, aby pracovník destrukcí mohl zkompletovat sadu vzorků ve vyhovujícím stavu. A dále celou sadu předat oddělení laboratoři kvality.

3.4 Laboratoř kvality

Další částí našeho měření se dostáváme do metalografické laboratoře oddělení kvality, kde se odehrává už stěžejní část celkového procesu a dochází k dokončení a zaznamenání do QRK, které obsahuje potřebné informace pro kvalitáře každého

projektu. Následně bych se chtěl soustředit na jednotlivé kroky v procesu přípravy makrovýbrusů a konečné vyhodnocení jejich jakosti.

3.4.1 Příprava pro dokončení přípravy

První kroky s připravenými vzorky jsou spíše administrativního rázu. Jedná se totiž o přípravu kusů pro konečnou úpravu před focením a vyhodnocováním, které lze vidět na obr. č. 12. Díly přijdou z destrukčních zkoušek ve velmi hrubé podobě a s nečistotou, v které by nebyla možná kvalitní fotodokumentace a vyhodnocování. Na začátku jako u každé jiné zkoušky makroskopického vyhodnocování se musí vytvořit složka v počítači, kde se zapíšou hodnoty do už předem připravené šablony QRK formuláře a přidají zvlášť kótované fotky z mikroskopu. Za druhé bude následovat zarovnání a označení každého kusu tak, aby se prakticky manipulovalo v dalších krocích přípravy vzorků. Standardně se vzorky srovnávají v zestupně dle čísla označení s výjimkou vzorků s dvojitým svarem. Označit se musí také kusy, které jsou zároveň používány pro měření tvrdosti. V tomto případě se efektivně využívá stav vzorku, který po vyleptání je natolik čistý, aby zařízení na měření drsnosti mohlo kvalitně vyhodnotit tvrdost.



Obr. 12: Příprava jednotlivých vzorků pro broušení, leštění a následné leptání

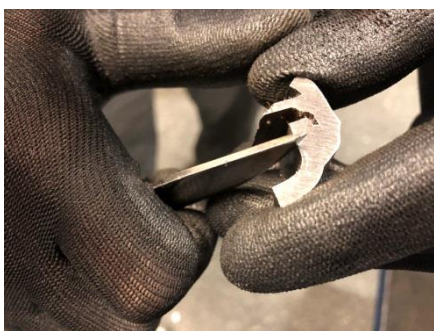
Už v této části je možné vytvořit časovou prodlevu. Jelikož díl přichází z rukou pracovníka destrukčních zkoušek do rukou pracovníka laboratoře kvality, je možné, že se v sestavě o 124 dílech může stát nějaká chyba. Na tomto projektu se kontrolují pouze kritické svary, tudíž může destrukční pracovník vyrobit vzorek nekritického svaru, který je nepotřebný. Ze stejného důvodu může pracovník proměnit označení

dvou svarů, nebo zapsat označení, které neexistuje. Nakonec samozřejmě může svar opomenout nebo ho ztratit. Pracovník laboratoře kvality je při zjištění stavu dílu, který nekoresponduje s předpisem QRK, povinen vystavit reklamační kartu středisku destrukčním zkouškám a ti musí samozřejmě sestavu vzorků doplnit, aby byla úplná.

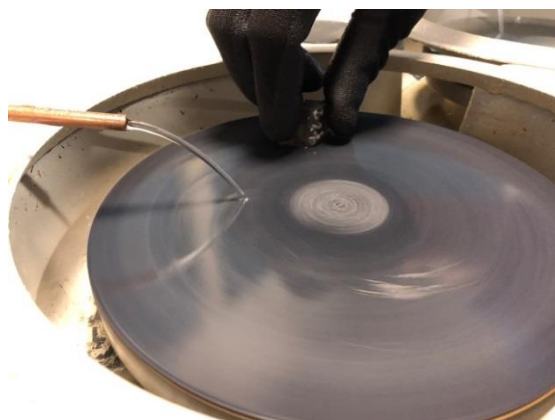
Z časového hlediska je tato část přípravy dost proměnná, ale standardně tato část zabere přibližně 1 člověkohodinu. V případě korekce vzorku je prodleva pro naše měření irelevantní, jelikož se může laborant věnovat něčemu jinému a ke zkoušce se vrátí po dodání korekcí.

3.4.2 Broušení

Účelem tohoto kroku je odstranění hrubých nečistot a vytvořit minimální povrchovou nerovnost s minimální deformační vrstvou na připraveném vzorku.



Obr. 13: Mechanické odstranění hrubých nečistot

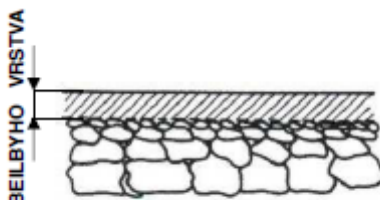


Obr. 14: Leštění na kotoučové leštičce

Broušení se může uskutečnit ručně, poloautomaticky nebo automaticky podle požadované preciznosti pro následné zkoumání. Jelikož se v rumburském závodě Benteler vzorky tohoto projektu zkoumají pod pětinasobným zvětšením, stačí naše vzorky brousit pouze ručně.

Jak je vidět na předchozím obrázku, zkoumané vzorky jsou připravené k broušení. Jak už jsem psal v předešlé podkapitole, vzorky jsou plné nečistot a z hrubého broušení na destrukčních zkouškách mají v části řezu mnoho hrotů a ostrých hran,

které jsou nežádoucí a mohly by poškodit brusné papíry. Proto se tyto deformace musí nejdříve hrubě odstranit nožem, což je dobře vidět na obr. č. 13, jak se vzorek čistí od hrubých nečistot. Po očištění se začne pracovat na brusce. V našem případě se jedná o dvoukotoučovou brusku značky LE-CO Spectrum System 1000, která rozpohybuje kotouče rychlostí 350 otáček za minutu (viz obr. č. 14).



