

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Harantová** Jméno: **Alena** Osobní číslo: **438932**
Fakulta/ústav: **Fakulta strojní**
Zadávající katedra/ústav: **Ústav strojírenské technologie**
Studijní program: **Teoretický základ strojního inženýrství**
Studijní obor: **bez oboru**

II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce:

Kontrola laserových svarových spojů pomocí softwaru Weldwatcher

Název bakalářské práce anglicky:

Testing of laser welded joints using software Weldwatcher

Pokyny pro vypracování:

- Popis technologie laserového svařování se zaměřením na automobilový průmysl
- Přehled a popis vad svarových spojů provedených metodou laserového svařování
- Přehled a popis nedestruktivních metod kontroly svarových spojů
- Popis softwaru Weldwatcher
- Návrh experimentu pro ověření kvality kontroly softwarem Weldwatcher
- Svaření zkušebních vzorků a jejich vyhodnocení
- Závěr

Seznam doporučené literatury:

- [1] ČSN EN ISO 13919-1 ; Svařování - Svarové spoje zhotovené elektronovým a laserovým svařováním - Směrnice pro určování stupňů jakosti - Část 1: Ocel
- [2] LIA Handbook of Laser Materials Processing, John F. Ready, MPI, 2008
- [3] Firemní materiály společnosti Faurecia Automotive Czech Republic s.r.o.
- [4] Odborné citační databáze Scopus, WoS, Science Direct

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) bakalářské práce:

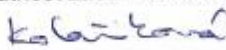
Ing. Marie Kolaříková Ph.D., ústav strojírenské technologie FS


Jméno a pracoviště druhé(ho) vedoucí(ho) nebo konzultanta(ky) bakalářské práce:

Ing. Miroslav Zajíček, Faurecia Automotive Czech Republic s.r.o., Písek

Datum zadání bakalářské práce: **24.04.2017** Termín odevzdání bakalářské práce: **10.08.2017**

Platnost zadání bakalářské práce: **10.08.2017**


Podpis vedoucí(ho) práce



Podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry


Podpis děkana(ky)

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Studentka bere na vědomí, že je povinna vypracovat bakalářskou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací.
Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je třeba uvést v bakalářské práci.

11.5.2017
Datum převzetí zadání


Podpis studentky

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE
FAKULTA STROJNÍ

Ústav strojírenské technologie

KONTROLA LASEROVÝCH SVAROVÝCH SPOJŮ
POMOCÍ SOFTWARE WELD WATCHER

Autor: Alena Harantová
Studijní obor: Teoretický základ strojírenského inženýrství
Vedoucí práce: Ing. Marie Kolaříková Ph.D.
Konzultant: Ing. Miroslav Zajíček
Praha 2017

Prohlášení:

Prohlašuji, že jsem svou bakalářskou práci vypracovávala samostatně pod vedením mé vedoucí a konzultanta bakalářské práce a použila jsem pouze podklady uvedené v příloženém seznamu.

V Praze dne 7.8.2017

Alena Harantová

Poděkování

Chtěla bych poděkovat mé vedoucí Ing. Marii Kolaříkové, Ph.D. za cenné rady, celkový dohled a v neposlední řadě i za trpělivost. Dále velké díky patří Ing. Ladislavu Kolaříkovi, Ph.D., IWE za zapůjčení potřebných materiálů pro vypracování bakalářské práce a Ing. Miroslavu Zajíčkoví i celému kolektivu Faurecia Automotive Czech Republic s.r.o., Seating Písek za odpovědi na mé otázky, pomoc a zázemí při tvorbě praktické části. Poděkování patří i mé rodině, která mě podporovala nejen při psaní bakalářské práce, ale i v průběhu celého studia.

Název: Kontrola laserových svarových spojů softwarem Weld watcher

Autor: Alena Harantová

Anotace:

Obsah této bakalářské práce popisuje problematiku laserového svařování, kontrolu laserových svarů a nedestruktivní kontrolu softwarem Weld watcher. Práce se dělí na dvě části, teoretickou a praktickou. V teoretické části je rozebírán princip laseru, laserové svařování, vady svarů i jejich zkoušky a kontrola svarů pomocí Weld watcheru. Bakalářská práce je zaměřena na použití laserového svařování v automobilovém průmyslu.

Praktická část se zabývá kontrolou nastavení parametrů Weld watcheru pomocí experimentu. Po přečtení teoretické části je čtenář obeznámen s problematikou laserového svařování a s Weld watcherem a je schopen pochopit průběh a vyhodnocení praktického testu softwarem.

Klíčová slova: Laser, laserové svařování, vady svarů, Weld watcher

Vedoucí práce: Ing. Marie Kolaříková Ph.D.

Pracoviště: Ústav strojírenské technologie, fakulta strojní ČVUT

Vedoucí ústavu: Ing. Ladislav Kolařík, Ph.D., IWE

Studijní obor: Teoretický základ strojírenského inženýrství

Počet stran: 48

Počet obrázků: 37

Počet tabulek: 4

Počet příloh: 15

Name: Testing of laser welded joints using software Weld watcher

Autor: Alena Harantová

Annotation:

Contents of this thesis describes the problém of laser welding, controlling of laser seams and non- destructives test with software Weld watcher. Thesis is divided into two parts, theoretical and practical. In the teoretical part is being analyzed laser, laser welding, defects of the welding seams and tests wiht Weld watcher. Thesis is focused at using laser welding in the automotive.

Practical part deals with controlling settings of parametrs Weld watcher with the experiment. After reading teoretical part is the reader get to know problems laser welding and Weld watcher and he is ready to understand proces and evaluation of the practical test.

Key words: Laser, laser welding, weld defects, Weld watcher

Leader: Ing. Marie Kolaříková Ph.D.

Workplace: Ústav strojírenské technologie, fakulta strojní ČVUT

Institut leader: Ing. Ladislav Kolařík, Ph.D., IWE

Field of study: Teoretický základ strojního inženýrství

Number of pages: 48

Number of pictures: 37

Number of Tables: 4

Number of annexes: 15

Obsah

1. Úvod	7
2. Laserové svařování	8
2.1. Druhy laserů	9
2.2. Princip svařování	11
2.3. Laserový paprsek	12
2.4. Využití laseru v automobilovém průmyslu	13
3. Vady svarů	15
4. Nedestruktivní zkoušky svarů	17
4.1. Kontroly povrchových vad	17
4.2. Kontroly vnitřních vad	19
4.3. Monitorování procesu svařování	20
5. Weld watcher	21
6. Praktická část	23
6.1. Materiál	23
6.2. Použitý svařovací laser	23
6.3. Weld watcher	24
6.4. Svar	24
6.5. Postup testu	27
6.6. Výsledky	28
7. Závěr	34
8. Bibliografie	35
9. Seznam obrázků	38
10. Seznam tabulek	39
11. Seznam použitých zkratk	40
12. Seznam příloh	41

1. Úvod

Nároky na výrobky jsou stále větší a větší. Zákazník chce zvyšovat standard kvality za co nejnižší cenu. Vzniká tak tlak na průmysl, který se musí potřebám přizpůsobovat. Inovují se stávající technologie a vymýšlí se nové. Důležitým aspektem výroby je i kontrola kvality a dodržování norem v oblasti bezpečnosti, což ovlivňuje automobilový průmysl.

Automobilový průmysl se snaží vyrábět automobily lehčí, aby měly menší spotřebu. Současně se snaží zvyšovat bezpečnost a pohodlí cestujících. Začíná se proto využívat lehčích, pevnějších materiálů s co nejnižší cenou. Snižování ceny se promítá i v nárocích na technologii svařování. Dříve používané konvenční technologie ustupují do pozadí, protože byly moc zdlouhavé a čas jsou peníze. Jejich nástupci jsou laserové a plasmové svařování.

Již v době vynalezení laseru Albertem Einsteinem bylo jasné, že ho bude možno využít v průmyslu. V šedesátých letech dvacátého století byl už položen základ pro laserové svařování. Technologie se začala prudce rozrůstat až na konci tisíciletí společně s rozvojem sériové výroby. Laserové svařování má budoucnost pro svou rychlost a opakovatelnost. Účinnost laserových svařovacích robotů není ještě velká, asi 30 %. Ovšem před pár lety byla ještě o polovinu menší, což vypovídá o velkém rozvoji a potenciálu do budoucna.

S rostoucí produkcí laserových svarů jsou zvyšovány nároky na jejich kontrolu. Destruktivní testy součást zničí, nedestruktivní testy ale nevyzkouší všechny svary a průchod nekvalitního výrobku k zákazníkovi je dílem náhody. Proto byl vymyšlen způsob kontroly všech dílů bez jejich zničení, Weld watcher.