Obr. 15: Znárodnění Beilbyho vrstvy

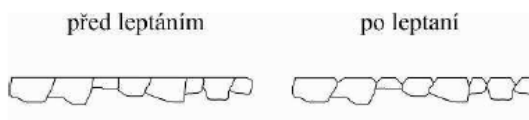
Vzorek přiložíme vodorovně k prvnímu kotouči s brusným papírem o hrubosti 180 zrn/cm². Lehkým tlakem odstraníme hlavní nerovnosti a stopy po hrubém broušení z destrukčních zkoušek. V tomto bodě je možné poměrně často narazit na proměnnou, kdy pracovník destrukčních zkoušek, který vzorek připraví, může znatelně ovlivnit efektivnost. Pokud to pracovník nařeže zkoumanou řeznou plchu tak, že bude obsahovat dvě roviny, nebude tudíž způsobilá k dalšímu broušení. Poté musí pracovník laboratoře vytvořit na vzorku rovinu hrubým zbrúšením vzorku pomocí pneumatické vibrační brusky s brusným papírem s hrubostí 50 zrn/cm² tak, že zbrúsí vzorek do požadované hloubky a vytvoří jednu rovinu. Pakliže máme vzorek obroušený brusným papírem 180 zrn/cm², můžeme přejít na druhý kotouč. Ve druhé fázi broušení budeme pokračovat tímto procesem stejným způsobem s jediným rozdílem, kterým je hrubost brusného papíru, jenž je v tomto případě 320 zrn/cm². Na obě broušení se používá jako chladící medium studená voda, která je vitálně důležitá. Samozřejmě při hrubším broušení se žádné chladící medium nepoužívá, ale při dalším větším broušení se musí použít chladící medium, které brání ničení brusných papírů, ale hlavně vytvoření Beilbyho vrstvy⁸ (viz obr. č. 15).

⁸ Beilbyho vrstva (nebo také B-vrstva) je souvislá deformačně zpevněná vrstva tvářeného kovu, která vzniká na povrchu vzorku při jeho mechanickém ovlivňování. Materiál zde ztrácí svoji původní strukturu, což komplikuje nebo úplně znemožňuje její studium. Tloušťka Beilbyho vrstvy závisí především na míře místního zvýšení teploty, která je úměrná rychlosti broušení a přítláčné síle. Běžně se pohybuje v řádu desetin milimetru. Tloušťka Beilbyho vrstvy vzniklé broušením se odhaduje na jednu desetinu až jednu šestinu průměrné velikosti částic použitého brusiva. Lze ji omezit přiváděním vhodné chladící tekutiny. Již vzniká Beilbyho vrstva se redukuje

Co se týká nákladů a časové náročnosti této fáze, tak jsme naměřili 3,5 člověkohodin. Opět můžeme však narazit na některé faktory, které by čas prodloužily. Například když laborant musí vzorky dobrušovat po destrukčních zkouškách, nebo časté vyměňování brusných papírů. Spotřeba papírů byla při vzorovém pokusu naměřena na 6 párů brusných papírů, která podle zkušeností laborantů byla standartní. Spotřeba papírů je rovněž velmi závislá na zpracování vzorků z destrukčních zkoušek.

3.4.3 Leptání a focení

Přicházíme k nejdůležitější části zkoušky, kterou je nepopíratelně leptání s následnou fotodokumentací a zároveň je nejcitlivější fází, jelikož každý materiál požaduje speciální techniku rozdílnými leptadly. Krystalickou strukturu kovového materiálu zakrývá (v předchozí kapitole zmíněná) tenká Beilbyho vrstva. Abychom se mohli podívat na krystalickou strukturu pozorovaného vzorku, je nezbytné Beilbyho vrstvu odstranit chemickou cestou leptáním vzorků kyselinami nebo elektrolyticky. Dále můžeme chemické leptání rozdělit také podle působení leptadla s následujícími možnostmi: na hranici zrn, plošné nebo na určitou fázi, což je selektivní leptání.

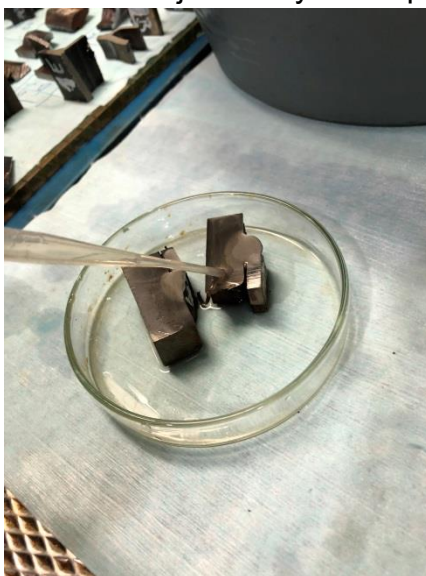


Obr. 16: Rozdíl roviny vzorku před a po leptání

Leptáním se pokoušíme na makrografickém výbrusu vyvolat mikrostrukturu, z které získáme potřebné informace. Pro naše potřeby je nejefektivnější cestou chemické leptání⁹. Rozpouštěcí schopnosti jednotlivých strukturních součástí jsou rozdílné, a tudíž po aplikaci chemického leptadla vzniká povrchový reliéf, který zviditelní rozdílnost mikrostruktury (viz obr. č. 16). Následné zviditelnění struktury závisí na vzniku chemických reakčních zplodin.

adekvátním broušením či leštěním za současného intenzivního chlazení nebo působením vhodných leptadel.
⁹ Chemické leptání je proces, při kterém na povrch vyleštěného vzorku necháme působit chemická leptadla.

V laboratoři kvality v Benteleru Rumburk se používá pro zviditelnění mikrostruktury makrografických výbrusů plošné leptání, které je názorně vidět na obr. č. 17. Tento druh leptání se uplatňuje k docílení viditelnosti rozlišení jednotlivých zrn za pomoci povrchového reliéfu. Důvodem viditelnosti je rozdílná leptatelnost odlišně krystalograficky orientovaných zrn. Odlišně orientovaná zrna jsou naleptána podle jednotlivé hloubky, jelikož každá krystalická rovina obsahuje rozdílnou energii. Důsledek toho je vznik odlišných hloubkových stupňů na místech, kde proběhl proces leštění do zcela rovného povrchu. V objektivu můžeme naleznout světelné paprsky odrážející se od různých stupňů v odlišné intenzitě a z tohoto důvodu se jeví při pozorování světelným mikroskopem jednotlivá zrna tmavší či světlejší. To je důvod, proč se při pozorování odstín jednotlivých zrn při natočení změní.



Obr. 17: Leptání vzorků

Makrografické vzorky se v laboratoři kvality v Benteleru Rumburk leptají pod spuštěnou recirkulační digestoří, která slouží k odsávání nebezpečných karcinogenních výparů kyseliny. Po několika sekundách působení 15% roztokem nitalu¹⁰ na povrchu vzorku dosušíme vzorek speciálním papírem k tomu určeným a omyjeme vodou. Vzorek po aplikaci kyseliny přesuneme do vedlejší místnosti laboratoře, kde se zaměstnanci na pozici specialisty kvality soustředí na focení a

¹⁰ Nital je kyselina složená z 2% kyseliny dusičné a 98% ethylakoholu. Tato kyselina má velmi efektivní leptavost, kde dosahujeme výsledku leptání během několika sekund až minut. Používáme Nital při nutnosti dosažení maximálního kontrastu mezi perlitem a feritem, pokud chceme vyvolat hranice feritu a využitím této kyseliny je schopnost zvýraznit odlišnosti mezi feritem a martenzitem.

vyhodnocování makrografických vzorků. Laborant přenáší viditelně napenetrovaný vzorek k mikroskopu s přesvědčením, že všechny kontury svaru jsou viditelné. Vzorky, které už na první pohled mají viditelné sváry, se upevní do nádoby s plastelínou, aby byla zajištěna nehybnost vzorků při zachycování kvality svarů a zajistila se maximální detailnost snímku pro nalezení možných nekvalit výbrusu.

V tomto momentu jsme se dostali do fáze, kdy je makroskopický výbrus plně opracovaný a připravený se podrobit makroskopickému vyfocení japonským mikroskopem značky Olympus SZX9. Může nastat z jakéhokoli důvodu, že vzorek není dostatečně viditelný na obrazovce, přičemž důvodem není mikroskop, má specialista kvality možnost nanést na vzorek menší množství nitalu pro jasnější kontrast pozorovaných částí svarů.

3.4.4 Fotodokumentace

Zkontrolované díly určené k fotodokumentaci oddělením laboratoře dodává oddělení destrukčních zkoušek dle přiloženého plánu kontroly a časové frekvence v pokud možno perfektním stavu (viz označení OK).

Specialisté oddělení laboratoře (dále pouze laboranti) takto připravené vzorky dle metodických pokynů dobrušují a dolešťují (viz předchozí podkapitola). Nyní nastává fáze dokumentace. Laborant na základě průvodní karty vytvoří příslušnou složku na projektovém disku dle data dodání – výroby. Pro fotodokumentaci si závod Benteler Rumburk zvolila program Atlas – Tescan. Podle regulační karty – QRK mají již v tuto chvíli laboranti jednotlivé vzorky srovnané ve správném pořadí, v kterém je budou fotit a ukládat. Laborant umístí jednotlivé vzorky do aretační hmoty pro zajištění maximální nehybnosti, přizpůsobí zvětšení kvality snímku, a pokud si je jistý, že jsou zřetelně vidět zkoumané části svaru, provede focení. A v tomto sledu pokračují specialisté až do nafocení celé sady.

3.4.5 Vyhodnocování, kótování

Před samotnou technologií kótování je potřeba zmínit, že tuto činnost smí provádět pouze certifikovaní specialisté, kterými se Benteler Rumburk může pochlubit. V již zmíněném programu Atlas je možné vyhodnocovat jednotlivé sváry. Dle podkladů, které mají laboranti k dispozici, určují jednotlivé délky, šířky a výšky, rovněž hloubky

a veškeré aniance, které jsou na obrazovce měřitelné. Pokud kontrolou zjistí, že se všechny naměřené hodnoty shodují s doloženým předpisem (QRK), zapíše je do tabulky a označí OK. Zjistí-li laborant, že některá z měřených částí je mimo specifikaci, označí tento svar NOK. Po dokončení kótování všech svarů zrekapituluje, v jakém stavu se sada nachází. Stačí totiž, aby například 1 svar z 350 měřených svarů byl NOK, a celá sada je tím pádem NOK. V tomto případě oznámí laborant tuto skutečnost vedoucímu kvality, dále příslušnému kvalitáři projektu a oddělení destrukčních zkoušek, kde nahlásí NOK svary a čeká na korekce. Zároveň je povinností oddělení laboratoře vypsát hlášení vad, které se archivuje. Ze samotné praxe je tento případ ovšem výjimečný, takže zpravidla je celá sada označena OK. Příklady chyb vyskytujících se ve svařovně společnosti Benteler s.r.o. v Rumburku můžeme najít v příloze č.1, kde se nachází katalog vad používaný na jednom z projektů. Katalogy vad se používají na všech svařovacích projektech ve výše zmiňované společnosti. Tyto katalogy se mohou odlišovat menšími odlišnostmi, ale v zásadě se příliš neliší.

3.4.6 Archivace

Dle požadavků v sektoru automobilového průmyslu má stejně tak jako ostatní výrobní závody i Benteler Rumburk povinnost archivovat výsledky regulace výrobního procesu 10 let. Fotodokumentace včetně naměřených kót zapsaných do listu QRK uchovává správce sítě (IT oddělení) na projektovém disku v elektronické podobě a laboranti v písemné podobě pouze regulační karty QRK. V případě reklamace je tedy možné dohledat výsledky na dvou frontách.