Mládí vynálezu Weld watcheru přináší problémy v podobě nevyzkoušenosti a problémů s nastavením. Teoretické parametry jsou známé, ale jejich zasazení do výroby je věc druhá. Účinky kontroly musí projít sérií testů, aby se dosáhlo žádaného výsledku. Stálým opakováním a následným přenastavováním se kontrola kvality neustále přibližuje ideálu.

V této práci je popsán princip a proces svařování laserem, druhy vad, vznikající tímto procesem a kontrola kvality laserových svarů různými druhy testů. V praktické části je popis experimentu, který má za úkol otestování funkce softwaru Weld watcher.

2. Laserové svařování

Laserové svařování patří mezi nejdůležitější a nejefektivnější metody tvorby nerozebíratelných spojů. Díky jeho přesnosti, rychlosti a možnosti mechanizace patří k nejpoužívanějším metodám v automobilovém průmyslu, zdravotnické technice, elektrotechnice a dalších odvětvích strojírenství. [1]

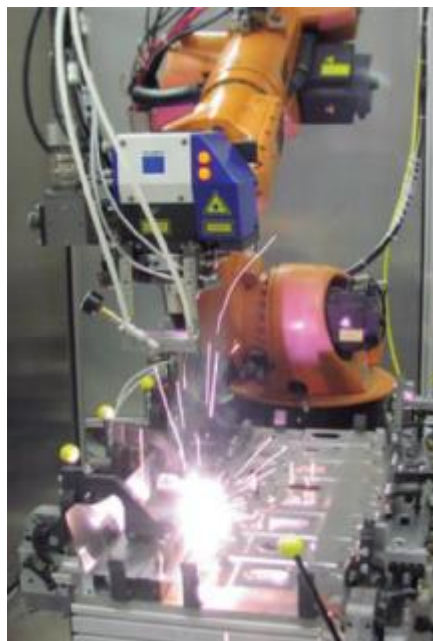
Metoda neklade vysoké nároky na základní materiál. Je použitelná na většinu slitin s nízkou elektrickou vodivostí. Vynikající jsou nerezavějící oceli, které jsou laserem svařitelné bez tvorby pórů a nízkouhlíkové oceli s minimálním podílem znečišťujících příměsí a síry. Technologie je použitelná i na méně časté materiály jako jsou slitiny titanu, platiny, chromu, zlata, niklu, zirkonu. Obtížněji svařitelné materiály jsou oceli s velkým množstvím legur, které vyžadují předběžnou či následnou povrchovou úpravu. Mezi laserem nesvařitelné materiály patří mosazi, galvanické slitiny a zinek. [2]

Svařování laserem nevyužívá přídavného materiálu. Natavení základního materiálu se děje pomocí soustředěného laserového paprsku, který lokálně nataví materiál, jehož ztuhnutím se vytvoří svar. Různou intenzitou paprsku je nastavována teplota procesu tak, aby vyhovovala požadavkům materiálu a následnému použití soustavy. Průměr paprsku je velice malý, takže tepelně ovlivněná oblast je minimální. Vznikají tedy minimální nechtěná pnutí a svar je kvalitní. Svařovací roboti jsou schopni vysokého stupně přesnosti a opakovatelnosti svarů, proto je tato metoda používána především na sériových výrobcích. Další z výhod je rychlost, která je mnohonásobně vyšší než u konvenčních metod svařování. Kombinace těchto vlastností zajišťuje laseru přední pozice mezi nejpoužívanějšími metodami svařování v sériové výrobě. [2] [3]

Slabiny svařování laserem spočívají ve vysoké citlivosti na čistotu svarových ploch. Mazivo, či nečistoty mezi díly mohou způsobit vady svaru, které nelze vizuálně detekovat. K odhalení těchto defektů bývá využíváno mnoho metod destruktivních i nedestruktivních testů. Špatný svar může být způsoben mnoha faktory. Zašpiněné ochranné sklo (chrání hlavu laseru proti kapkám roztaveného materiálu) způsobuje absorpci či rozptyl laserového paprsku a tím nedokonalé zacílení a nízkou intenzitu paprsku. Nedosednutí spojovaných součástí způsobuje nedostatečný průvar nebo velký propad. [2]

Při svařování je paprsek optikou zaostřen do ohniska s průměrem do 0,5 mm², tím stoupne koncentrace výkonu až na 1000 GW/cm². Po dopadu na materiál dochází působením vysoké teploty k natavení a vytváří se svarová lázeň, která v krátkém okamžiku tuhne a vytváří svar. Tavná lázeň je chráněna ochrannou atmosférou složenou hlavně z argonu, dusíku či helia. Vedlejším efektem je lokální odpařování materiálu, který tvoří páry, rozptyluje se nad povrchem svaru a brání dalšímu průchodu paprsku. Proto jsou ve svařovacích robotech umístěny trysky na odfuk těchto par z místa svaru, které současně zmenšují množství nečistot usazovaných na ochranném skle. [2] [3]

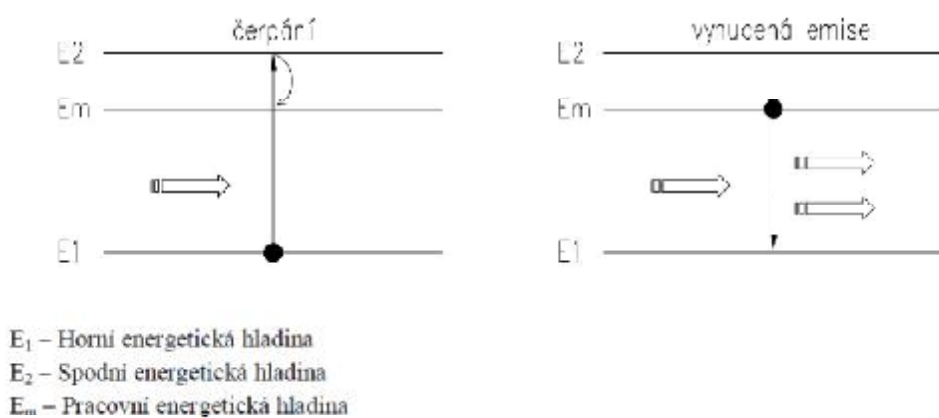
Laserový svařovací stroj se skládá z generátoru laserového paprsku, kde vzniká samotný paprsek. Ten je zintenzivňován v rezonátoru a dále veden přes řadu zrcadel a optických kabelů do svařovací hlavy. Na pracovním stole jsou držadla na



Obrázek 1: Hlava svařovacího robota [18]

pevné upnutí svařovaných součástí. Laserové svařování je na něj velice citlivé, proto upínání součástí často dělá robot, aby se zabránilo nedosednutí svarových ploch a následnému průvaru. Pro jistotu kvalitního paprsku jsou do optické cesty umísťované senzory intenzity, které v případě odchylky stroj zastaví. [4] [5]

Light of Amplification by Stimulated Emission of Radiation (zesílení světla stimulovanou emisí) neboli zkratkou laser je koherentní monochromatický paprsek světla vzniklý stimulovanou emisí. Podstatou laseru je nucený přechod (excitace) elektronů z nižší energetické hladiny (E_1) na vyšší energetickou hladinu (E_2). Tím se vytvoří nerovnovážný stav a vzniká aktivní prostředí tzn. množina částic, která má schopnost generovat laserový paprsek. Z hladiny E_2 přechází elektron na pracovní hladinu E_m , která se nachází mezi hladinami E_1 a E_2 . Tím je docíleno nerovnováhy mezi pracovní a dolní hladinou, čímž vzniká aktivní prostředí. Elektrony potom samovolně přecházejí z pracovní hladiny na hladinu dolní za vyzáření fotonu, který je základem pro laserový paprsek. [4] [6] [7]

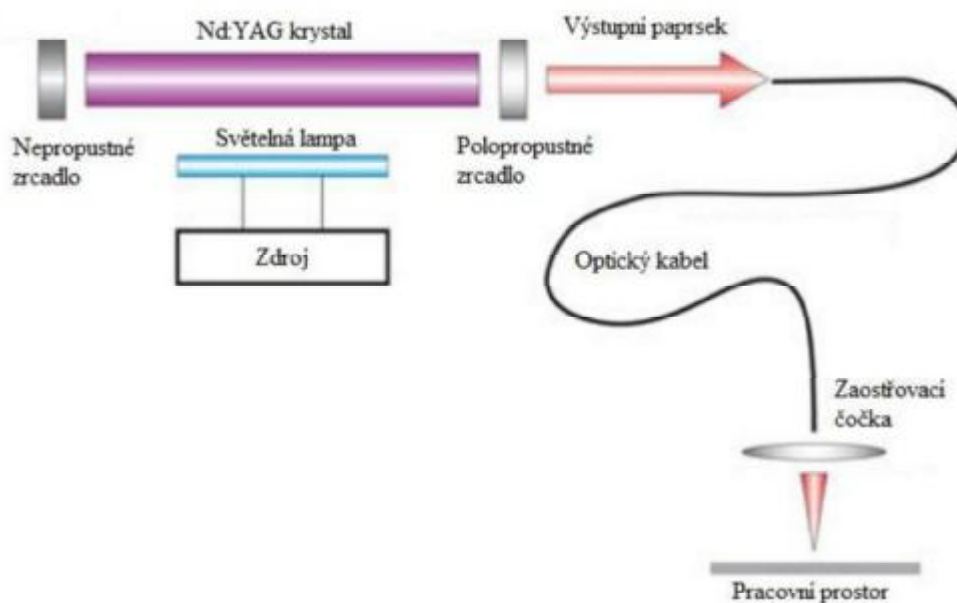


Obrázek 2: Schéma tří energetických hladin [4]