3.5 Shrnutí

Makrografické měření je jednou z nejpoužívanějších zkoušek prováděné v rumburském závodě a zároveň je to velmi efektivní způsob pro zkontrolování kvality svarového spoje. Pro zajištění úplnosti této zkoušky slouží dvě oddělení. Obě oddělení pracují podle zavedených postupů odvozených ze zkušeností, které nabyli samotní pracovníci destrukčních zkoušek. To samé platí i pro pracovníky laboratoře, kteří stavějí na svých vlastních zkušenostech, a tak se pokouší metody neustále zefektivňovat. Jistý prostor pro zlepšení však stále existuje. Destrukční zkoušky fungující na tři směny, a tak by se mohl zefektivnit proces broušení vzorků pro makrografické měření, a tím odebrat práci metalurgické laboratoři pracující pouze

na jednu směnu. Na druhé straně je prostor ke zlepšení také v oddělení laboratoří v procesu focení vzorků a zadávání výsledků do regulačních karet. Autor sám navrhl mimo tyto změny také novou metodu, kterou by se dal proces měření kvality svarových spojů výrazně urychlit. Tento prostor ke zlepšení s návrhy i porovnáním je zpracován v následujících kapitolách.

4 Návrh alternativních způsobů přípravy vzorů na makroskopickou analýzu

Po zpracování původního postupu přípravy vzorků pro vyhodnocování penetraci svarů bude autor zpracovávat vlastní nápady pro zvýšení efektivity. V případě zjištění větší efektivity práce alternativním způsobem mohly by se autorem navržené kroky implementovat do praxe a tím snížit náklady společnosti.

Autor se snažil vylepšit v každé části přípravy krok, který by výrazně snížil dobu pracovního výkonu. První krok by se odehrál na oddělení destrukčních zkoušek, kde by se použila širší bruska a kde by se inovovalo brusné pásmo. Další krok by ovlivnil část přípravy v laboratoři, kde by se všechny vzorky jedné zkoušky, nebo produktu leptaly dohromady. V poslední řadě by autor chtěl vylepšit focení jednotlivých vzorků vylepšením makroskopické lupy fixním držákem pro vzorky.

4.1 Brusné pásy

Při tomto zlepšovacím návrhu se přesuneme na oddělení destrukčních zkoušek, kde se vzorky hrubě připravují. Z hotového produktu nebo polotovaru se vyřežou svary plazmovým řezem podle controlplanu a pracovník destrukčních zkoušek musí dále jednotlivé vzorky popsat a následně hrubě zbrousit na brusce. Momentálně je na brusce brusné pásmo se zrnitostí G60. Toto označení znamená přítomnost 60 zrn na cm^2 . Tato fáze je vitální pro následné pracování se vzorky v laboratoři. Vzorek by měl být v ideálním případě v naprosté rovině a neměly by se vyskytovat na vzorku žádné ostré hrany nebo dvojité roviny. Takové nevyhovující stavy by pro laboratoř kvality znamenaly buďto vrácení vzorku na oddělení destrukčních zkoušek, nebo by laboratoř kvality musela provést vlastní úpravy pneumatickou bruskou.

Autorův nápad pro zlepšení efektivity práce v přípravě vzorků pro vyhodnocení penetrace svaru by neznamenal pouze zefektivnění pracovního času pracovníků laboratoře, nýbrž možné zrychlení pracovního procesu a eliminaci případných chyb přichozích z oddělení destrukčních zkoušek. Velký rozdíl v efektivity práce by dělalo použití jemnějšího pásu čili s větší zrnitostí na oddělení destrukčních zkoušek. Pracovníci destrukčních zkoušek by tudíž vždy odvedli vyhovující práci v přípravě vzorků pro laboratoř kvality. U vzorků by se eliminovaly ostré hrany se 100 % efektivností, jelikož by pracovník destrukčních

zkoušek musel nejdříve pro vlastní potřebu vytvořit vyhovující vzorek, aby následně mohl začít brousit ten samý vzorek na brusném pásu s trojnásobnou zrnitostí. Tento krok by proto zcela eliminoval chybovost přípravy vzorků destrukčních zkoušek pro laboratoř kvality. Vzorky by putovaly do laboratoře kvality v jemnosti G180, což je stav připravené pro hrubé leštění. Toto vylepšení by však neznamenovalo odstranění prvního brusného kotouče s brusným papírem 180 zrn/cm² z laboratoře kvality. Při této zrnitosti musíme počítat se změněním struktury vzorku při použití brusného papíru 180 zrn/cm² bez chladicího elementu, které bychom takto použili na destrukčních zkouškách. Pokud by se na vzorku objevilo znehodnocení struktury zkoumané plochy, musel by pracovník laboratoře vzorek ještě jednou zbrousit na brusném kotouči s chladícím elementem.

4.2 Hromadné leptání vzorků

Jedno z autorových vylepšení stávajícího procesu metalurgické přípravy makroskopického zkoumání zasahuje do procesu v momentě leptání. Následně po zbroušení ostrých hran a hrubého leštění vzorků následuje leptání, čili odstranění Beilbyho vrstvy (detailně popsána v předchozí kapitole). Leptání se dosavadně provádí lokální implementací leptadla nitalu v určitém množství roztoku podle materiálu zkoumaného vzorku. Tento krok přípravy vzorků probíhá pod speciální recirkulační digestoří, která odvádí jedovaté karcinogenní výpary roztoku nitalu a tím zajišťuje pracovní místo bezpečné pro pracovníky laboratoře. Po lokálním naleptání vzorku musí být naleptaná plocha vzorku zbavena odleptaných nečistot a leptadla, což pracovník laboratoře vykoná vodou a následným vyčištěním kompresorem. Až poté je vzorek způsobilý k dobře viditelnému ofocení struktury.

Jak už název kapitoly prozrazuje, nejedná se o žádnou sofistikovanou metodu. Naopak vylepšení spočívá v zjednodušení dosavadní metody. Doposud se při leptání prozkoumali nanejvýš 3 kusy vzorků (podle tvaru vzorku), jelikož se leptadlo nanášelo kleštěmi, v kterých pracovník laboratoře drží vzorky. Pokud jsme podstoupili změnu, tak by se žádné kleště nemusely používat. Všechny kusy vzorku by se uchovaly v drátěné kleci ve tvaru „vědra“, do kterého by se následně musely ponořit. Po vybroušení, vyleštění a následném zkontrolování, zda máme všechny kusy vzorků, následuje ponoření drátěné klece se všemi díly do kovového „kýble“

naplněného kyselinou nitalu. Leptání jednotlivých dílů se zkontroluje vizuálně, zda proběhlo v pořádku,

v opačném případě se daný nedostatečně naleptaný vzorek ještě jednou zvlášť ponoří do „kýble“ s nitalem. Pokud máme všechny vzorky tedy už úspěšně naleptané, opláchneme je důkladně ve velkém dřezu od nečistot a zbytkové kyseliny. Opláchnuté vzorky vyndáme z leptací klece a začneme je kompresorem čistit zvlášť od zbylých nečistot a vody.

4.3 Focení snímků svarových spojů

Dalším zlepšovacím návrhem je krok před samotným vyhodnocováním. Autor se snaží urychlit focení snímků svarových spojů, a tak vytvořit prostor pro pracovníky laboratoře, aby se mohli věnovat svým dalším povinnostem vzhledem k zaměstnavateli. Doposud probíhalo focení snímků svarových spojů poměrně sofistikovaně. Pod čočkou mikroskopu na pevné ploše je upevněná nádoba s plastelínou, do které se upevňují jednotlivé vzorky. Vzorky jsou kus od kusu rozdílných rozměrů, a proto se musí pracovník laboratoře na každý jednotlivý vzorek mikroskopem zaměřit, aby dokázal vyfotit ostrý snímek. Tento postup musí s každým dílem opakovat.

Autor se snaží postup zjednodušit tím, že pracovník laboratoře nemusel při každém kusu měnit polohu čočky mikroskopu, a tudíž neztrácí zbytečný čas s focením. Zlepšovacím návrh spočívá v jednoduchém fixním držáku, který by byl v ideálním případě na konci vybaven magnetem, který však není podmínkou, jelikož jsou předmětem makrografického zkoumání také metalurgické nemagnetické vzorky. Inovativní držák bude umístěn v takové ideální poloze, aby při přiložení metalurgického vzorku byl obraz vždy maximálně ostrý. Pracovník laboratoře se tudíž nemusí zabývat zaostřením na zkoumanou rovinu vzorku a ani na nastavení mikroskopu, nýbrž pouze na přiložení vzorku k držáku a stisknutím tlačítka pro vyhotovení snímku.

5 Porovnání a vyhodnocení efektivity původních a alternativních metod přípravy vzorků

Dostáváme se do konečné fáze bakalářské práce, kde shrneme všechny předchozí kapitoly probrané v této práci. Cílem této kapitoly je zjištění výsledku zkoumání, zda by se z hlediska efektivity vyplatilo implementovat alternativní autorem navržené kroky, nebo jestli by bylo vhodné udržet původní způsoby přípravy a vyhodnocování. Nově navržené kroky se vyskytují ve třech různých momentech přípravy. Měření efektivity každého kroku je rozdílně obtížné, a proto se autor vynasází co nejpřesněji změřit jednotlivé kroky v jednotce člověkohodina. Vezmeme alternativní model přípravy v potaz, jedná se o kroky, které změni posloupnost jednotlivých činností, což znamená i dráha putování vzorků a jiné prodlevy, a proto se musí proměřit doba vykonání celého procesu. Celé měření je znázorněné v tabulkách č. 5 a č. 6, kde lze vidět zřetelně rozdíl mezi oběma metodami.

Příprava vzorků na oddělení destrukčních zkoušek (v člověkohodinách)	
Popis vzorku	1
Řez vzorků	5
Úprava pilou	3
Brusný pás G90	3
Leptání a zkoumání způsobilosti	2
Laboratoř	
Rovnění vzorků	1
Broušení vzorků G180+G320	4
Leptání/focení	4
Vyhodnocení	8
Výsledná časová náročnost	31

Tab. 5: Časová náročnost zpracování a vyhodnocení vzorků podle původního způsobu

Příprava vzorků na oddělení destrukčních zkoušek (v člověkohodinách)	
Popis vzorků	1
Řez vzorků	5
Úprava pilou	3
Brusný pás G90+G180	4
Leptání a zkoumání způsobilosti	2
Laboratoř	
Leštění G320	2
Hromadné leptání	0,5
Focení	1,5
Případné doleptání	1
Vyhodnocování	8
Výsledná časová náročnost	28

Tab. 6: Časová náročnost zpracování a vyhodnocování vzorků podle alternativního způsobu

Tabulka č. 5 znázorňuje původní způsob zpracování a vyhodnocování vzorků svárových vzorů před změnami. Jak je v tabulce znázorněné, výsledná časová náročnost se rovná 31 člověkohodina. Tento způsob zahrnuje 9 kroků, z toho 5 na oddělení destrukčních zkoušek a 4 kroky v oddělení laboratoře. Pokud se podíváme na nově navržený postup, vidíme časovou náročnost 28 člověkohodin. Alternativní způsob má celkem 10 kroků, z toho 5 kroků na oddělení destrukčních zkoušek a 5 kroků v oddělení laboratoře, ale o 3 člověkohodiny rychlejší, než původní postup. Co se týká alternativního postupu, viditelné změny jsou přesunutí brusného pásma se zrnitostí G180 na oddělení destrukčních zkoušek, vytvoření prostoru pro hromadné leptání, které je velmi efektivní z hlediska časové náročnosti, následné zjednodušené focení a závěrem krok, byť jeho přítomnost byla už v původním postupu, ale zaznamenání tohoto kroku stojí za zmínku v alternativním způsobu z důvodu zvětšení časové náročnosti. Viditelné zjednodušení u prvního zlepšovacího kroku není ani tak celková časová náročnost, ale přesunutí časového zatížení z oddělení laboratoře na destrukční zkoušky. Navíc z technického hlediska je broušení G180 zbytečné provádět pod chladicím médiem jako se dosud praktikuje a kvalitativně se vzorky v konečné fázi nezmění. Dalším, a dle autora nejzásadnějším krokem zrychlení, je hromadné leptání. Tento krok zásadně změní