2.1. Druhy laserů

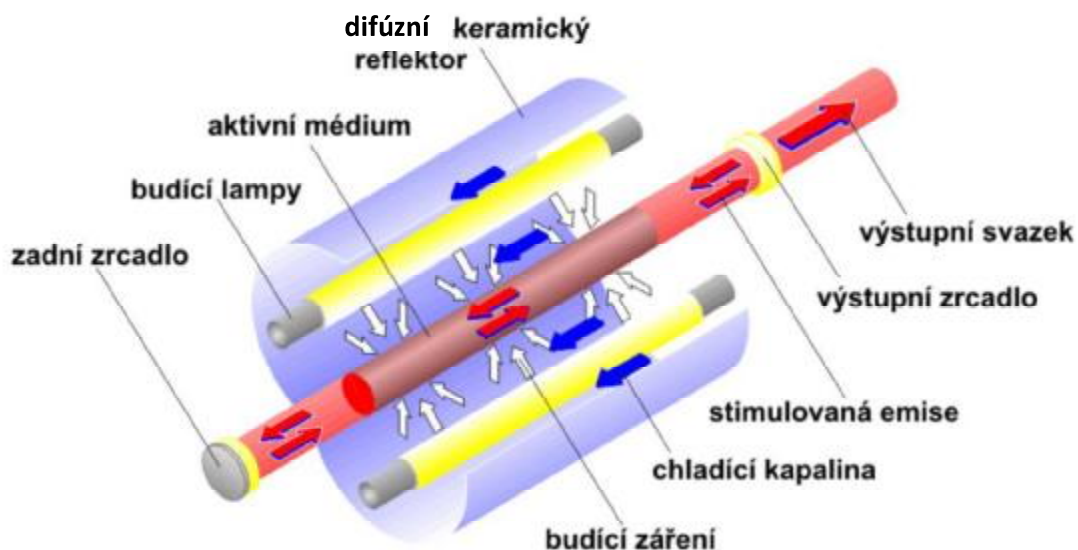
Je známo mnoho druhů laserů, které se liší způsobem vzniku paprsku i jeho vlastnostmi. Lze je dělit do skupin podle aktivního prostředí, ve kterém paprsek vzniká, podle typu buzení a podle vlnových délek. [7] [8]

Tam, kde je aktivní prostředí tvořeno pevnou látkou, se hovoří o pevnolátkových laserech. Paprsek se tvoří v krystalických nebo amorfních látkách s příměsí iontů. Lasery tohoto typu mají nízké účinnosti, pohybují se mezi 2-5 % a výkon dosahuje hodnot okolo 6 kW. Vlnové délky takto vzniklého paprsku se pohybují v rozmezí vlnových délek infračerveného světla až k hranici světla viditelného. Jejich výhodou je stabilita a lehká udržitelnost. Pevnolátkové lasery se skládají z laserové hlavice, kde se nachází aktivní materiál s budícími částicemi. Paprsek dále pokračuje do rezonátoru, který zvyšuje intenzitu světla. Mezi nejčastější druhy patří rubínové lasery, kde je aktivní prostředí tvořeno syntetickým rubínem. Tyto typy laserů jsou užívány v chirurgii, strojírenství či spektroskopii. [7] [8] [9] [10] [11] [12]



Obrázek 3: Schéma pevnolátkového YAG laseru [11]

Jsou-li aktivním materiálem molekuly či částice plynu, tak se jedná o plynové lasery. K excitaci dochází průchodem elektrického výboje molekulami plynu, či méně často optickou excitací, což znamená buzení světelným paprskem. Účinnost těchto laserů se pohybuje mezi 10-15 %. Vlnové délky se pohybují okolo 10 μm . Plynové lasery mají vynikající parametry, ale nemají velký výkon. Excitace probíhá ve zředěném plynu, kde elektrický výboj či světelný paprsek dodá energii k excitaci. Dále paprsek pokračuje do rezonátoru, kde se zvyšuje jeho intenzita. Aktivní prostředí může tvořit mnoho plynů, nejnámějším a nejrozšířenějším představitelem této skupiny je CO_2 laser. Ten se používá ve strojírenství a medicíně. Dále může být aktivní prostředí tvořeno plyny jako jsou dusík, či helium. Do této skupiny lze zařadit i laser, který tvoří ultrafialové záření a aktivní prostředí tvoří směs vzácných plynů, nazývá se excimerový laser. [7] [9] [10] [12]



Obrázek 4: Schéma plynového CO₂ laseru [13]

Kapalinové lasery mají jako aktivní prostředí roztoky organických barviv. Rozsah vlnových délek je zde velký (300 nm až 1500 nm), proto mají nejvyšší využití ve spektroskopii. Těmto laserům nesvědčí působení tepla a světla, které způsobuje rozklad aktivního prostředí. [7] [10] [12] [13]

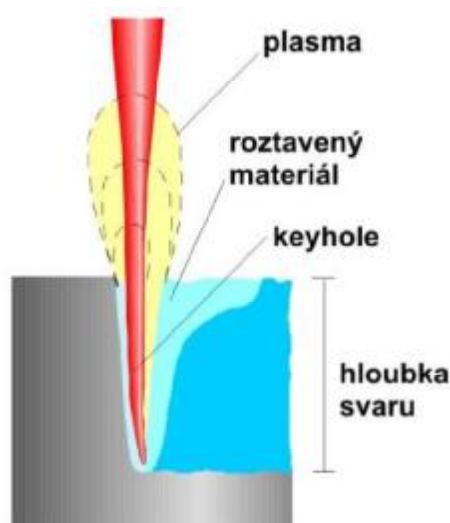
Poslední skupinou jsou polovodičové lasery, kde je paprsek tvořen pomocí laserové diody. Ta má malé rozměry, což je na jednu stranu výhodné, ale na druhou stranu to způsobuje velkou rozbíhavost. Dalšími výhodami jsou vysoká účinnost, která se přibližuje až k 50 %, a snadná ovladatelnost výkonu pomocí změny elektrického proudu. Polovodičové lasery jsou využívány ve strojírenství (polovodičový laser buzený svazkem elektronů a injekční polovodičový laser buzený elektrickým polem se používají na svařování) telekomunikacích, výpočetní či spotřební elektrotechnice. [7] [10] [12] [13]

2.2. Princip svařování

Princip svařování laserem spočívá v natavení materiálu, který následně vytvoří svar. Možnost regulovat výkon laseru přináší možnost spojovat materiál na povrchu nebo natavit velké množství materiálu za vzniku hlubokých svarů. Po zaměření velké plošné hustoty paprsku na malou plochu vznikne hluboký úzký svar, tato metoda se nazývá penetrační. Druhou metodou je kondukční metoda, která spočívá v použití nižší plošné hustoty a tedy ve vytvoření povrchového svaru. Je-li přítomen přídavný materiál, tak se jedná o svařování s přídavným materiálem, v opačném případě o svařování bez přídavného materiálu. [1] [13] [14] [15] [16]

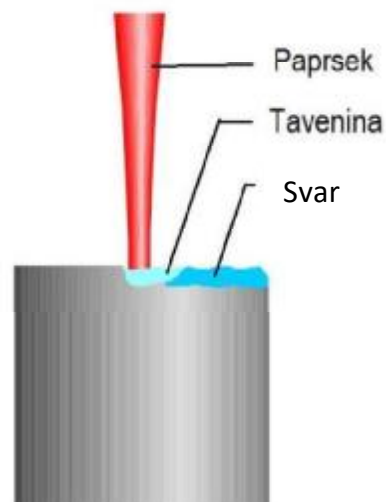
2.3. Laserový paprsek

Hlubkové (penetrační) svařování vyžaduje velkou energii paprsku, která okamžitě natavuje materiál. Rychlost odvodu tepla materiálem není dostatečně velká, a proto v nejbližší oblasti dopadu paprsku dochází k odpařování materiálu a vytváří se dutina, tzv. klíčová dírka (anglicky-keyhole). Dutina je tvořena parami materiálu, které jsou laserem nadále ohřívány, až vznikne plasma. Stěny jsou natavený materiál, který se po vzdálení paprsku slévá a tvoří svar. Paprsek se odráží od stěn dutiny, a tak vniká do stále větší hloubky. To umožňuje tvorbu hlubokých svarů s konstantní, pravidelnou strukturou. Tímto způsobem vznikají svary s desetkrát větší hloubkou než šířkou. Výhodou hlubkového svařování je malá tepelně ovlivněná oblast, vysoká účinnost, rychlost svařování. Není nutnost před svařováním opracovat povrch materiálu a použít přídavný materiál. Tato metoda se hodí ke svařování tlustých materiálů či umožňuje svařit několik vrstev materiálu současně. [1] [13] [14] [15] [16]



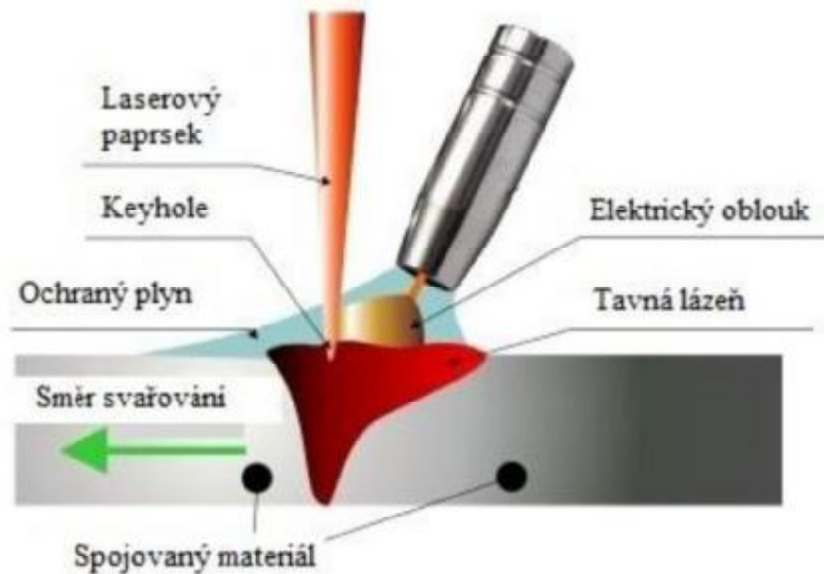
Obrázek 5: Penetrační svařování [13]

Při kondukčním svařování dochází k natavení základního a přídavného materiálu. Teplo dodávané laserem se odvádí materiálem bez jeho odpařování. Hustota energetického výkonu je nižší než u hlubkového svařování (méně než 10^6 Wcm^{-2}) a šířka svaru je menší než hloubka. Hloubka je dána vodivostí materiálu, pohybuje se řádově v desetinách milimetru. Pokud není teplo dostatečně odváděno materiálem, dochází k odpařování materiálu, což způsobí rychlý nárůst hloubky svaru a tím pádem přechod k penetračnímu svařování. Svar má typický čočkovitý tvar, který se už dále nemusí opracovávat. Používá se nejčastěji u tenkých plechů na viditelných místech. [1] [13] [14] [15] [16]



Obrázek 6: Kondukční svařování [13]

Ve spojení s různými typy laserů je nutno zmínit hybridní svařování. Jedná se o metodu, která využívá jak laseru, tak i jiné metody např. MIG, MAG, WIG nebo plasmové svařování. Hybridní metoda využívá vlastnosti každé technologie. Pokud u laserového svařování nelze dosáhnout dostatečného průvaru, lze připojit například metodu MIG, která k dobrým vlastnostem laseru pomůže materiál provařit. Tímto způsobem se svařují plechy tloušťky 2-10 mm. [7] [13] [16]

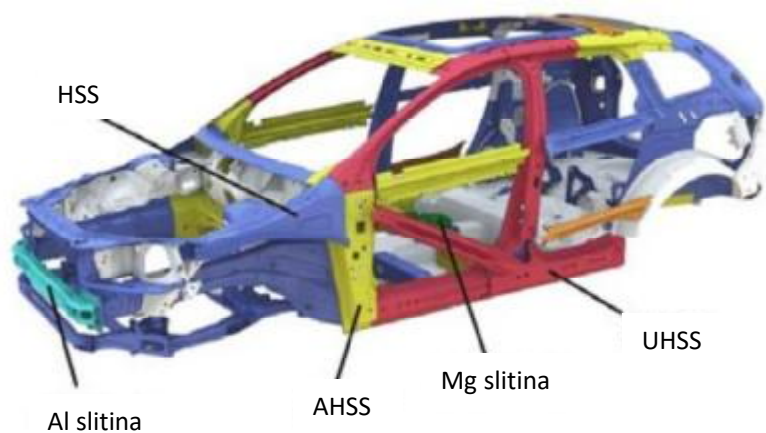


Obrázek 7: Hybridní svařování [42]

2.4. Využití laseru v automobilovém průmyslu

V automobilovém průmyslu je stálá snaha snižovat hmotnost za udržení stejné bezpečnosti. Tento trend způsobuje tlak na vývoj nových materiálů a technologií, které by požadavkům vyhověly. Současně chce zákazník vybírat podle ceny, což podporuje rozmach sériové výroby a specializovaných pracovišť pro různé operace. Požadavky na bezpečnost neustále rostou a výroba se jim musí přizpůsobovat. [17] [18] [19]

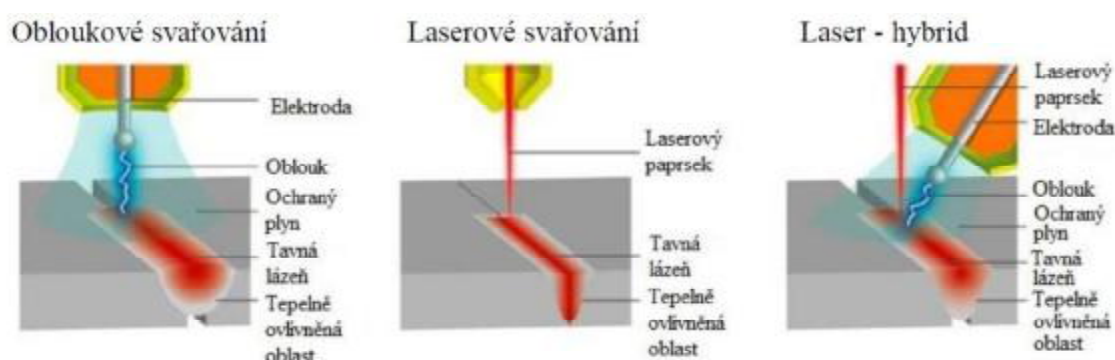
Dřívější karoserie automobilů byly tvořeny jedním druhem oceli, což dalo možnost využívat odporového bodového svařování na téměř celou karoserii, což dřívějším podmínkám dokonale vyhovovalo. Tendence snižovat hmotnost vedly k tomu, že se karoserie vyrábí



Obrázek 8: Příklad současně karosérie- Volvo XC60 [19]

z různých materiálů. Každý materiál má jiné vlastnosti, aby co nejlépe plnil svůj účel-bezpečnost posádky automobilu v případě nehody. Některé části vyžadují pevnost, jiné schopnost akumulovat energii nárazu. Proto se musely změnit i metody svařování, aby kvalita spojů zůstala zachována. Obloukovým svařováním se těžko svařují vysokopevné ocele a heterogenní spoje. Proto nastupuje laserové svařování, kterým je možno svařovat různé typy materiálů. Další obrovskou výhodou je opakovatelnost procesu, což podporuje sériovost výroby. Laserové svařování je automatizovatelné a velmi rychlé, takže pro automobilový průmysl je to nejvhodnější druh svařování. [17] [18] [19]

Dále se používají hybridní druhy svařování jako je např. kombinace s obloukovým svařováním. Kostra automobilu je často povrchově upravena, pozinkována. Po dopadu laseru na pozinkovaný materiál dochází k jeho odtavování a následně vypařování, páry pak brání průchodu laseru a ve svaru vznikají póry. Tento nechtěný jev je potlačen přidáním elektrického oblouku, který vrstvu zinku natavením odstraní a tím se páry nedostanou do svaru. [20] [21]



Obrázek 9: Rozdíl svařovacích metod [21]

Další pokrok a využitelnost brzdí vývoj kvalitnějších paprsků laserů. Za posledních 5 let se účinnost laserů téměř zdvojnásobila. Pokrok je ovšem stále pomalý ve srovnání s rychlostí rozvoje v automobilovém průmyslu. Výhodnější postavení má proto laserové řezání, které pokrývá potřeby výroby bez větších problémů. [17] [18]