práci v laboratoři. Dosud laborant naleptal určité omezené množství vzorků a toto množství vzorků následně hned naleptal a tímto postupem se pokračuje do dokončení sady vzorků. Hromadné leptání umožní vzorky také hromadně nafotit, což urychlí nejen z technického hlediska čas, ale také urychlí proces eliminování desítky cest laboranta od místa leptání k místu focení, jak bylo dosud praktikováno. Samozřejmě nesmíme opomenout krok zjednodušení focení vzorků, který zefektivní tento krok o 0,5 člověkohodiny za sadu. Nicméně hromadné leptání má také své stinné stránky. Jednou nevýhodou je zanesení pracoviště výpary roztoku nitalu, která jsou karcinogenní a leptají sliznice, a i přes vysoce výkonou recirkulační digestoř, ovlivňují výpary nitalu silně zdravotní stav pracovníků. Další nevýhodou je pomíjivý stav viditelnosti penetrace svaru po leptání, jenž nemá dlouhé trvání, a proto je nutností, aby se doleptaly už špatně viditelné vzorky. Tento krok je zaznamenaný v tab. č. 6 a vyžaduje 1 člověkohodinu za sadu vzorků. Závěrečné vyhodnocování zůstává v obou způsobech stejné a není zde prostor ke zlepšení. Zda je v praxi výhodnější pomalejší způsob, který ale ponechává pracovní prostředí v čistém a bezpečném stavu, nebo rychlejší metoda znečišťující pracovní prostředí pracovníků, to už je na managementu kvality. Každopádně nic nebrání tomu zavést brusný pás o zrnitosti G180 do oddělení destrukčních zkoušek, aby se ubrala práce už tak přetížené laboratoři kvalitě, a také zavedení držáku na vzorky pro urychlení focení.

Závěr

Cílem bakalářské práce bylo zanalyzovat současný stav procesu přípravy a vyhodnocování kvality penetrace svarových spojů, navrhnout alternativní způsoby, který by v ideálním případě zajistily efektivnější zpracování vzorků a závěrem porovnat původní a alternativní metodu přípravy a vyhodnocování. Veškerá analýza procesu proběhla ve společnosti Benteler s.r.o. v Rumburku, kde proběhly i praktické pokusy navržené ve čtvrté kapitole.

V teoretické části byly definovány pojmy laboratoř a další související pojmy a činnosti vztahující se k metalografické laboratoři kvality. Autor podrobně rozepsal, které zkoušky se ve standardní laboratoři v automobilovém průmyslu provádějí, princip dané zkoušky a druhy jednotlivých zkoušek. Dále se v první kapitole obecně popisuje stěžejní metalografická zkouška, která v praktické části do detailu byla rozebrána. Druhá kapitole začíná historií svařování, obecným popisem procesu svařování a následně byla pozornost zaměřena na svařování metodou MIG/MAG, princip této metody a popisem svařovacího zařízení nezbytně nutného k vykonání pro tuto metodu.

Významnou částí bakalářské práce tvoří analýza přípravy a vyhodnocování vzorků svarových spojů, která je provedena zaznamenáním krok po kroku a vysvětlením každého detailu provedeným metalografickým specialistou společnosti Benteler s.r.o. v Rumburku. Rozbor začíná v momentu, kdy řadový pracovník donese z určité linky produkt a oddělení destrukčních zkoušek předpřipraví sadu vzorků pro specialistu laboratoře. Autor popisuje jak přípravu na destrukčních zkouškách, tak následnou přípravu a vyhodnocování v laboratoři, v níž probíhá už pouze jemná příprava, focení a vyhodnocování vzorků s konečnou archivací výsledků. Další část bakalářské práce tvoří návrhy alternativních provedení vybraných kroků s viditelným potenciálem ke zlepšení. Autor se snažil navrhnout tři kroky zefektivnění výroby z časového hlediska. Toto se jasně potvrdilo v poslední kapitole praktické části, ale i celé bakalářské práce, kdy se zjistilo, že alternativní způsob urychlí proces měření kvality svarových spojů jedné sady vzorků v průměru o 3 hodiny. Důležitou otázkou však je, zda se toto urychlení pracovního času vyplatí na úkor pracovního prostředí, které bude značně narušené výpary roztoku nitalu. Takové rozhodnutí je

individuálního charakteru a záleží na managementu kvality, jak bude s aktuálním stavem procesu nakládat.

Seznam literatury

- [1] AICHLER, JAROSLAV. SYSTÉM MANAGEMENTU MĚŘENÍ. BRNO, 2009. Dostupné z: http://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=16794. DIPLOMOVÁ PRÁCE. VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ. Vedoucí práce Ing. PETR KOŠKA, Ph.D.
- [2] Drsnost povrchu dle DIN EN ISO. [online]. [cit. 2013-06-13]. Dostupné z: <http://www.hommel-etamic.cz/technicke-informace/drsnost-povrchu-dle-din-en-iso>
- [3] KOTLANOVÁ, Doc. Anna. DRSNOST POVRCHU. [online]. [cit. 2013-06-13]. Dostupné z: <http://zcu.yc.cz/TD/DRSNOST.doc>
- [4] Pluhař J. et. all: Nauka o materiálech, Praha 1989.
- [5] Jareš V.: Základní zkoušky kovů a jejich teorie, Praha 1966.
- [6] NĚMCOVÁ, Irena, Petr RYCHLOVSKÝ a Ludmila ČERMÁKOVÁ. *Spektrometrické analytické metody*. Praha: Karolinum, 1998. ISBN 80-7184-365-2.
- [7] KŘÍŽENECKÁ, Sylvie a Václav SYNEK. *Základy analytické chemie*. Ústí nad Labem: Univerzita J.E. Purkyně v Ústí nad Labem, Fakulta životního prostředí, 2014. ISBN 978-80-7414-804-0.
- [8] Interní zdroje
- [9] JANOVEC, Jiří, Jiří CEJP a Josef STEIDL. *Perspektivní materiály*. Praha: Vydavatelství ČVUT, 1995. ISBN 80-01-01282-4.
- [10] MACEK, Karel a Petr ZUNA. *Strojírenské materiály*. Praha: Vydavatelství ČVUT, 2003. ISBN 80-01-02798-8.
- [11] HLUCHÝ, M., KOLOUCH, J., PAŇÁK, R. *Strojírenská technologie 2*. 1. vyd. Praha: Scientia, 1999. 316 s. ISBN 80-7183-117-4.
- [12] MINAŘÍK, V. *Obloukové svařování*. 1. vyd. Praha: Scientia, 2007. 241 s. ISBN 80-01-00345-0.
- [13] Kolektiv autorů. *Technologie svařování a zařízení*. 1. vyd. Ostrava: Zeross, 2001. 395 s. ISBN 80-85771-81-0.
- [14] SAMEK, E., STRINKA, R. *Zváranie v ochrannej atmosfére taviacou sa elektrodou*. 1. vyd. Bratislava: SNTL – ALFA vydavateľstvo technickej a ekonomickej literatury, 1982. 248 s. MDT 621.791.754.
- [15] PILOUS, V. *Technologie kovových materiálů*. 1. vyd. Plzeň:

Západočeská univerzita v Plzni, 2001. 125 s., ISBN 80-7082-811-0.

[16] ORSZÁGH, P., ORSZÁGH, V. *Zváranie MIG/MAG ocelí a neželezných kovov*. 1. vyd. Bratislava: Vydavateľstvo vedeckej literatury a časopisov, 2000. 460 s. ISBN 80-88780-36-5.

[17] Barták J. a kolektiv autorů, 2008: *Svařování kovů v praxi*. VERLAG DASHÖFER, Praha, 2254s. ISSN: 1803-2834

[18] Bernasová E., 1988: *Svařování*. SNTL, Praha, 200s.

[19] Kudumović D., 1998: *Zavarivanje i termička obrada*. FEM, Tuzla, 493s. ISBN: 9958618028

[20] Malina Z., 2010: *Základní kurz svařování MIG/MAG se souborem testových otázek*. ZEROSS, Ostrava, 144s. ISBN: 80-86698-16-5

[21] Minařík V., 2011: *Přehled metod svařování*. ZEROSS, Ostrava, 82s. ISBN: 80-86698-18-1

[22] NENADÁL, J. *Systémy managementu kvality: Co, proč a jak měřit*. Praha: Management Press, 2016. 304 s. ISBN 978-80-7261-426-4.

Seznam obrázků a tabulek

Seznam obrázků

Obr. 1: Zařízení tvrdoměr	13
Obr. 2: Zařízení pro tahové a tlakové zkoušky	15
Obr. 3: Deformační diagramy měkké nelegované oceli	16
Obr. 4: Tvary zkušebních tyčí pro tah.....	16
Obr. 5: Základní grafická značka pro strukturu.....	18
Obr. 6: Zařízení spektrometr	20
Obr. 7: Základní popis svarového spoje	22
Obr. 8: Popis metody MIG/MAG v praxi	24
Obr. 9: Proces elektrického oblouku.....	25
Obr. 10: Svařovací zařízení pro svařování MIG/MAG	28
Obr. 11: Názorný přídatný materiál v ochranném obale	29
Obr. 12: Příprava jednotlivých vzorků pro broušení, leštění a následné leptání ...	35
Obr. 14: Leštění na kotoučové leštičce.....	36
Obr. 13: Mechanické odstranění hrubých nečistot	36
Obr. 15: Znázornění Beilbyho vrstvy	37
Obr. 16: Rozdíl roviny vzorku před a po leptání	38
Obr. 17: Leptání vzorků	39

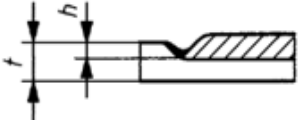
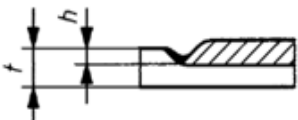
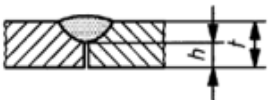
Seznam tabulek

Tab. 1: Základní rozdělení metod vnikacích zkoušek.....	14
Tab. 2: Mez kluzu kovového materiálu	16
Tab. 3: Jmenovité hodnoty charakteristik profilometru	18
Tab. 4: Základní rozdělení druhů svařování	23
Tab. 5: Časová náročnost zpracování a vyhodnocení vzorků podle původního způsobu.....	46
Tab. 6: Časová náročnost zpracování a vyhodnocování vzorků podle alternativního způsobu	47

Seznam příloh


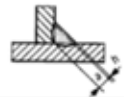
PŘÍLOHA Č. 1 KATALOG VAD


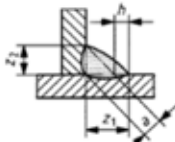
referenční číslo	Název vady	poznámky	t(mm)	Kritérium přípustnosti C	EN ISO 5817
100	Trhlina	-	$\geq 0,5$	Nepřípustné	EN ISO 5817
104	Kráterová trhlina	-	$\geq 0,5$	Nepřípustné	EN ISO 5817
2017	Povrchový pór	-	0,5 - 3	Nepřípustné	EN ISO 5817
2017	Povrchový pór	-	> 3	$d \leq 0,2 \cdot s$, ale max. 2mm $d < 0,2 \cdot a$, ale max. 2mm	EN ISO 5817

2025	Koncová kráterová staženina		0,5 - 3	Nepřípustné	EN ISO 5817
2025	Koncová kráterová staženina		> 3	$h \leq 0,1 \cdot t$, ale max. 1mm	EN ISO 5817
401	Studený spoj	-	$\geq 0,5$	Nepřípustné	EN ISO 5817
4021	Neprovařený kořen	Pouze pro tupé svary 	$\geq 0,5$	Nepřípustné	EN ISO 5817