Typická místa využití laserového svařování jsou kostra automobilu, autosedačky, boční dveře. Všude se využívá pevnosti laserových svarů, která zvyšuje tuhost celé sestavy bez použití přírub, což vede ke snížení hmotnosti. [17] [18] [19]



Obrázek 10: Dveře automobilu svařené laserem [21]

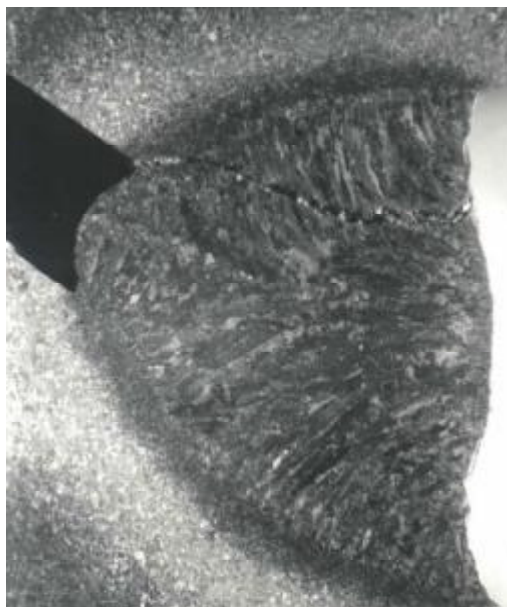
3. Vady svarů

Vady ve svarech čili defekty jsou odchylky od předepsaných vlastností svaru. Jsou předepsány smluvním vzorkem, technickými podmínkami nebo technickou normou. Technická norma ve třech kategoriích udává přípustnost svarů (D-nízký stupeň jakosti, C-střední, B-vysoký). Druh svaru je do kategorie zařazen podle použití a bezpečnosti, kterým musí vyhovovat. Vady jsou nebezpečné vznikem míst s větší koncentrací napětí, které způsobují zhoršené vlastnosti a v krajním případě mohou způsobit i lom. Druhy vad jsou sledovány i podle metody svařování a svařovaného materiálu. Norma věnující se svarům vytvořených laserem je označena ČSN EN ISO 13919-1: Svařování-svary zhotovené elektronovým a laserovým svařováním – Směrnice pro určování stupňů jakosti – Část 1: Ocel. [5] [22] [23]

Příčiny vzniku svarových vad jsou různé. Závisí na svařovaném materiálu i druhu svařování. Při laserovém svařování vady vznikají např. nedosednutím svarových ploch na sebe, přítomností maziva mezi svarovými plochami, vysokou nebo nízkou rychlostí posunu paprsku, velkou či malou intenzitou paprsku, přítomností par, které způsobují pohlčení části paprsku, nečistotami či napáleninami materiálu na ochranném skle a mnohým dalším. Pro laserové svařování je typická malá tepelně ovlivněná oblast, z čehož plyne i menší riziko vzniku vnitřních pnutí, které by napomáhaly vzniku vad. Laser má také menší rozevření úkosu svaru, což vede k rovnoměrnějšímu rozložení napětí. Výsledkem je snížení pnutí v oblasti svaru a jeho blízkého okolí za předpokladu dobře voleného technologického postupu. [5] [22] [23]

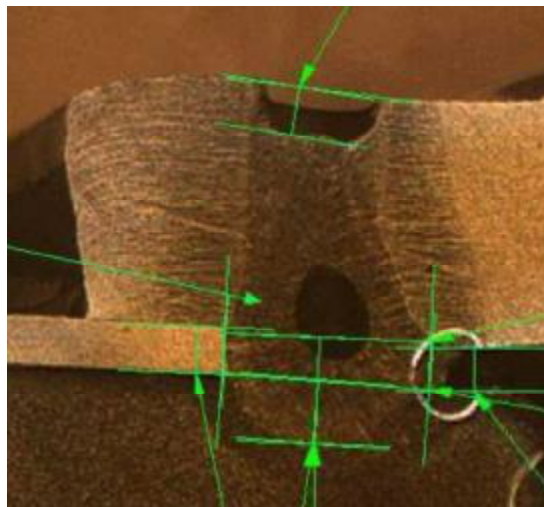
Vady lze dělit na diagnostikovatelné pouhým okem či nikoli. Kontrola prohlédnutím svaru pouhým okem je nazývána vizuální zkouška. Skryté vady jsou takové, k jejichž detekci je třeba různých zkoušek či přístrojů. Vady, které je možno ještě opravit, jsou nazývány opravitelné, v opačném případě neopravitelné. Dalším kritériem dělení je přípustnost. Vady přípustné nevadí funkci součásti, a tudíž jsou pro výrobu a uživatele akceptovatelné. Nepřípustné vady je nutno opravit či se musí celá součást vyhodit. Defekty jsou dále děleny podle polohy výskytu na povrchové a vnitřní, podle tvaru na bodové (sférické vměstky, póry ...), plošné (neprůvary, ...) a prostorové (plynové bubliny a póry, oxidické vměstky, zápaly, vruby, propady, staženiny, nedokonalé průvary). [5] [22] [23]

TRHLINY jsou děleny do několika skupin: studené, žíhací, lamelární a horké. Studené trhliny vznikají nejčastěji po dokončení svařování působením vodíku při teplotách pod 300°C. Žíhací trhliny se vytváří působením napětí, které je způsobeno velkým teplotním rozdílem povrchu a vnitřku svaru při dolních teplotách žíhání. Lamelární trhliny vznikají v základním materiálu i v tepelně ovlivněné oblasti při vyšších teplotách. Jejich původ je v místě nečistot. Za vznik horkých trhlín může chemické složení základního materiálu (vysoké procento uhlíku, síry a dalších legur). Poddruhem horkých trhlín jsou kráterové trhliny, které vznikají náhlým ukončením svařování (rychlé stahování materiálu). Pro všechny jakosti dle normy 13919-1 jsou trhliny nepřípustné. [23] [24] [25]



Obrázek 11: Horká trhlina [23]

PLYNOVÉ DUTINY (pořadové číslo dle ISO 6520: 200) jsou plynové kapsy kulovitěho nebo protáhlého tvaru. Jedná se o skryté prostorové vady, které lze odhalit přístroji. Jsou způsobeny nečistotami na svařovaném materiálu, vlhkostí plynu, rychlým tuhnutím kovu, nebo velkou rychlostí svařování. Pro stupeň jakosti D je přípustný největší rozměr vady $\leq 0,5$ tloušťky. Pro C je přípustný největší rozměr menší jak 40 % tloušťky svařovaného materiálu nebo do velikosti 3 mm. Pro jakost B je přijatelný největší rozměr dutiny do $0,3 \times$ tloušťka materiálu anebo délka dutiny nesmí překročit velikost 2 mm. Dutiny se mohou sdružovat a tvořit shluky a řádky. Ovlivněná délka svaru musí být pro jakost D menší než $2 \times$ tloušťka materiálu, jakost C a B musí být menší než $1 \times$ tloušťka materiálu. [23] [24]



Obrázek 12: Plynová dutina [37]

VMĚSTKY = INKLUZE (pořadové číslo dle ISO 6520: 300) je možno rozdělit na vměstky struskové, které jsou způsobeny přítomností strusky mezi jednotlivými vrstvami svaru, vměstky oxidické, které vznikají nedokonalým čištěním povrchu např. od rzi, a kovové vměstky, které vznikají vysokými proudy, porušením plynové ochrany nebo dotykem netavné wolframové elektrody s tavnou lázní. Dle normy ČSN EN ISO 13919-1 jsou vměstky nepřijatelné. [23] [24]

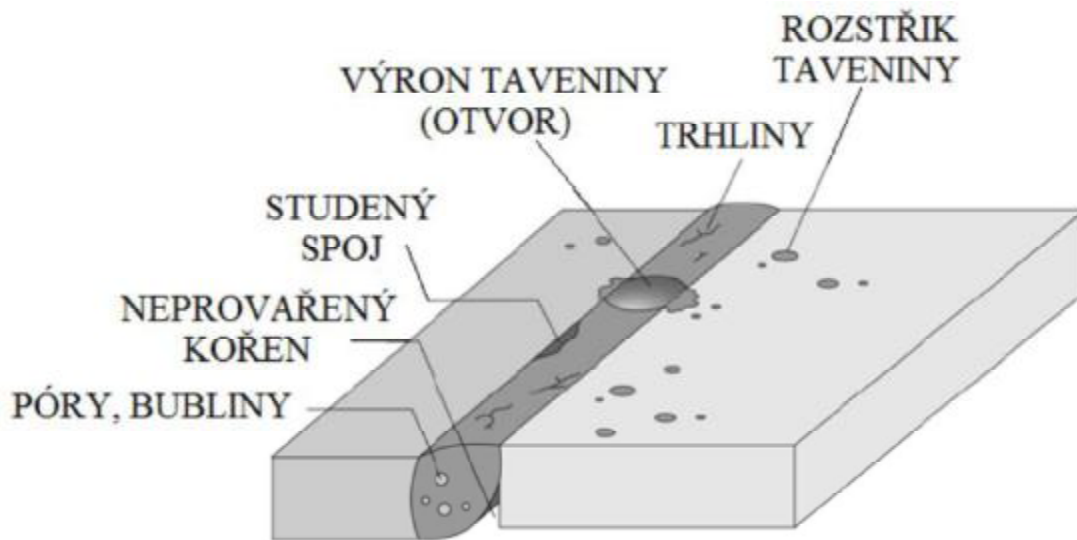
STUDENÉ SPOJE (pořadové číslo dle ISO 6520: 401) mají původ ve špatně nataveném spojení svarového kovu a základního materiálu, což je způsobeno nesprávnou volbou teploty a rychlosti svařování. Pro jakost D je studený spoj přípustný do velikosti $0,15 \times$ tloušťka materiálu nebo do velikosti 1 mm. Pro vyšší jakosti jsou studené spoje nepřijatelné. [23] [24]

NEPROVAŘENÝ KOŘEN (pořadové číslo dle ISO 6520: 402) je nedostatečné roztavení materiálu, které způsobí, že svar nezasahuje do požadované hloubky. Jeho příčinou je nevhodná volba parametrů svařování, či snížením intenzity paprsku při laserovém svařování (přítomnost par kovu, špinavé sklíčko). Přípustnost se liší podle tvaru svařovaných ploch. [23] [24]

ZÁPALY (pořadové číslo dle ISO 6520: 5011, 5012) jsou natavená prohloubení na krajích svaru v základním materiálu. Nejčastější výskyt je u koutových svarů, nebo zvolen velký svařovací proud, případně nevhodný průměr elektrody. Pro jakost D jsou přípustné zápaly menší než $0,15$ tloušťky materiálu nebo menší než 1 mm, pro jakost C menší než $0,1$ tloušťky materiálu (nebo 0,5 mm) a pro B menší než $0,05$ tloušťky (nebo 0,5 mm). [23] [24]

Dalšími vadami jsou NADMĚRNĚ PROPADLÝ KOŘEN (504), PROLÁKLÝ SVAR (509), PROHLoubENÝ POVRCH SVARU (511). Všechny vady jsou dány nevhodnou volbou podmínek při svařování. Přípustnost se liší dle kategorie jakosti. [23] [24]

ROZSTŘÍK (pořadové číslo dle ISO 6520: 602) jsou ztuhlé kapky materiálu, který byl v průběhu svařování rozstříknut do okolí svaru. Vzniká v důsledku rychlého nástupu vysoké teploty, která může být způsobena především nevhodnou volbou parametrů. Přijatelnost se určuje podle užití součásti a kapky rozstříku musí být stejného složení jako základní materiál. [23] [24]



Obrázek 13: Vnější a vnitřní vady při svařování laserem [25]

4. Nedestruktivní zkoušky svarů

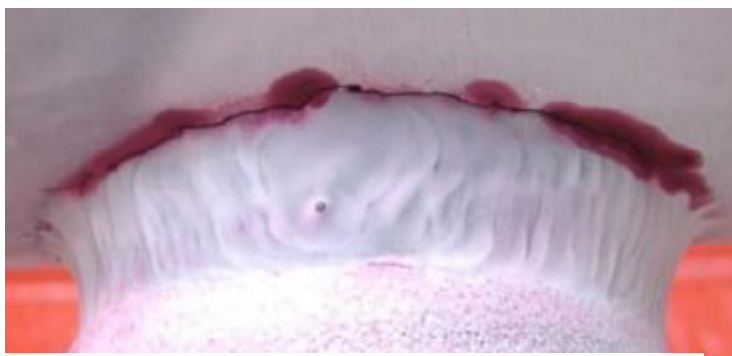
Nedestruktivní zkoušky jsou kontroly, při kterých nedochází ke zničení součásti, což vede k častějšímu využití těchto zkoušek. Vlastnosti jako jsou pevnost, odolnost proti cyklickému namáhání, plastické vlastnosti nelze z nedestruktivních zkoušek s jistotou určit. Proto nedílnou součástí zkoušek bývají destruktivní testy, které se na tyto vlastnosti zaměřují. Nedestruktivní zkoušky jsou děleny podle hodnoceného místa na kontroly povrchových a vnitřních vad. [26] [27] [28]

4.1. Kontroly povrchových vad

Mezi kontroly povrchových vad patří vizuální, penetrační (kapilární) a magnetické práškové zkoušky. Kontrolují se povrchové vady jako jsou rozstříky, neprovařené kořeny, studené spoje, trhliny a další. [26] [27] [28]

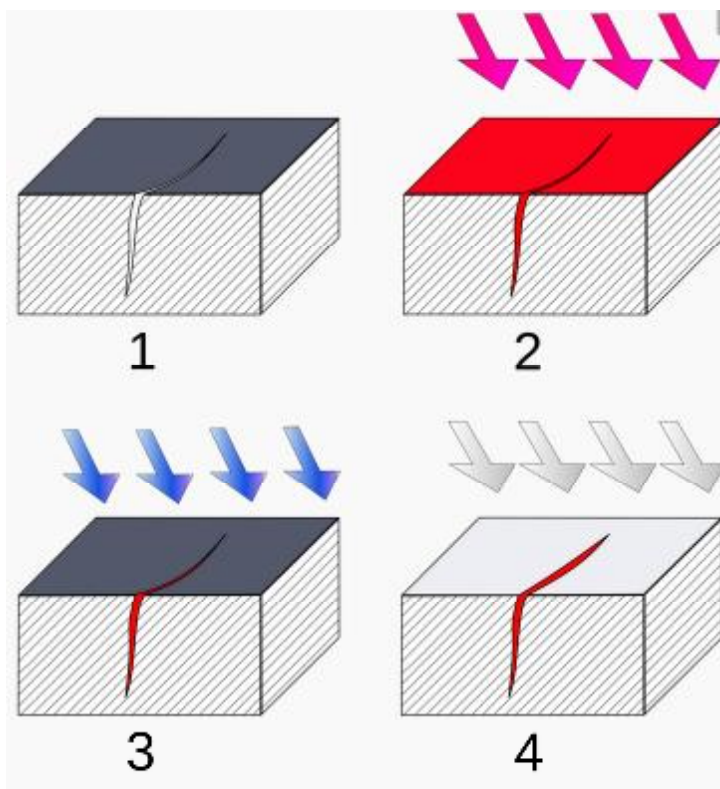
VIZUÁLNÍ KONTROLA patří mezi nejjednodušší zkoušky. Spočívá v prohlédnutí svaru okem či nepřímo, pomocí optických přístrojů jako jsou kamery, periskopy, endoskopy atd. Důležité je, aby při provádění zkoušky bylo dostatečné světlo a kontrolor měl dobrý zrak. Touto metodou se zjišťují vady jako jsou zápaly, trhliny, převýšené svary, rozstříky... Kontrolu pouhým okem je snadné provádět za výrobního provozu, proto se běžně provádí ve většině strojírenských závodů. [26] [28]

PENETRAČNÍ METODA je o něco složitější než vizuální. K odkrytí vad se používá penetračních přípravků, které se dostanou do všech povrchových vad či vad ústících na povrch, jako jsou studené spoje, póry, trhliny... a barevně je zvýrazní. Rozeznatelné jsou pouze povrchové vady. Vady pod povrchem, či vady uzavřené musí být kontrolovány



Obrázek 14: Penetrační metoda [29]

zkouškami vnitřních vad. Vady jsou po zvýraznění snadno detekovatelné okem nebo optickými přístroji. Penetrační metody využívají vlastností kapilárně aktivních kapalin, které dobře pronikají do vad a zvýrazňují je. Nejprve musí být povrch součásti dokonale umyt, odmaštěn a osušen (všechno mazivo a nečistoty musí být odstraněny), dále je nanese (nastříkána) penetrační kapalina a nechá se chvíli působit (pro dosažení lepší zabíhavosti zkušební kapaliny se připojuje vývojka). Doba působení se pohybuje v desítkách minut, za tuto dobu se penetrant (penetrační kapalina) dostane do všech vad. Následně se umyje povrch svaru od přebytečného penetrantu a nanese se vývojka, která je kontrastní k penetrantu. Penetrant vzlíná na vývojce a způsobuje zabarvení vad, které jsou dále vyhodnocovány. Vyhodnocení může probíhat za běžných vizuálních podmínek (metoda barevné indikace) nebo ozáření ultrafialovým světlem (metoda fluorescenční). Jako zkušební kapalina se používá i olej a petrolej, které nechávají mastné skvrny na povrchu. Penetrační zkoušku popisuje norma ČSN EN ISO 571-1. [26] [28] [29]