502 503	Nadměrné převýšení tupého a koutového svaru		$\geq 0,5$	Bez hodnocení	VW 01105-1
504	Nadměrné převýšení kořene	Je požadován plynulý přechod. 	0,5 - 3	$h \leq 1\text{mm} + 0,3 \cdot b$	ENISO 5817 VW 01105-1
			>3	$h \leq 1\text{mm} + 0,6 \cdot b$, ale max. 4mm	
505	Strmý přechod svaru	Tupé svary 	$\geq 0,5$	$\alpha \geq 110^\circ$	ENISO 5817
5011 5012	Souvislý zápal Nesouvislý zápal	Je požadován plynulý přechod. Nepovažuje se za systematickou vadu. 	0,5 - 3	$h < 0,1 \cdot t$	ENISO 5817
			>3	Tupý a koutový... $h < 0,1 \cdot t$, ale max. 0,5mm přeplátovaný svar... $h < 0,1 \cdot t$	VW 01105-1
5013 515	Vruby v kořeni Hubený kořen	Je požadován plynulý přechod. 	0,5 - 3	Nepřípustné	ENISO 5817
			>3	Tupý a koutový... $h < 0,1 \cdot t$, ale max. 0,5mm přeplátovaný svar... $h < 0,1 \cdot t$	VW 01105-1

502 503	Nadměrné převýšení tupého a koutového svaru		$\geq 0,5$	Bez hodnocení	VW 01106-1
504	Nadměrné převýšení kofene	Je požadován plynulý přechod. 	0,5 - 3 > 3	$h \leq 1\text{mm} + 0,3 \cdot b$ $h \leq 1\text{mm} + 0,6 \cdot b$, ale max 4mm	EN ISO 5817 VW 01106-1
505	Strmý přechod svaru	Tupé svary 	$\geq 0,5$	$\alpha \geq 110^\circ$	EN ISO 5817
		Koutové a přeplátované svary 	$\geq 0,5$	$\alpha \geq 100^\circ$	VW 01106-1
506	Přetok svarového kovu		$\geq 0,5$	Nepřípustné	EN ISO 5817 VW 01106-1
509	Proláklna		0,5 - 3	Krátké vady $h \leq 0,1 \cdot t$	EN ISO 5817

516	Pórovitost kořene	Porézní kořen svaru způsobený tvorbou bublin ve svarovém kovu během tuhnutí (např. nedostatečnou plynovou ochranou kořene)	$\geq 0,5$	Nepřípustné	EN ISO 5817
517	Vadné napojení	-	$\geq 0,5$	Bez hodnocení	VW 01106-1
5213	Podkročení velikosti koutového svaru		$\geq 0,5$	Nepřípustné	EN ISO 5817 VW 01106-1
5214	Překročení velikosti koutového svaru		$\geq 0,5$	Bez hodnocení	VW 01106-1
601	Dotyk elektrodou	-	$\geq 0,5$	Bez hodnocení	VW 01106-1
602	Rozstřík	-	$\geq 0,5$	Nepřípustné na funkčních plochách dílu	EN ISO 5817

511	Neúplné vyplnění svaru		> 3	Tupý a koutový: $h < 0,1t$, ale max. 1,0mm přepřátovaný svar: $h < 0,1t$	VW 01106-1
510	Díra	-	$\geq 0,5$	Nepřípustné	EN ISO 5817
512	Nadměrná asymetrie koutového svaru		$\geq 0,5$	Přípustné, pokud je tloušťka svaru a šířka závaru z pořádku (i.O.)	VW 01106-1

ANOTAČNÍ ZÁZNAM

AUTOR	Marek Heinrich		
STUDIJNÍ OBOR	6208R186 Podniková ekonomika a řízení provozu, logistiky a kvality		
NÁZEV PRÁCE	Měření kvality penetrace svaru v automobilovém průmyslu		
VEDOUCÍ PRÁCE	Ing. et Ing. Martin Folta, Ph.D., EUR ING		
KATEDRA	KLAT - Katedra logistiky, kvality a automobilové techniky	ROK ODEVZDÁNÍ	2018
POČET STRAN	57		
POČET OBRÁZKŮ	17		
POČET TABULEK	6		
POČET PŘÍLOH	1		
STRUČNÝ POPIS	<p>Bakalářská práce se zabývá efektivitou přípravy a vyhodnocování kvality svarového spoje ve společnosti Benteler Rumburk s.r.o.</p> <p>V teoretické části autor vysvětluje pojem metalurgická laboratoř, její funkce a popisuje problematiku metalurgických zkoušek. Druhou kapitolou v teoretické části je rozbor obloukového svařování, přesněji metody MAG, princip této metody a porovnání metody MAG a MIG.</p> <p>V praktické části autor analyzuje celý proces přípravy a vyhodnocování kvality svarového spoje z hlediska efektivity práce. Navrhuje alternativní metody, které by mohly zjednodušit proces. Na závěr se autor snaží o porovnání stávajícího a alternativního procesu měření a navrhuje dle vlastního názoru změny v procesu.</p>		
KLÍČOVÁ SLOVA	Makroskopie, metalurgická laboratoř, destrukční zkoušky, svařování MAG, svarový spoj		

ANNOTATION

AUTHOR	Marek Heinrich		
FIELD	6208R186 Business Administration and Operations, Logistics and Quality Management		
THESIS TITLE	Quality measurement of the weld joints in the automotive industry		
SUPERVISOR	Ing. et Ing. Martin Folta, Ph.D., EUR ING		
DEPARTMENT	KLAT - Department of Logistics, Quality and Automotive Technology	YEAR	2018
NUMBER OF PAGES	57		
NUMBER OF PICTURES	17		
NUMBER OF TABLES	6		
NUMBER OF APPENDICES	1		
SUMMARY	<p>This thesis is focused on the measurement of the efficiency in the process of metallographic specimen preparation and evaluation of the quality of weld joints in the company Benteler Rumburk s.r.o.</p> <p>In the theoretical part the author explains the concept metallurgical laboratory, its function and describes the problematic of the metallurgical tests. The second chapter in the theoretical part is an analysis of arc welding, exactly MAG welding, principle of this method and comparison of the methods MIG and MAG.</p> <p>In the practical part the author analyses the whole process of the preparation and evaluation of the quality of the weld joints in terms of work efficiency. The author suggests alternative methods, which could simplify the process. In conclusion, the author compares the current and the alternative way of measurement and suggests changes in the process.</p>		
KEY WORDS	Metallographic, metallurgical laboratory, destructive tests, welding MAG, weld joint		