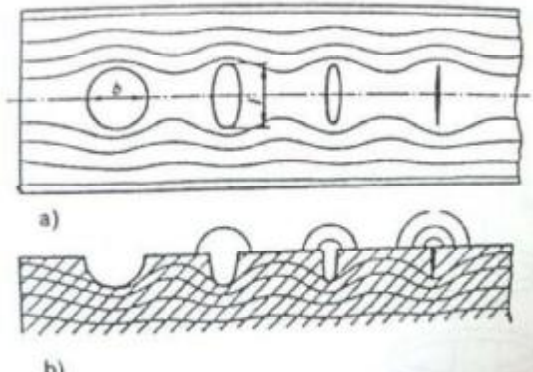


POSTUP KAPILÁRNÍ ZKOUŠKY

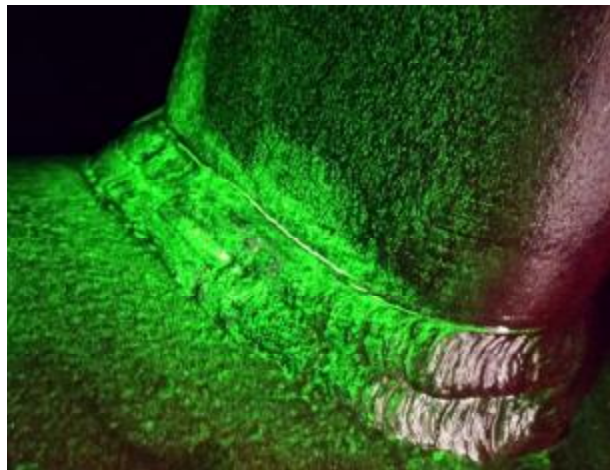
- 1) povrch součásti před začátkem zkoušky
- 2) nanesení penetrantu a vyčkáání dané doby
- 3) odstranění penetrantu
- 4) nasypání nebo nastříkání práškové vývojky a následné zviditelnění vady. [29]

Obrázek 15: Postup penetrační zkoušky [29]

MAGNETICKÁ PRÁŠKOVÁ ZKOUŠKA je rychlá metoda používaná k detekci povrchových a těsně podpovrchových vad (2-3 mm hluboko), které nemusí být s povrchem spojeny. Maximálně mohou být však 10 mm hluboké. Metodou lze pozorovat vady od šířky několik tisíc milimetrů. Je použitelná pouze na feromagnetické materiály (materiály, které jsou přitahovány magnetem, např. železo, kobalt, nikl a jejich slitiny). Metoda funguje na základě rozptylových polí. Magnetické pole v místě vady vystoupí na povrch a siločáry je možno zviditelnit vhodným prostředkem, jakým je magnetický prášek. Zkoušená součást je zmagnetizována stejnosměrným nebo střídavým proudem, či elektromagnetem, na povrch se nasype magnetický suchý prášek, nebo se ponoří do roztoku suspenze magnetického prášku. Prášek začne kopírovat siločáry, v místě, kde jsou blíže u sebe, se nachází vada. Prášek se volí kontrastní k materiálu zkoušeného tělesa, nebo je používán i prášek fluorescenční. Střídavý proud se používá hlavně na detekci povrchových vad. Je to dáno tím, že při magnetizaci probíhají siločáry blíže povrchu. Zmagnetizování stejnosměrným proudem se používá pro těsně podpovrchové vady. Zkoušená součást je rovnoměrně zmagnetizována v celém průřezu, což zajistí možnost zviditelnit i podpovrchové vady. Negativem je, že v součásti zůstává zbytkový magnetismus, který by mohl vadit při dalších technologických postupech, nebo by mohl snížit životnost součástí. Směr průtoku proudu součástí je volen podle očekávané orientace vad. Problematičnost zkoušky spočívá i v nutnosti správného nastavení intenzity použitého magnetického toku, správného prášku, na což existují různé měřicí přístroje nebo kontrolní tělesa. Popis zkoušky a její vyhodnocování upravuje norma ČSN EN ISO 23278. [28] [30] [31]



Obrázek 16: Závislost velikosti rozptylového pole na tvaru vady [28]



Obrázek 17: Zviditelnění vad magnetickou práškovou metodou [43]

4.2. Kontroly vnitřních vad

Mezi nedestruktivní zkoušky vnitřních vad jsou řazeny ultrazvuková zkouška a prozařovací zkouška. Metodami lze odhalit vady, jako jsou plynové dutiny a póry, neprovařený kořen, trhliny. Zkouškami dochází k odhalení defektů v celém objemu tělesa. [27]

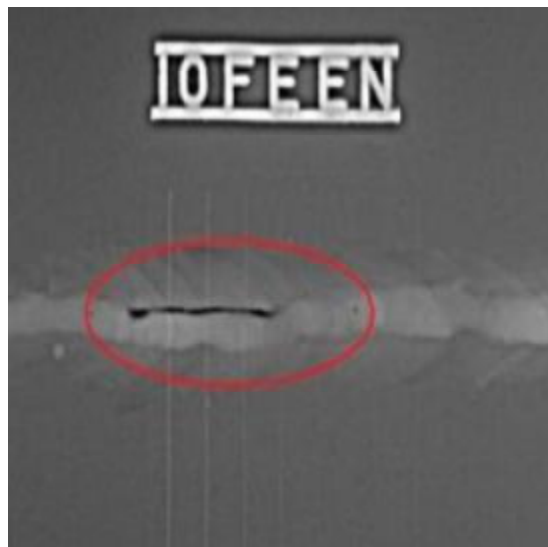
ULTRAZVUKOVÁ ZKOUŠKA spočívá v porovnávání vysílaných a přijímaných ultrazvukových impulzů. Frekvence impulzů se pohybuje mezi 1-10 MHz. Každým prostředím se zvuk šíří jinak rychle a na rozhraní dvou prostředí dochází k částečnému odrazu zvukové vlny. To způsobuje rozdíl mezi vysílaným a přijímaným impulzem. Zkouška se provádí pomocí sond, které jsou spojeny s obrazovkou, kde jsou vidět grafy obou impulzů. Z jejich srovnání se získávají odchylky, které detekují vady. Prokazatelné vady

jsou jen takové, které mají příčné rozměry větší než je polovina délky vlny, proto mají přístroje nastavitelné frekvence, které musí operátor nastavit podle velikosti očekávaných vad. [32] [33] [34]



Obrázek 18: Ultrazvuková zkouška [32]

PROZAŘOVACÍ ZKOUŠKA neboli rentgenová zkouška spočívá v prozáření součásti RTG paprskem. Je možno odhalit vnitřní vady jako jsou plynové bubliny, póry či vnitřní trhliny. Metoda je použitelná na všechny materiály (i nekovové materiály). Paprsek prozáří těleso a je zachycen na film (radiogram). Dutiny nepohlcují tak velkou část paprsku jako celistvé části, proto jsou místa s póry a plynovými bublinami na filmu viditelné. Zkouška je popsána normou ČSN EN ISO 1435. [34] [35] [36]



Obrázek 19: Prozařovací zkouška svaru [35]

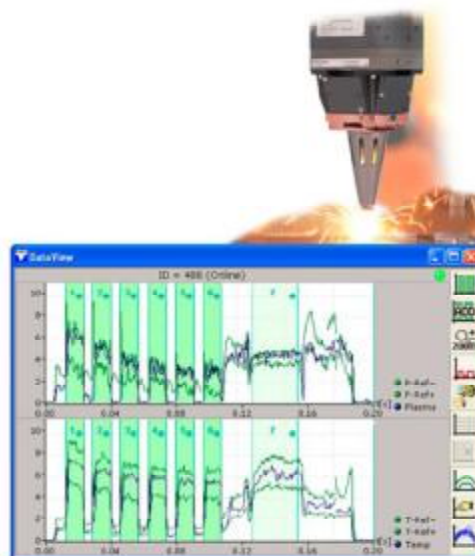
4.3. Monitorování procesu svařování

Dalším druhem nedestruktivních testů je monitorování procesu svařování např. Weld watcher. Testy probíhají již během procesu svařování bez jakéhokoli zdržení výroby. Při testu nedochází k destrukci součásti, ale testy nejsou opakovatelné, proto jsou monitorovací systémy řazeny do speciální skupiny nedestruktivních testů.

5. Weld watcher

Stále se zvyšující nároky na rychlost svařování a kvalitu mají za následek, že se konvenční svařovací metody nahrazují nekonvenčními např. laserovým svařováním. Tato metoda je rychlá a cena za jeden metr svaru je minimální. V průmyslu (strojírenský, automobilový, energetický, elektronický i letecký průmysl) je vyžadována kontrola kvality svarů a její doložení. Běžné destrukční i nedestrukční kontroly podléhají náhodnému výběru vzorků, na kterých je provedena kontrola. Proto vznikl tlak na vývoj technologie, která by byla schopná zkontrolovat všechny kusy, na nevhodné upozornit a podat záznam z testů. [37] [38] [39] [40]

Software Weld watcher provádí kontrolu již při procesu svařování. Zachytitelné jsou různé typy vad a anomálií (póry, neprůvary, propadlé svary, nehomogenita, nepravidelná hloubka a další). Systém pracuje s minimálními náklady, bez nutnosti asistence operátora. Weld watcher snímá tzv. procesní světlo, to je širokopásmové světlo, které je vysíláno částečně ionizovanou kovovou párou, která vzniká při svařování. Toto světlo je měřeno pomocí fotoelektrického snímače,

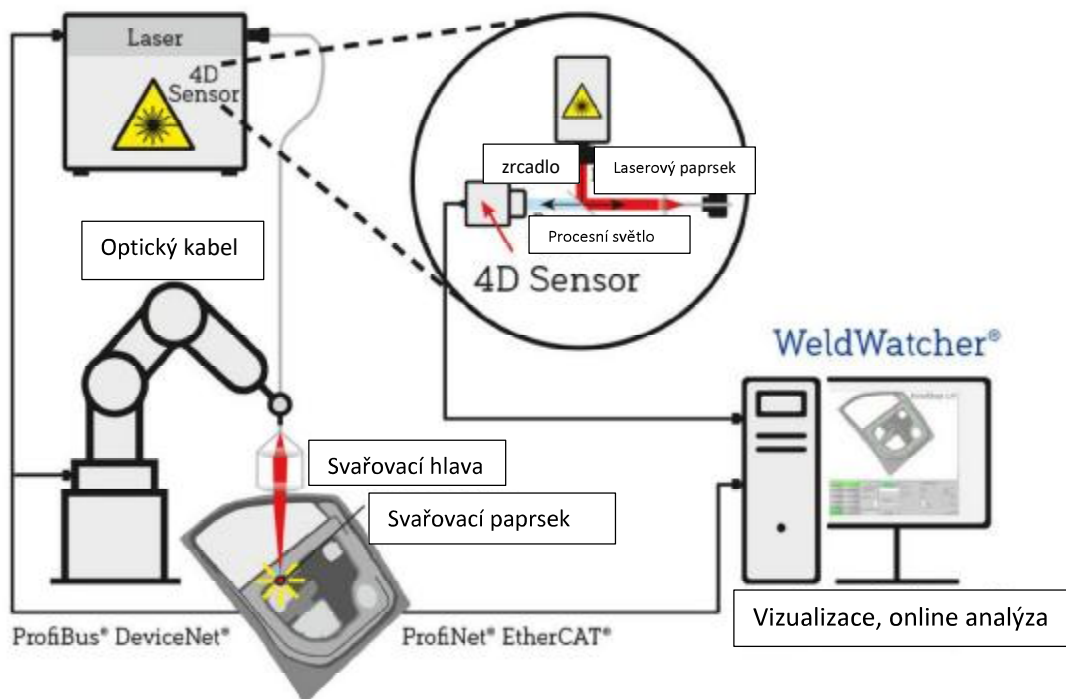


Obrázek 20: Weld watcher [38]

který je umístěn ve zdroji laseru (před rezonátorem). Dochází tedy k proměření hodnot jako jsou hustota toku paprsku, spektrální složky nebo čas. Všechna měření probíhají kontinuálně v čase a jsou ihned porovnávány s přednastavenými hodnotami. [37] [39] [41]

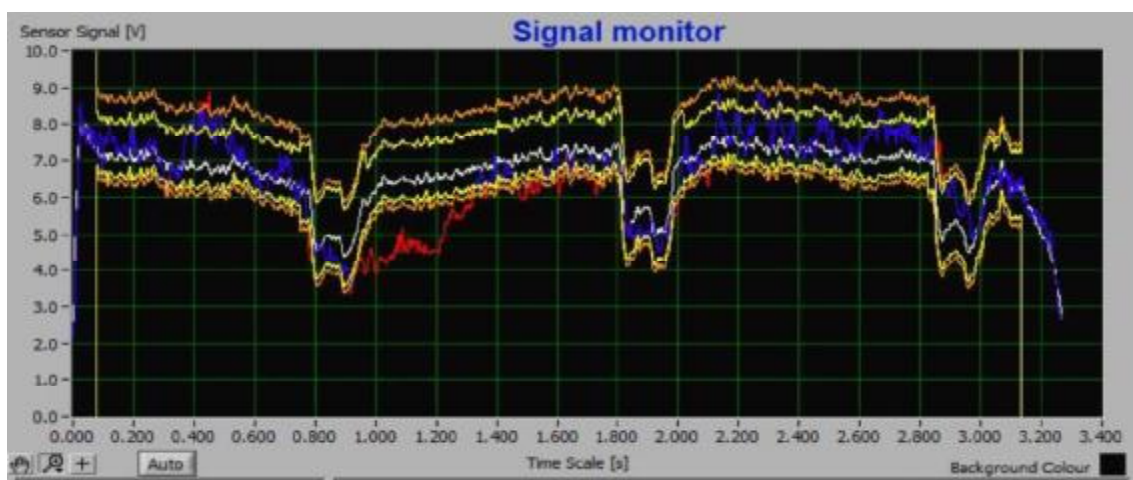
Systém je použitelný pro různé svařovací procesy a různé druhy laserů (polovodičové, diodové a CO₂ lasery). Komunikuje s operačními systémy Windows na běžných průmyslových počítačích, nemá žádné vysoké nároky na hardware. Je možno pracovat v režimu pro sériovou výrobu i v režimu pro laboratorní účely. Lze proměřovat všechny svařovací stanice se společným laserovým zdrojem jediným Weld watcherem. Velkou pomůckou je i při optimalizaci parametrů při nastavování, protože se změny ihned projeví v signálu. Další funkcí je schopnost detekovat a monitorovat čistotu ochranného skla. [37] [39] [41]

Nejsložitější částí procesu je správné nastavení požadovaných hodnot. Volba parametrů a následné odchylky závisí na rychlosti svařování, intenzitě laserového paprsku, výkonu odvodu par, čistotě a čištění ochranného skla, přítomnosti maziva, upevnění součástí... V neposlední řadě volba parametrů vychází z předešlých zkušeností, což poukazuje na delší dobu nastavování. [37] [39] [40] [41]



Obrázek 21: Schéma Weld watcheru. [41]

Weld watcher snímá přes fotoelektrický snímač hustotu toku paprsku. Na obrázku 22 je vyhodnocení laserového svaru. Na vodorovné ose je napětí na fotoelektrickém snímači a na svislé ose je čas, či dráha (zde vzorky). Žluté křivky ohraničují oblast dobrého svaru, oblast mezi žlutou a oranžovou křivkou je oblast varování (při vyžaduje pozornost, ale neznamená špatný svar) a vně oranžových křivek je oblast špatného svaru. Bílá křivka je ideální signál. Modrá křivka je proměřený signál (hustota paprsku), který je vyhodnocován jako dobrý či varování. Červená křivka je naměřený signál, který vybočuje z bezpečných mezí a indikuje špatný svar. [37] [38] [39] [41]



Obrázek 22: Záznam z měření Weld watcheru. [37]

6. Praktická část

Cílem praktické části je otestovat správnost a citlivost nastavení Weld watcheru pro nedestruktivní kontrolu. Testované svary jsou na bočních stranách kovové kostry autosedačky. Jedná se o kruhové svary, na kterých závisí pevnost a funkce celé autosedačky. Kvalita svaru je velmi důležitá, v případě nárazu auta musí svar udržet sedačku i s pasažérem, proto jsou požadavky na kvalitu svaru velmi vysoké a je třeba provádět kontroly.

6.1. Materiál

Kostra posuzovaných autosedaček je z oceli S500NC. Jedná se o uhlíkovou ocel s vyšší mezí kluzu a dobrými vlastnostmi pro tváření za studena. Materiál je dobře svařitelný a vhodný pro povrchové úpravy. Chemické složení a mechanické vlastnosti oceli S500NC jsou uvedeny v tabulce 1 a 2. Obě svařované části jsou ze stejného materiálu a přivařovaný díl má tloušťku 2,5 mm.

Tabulka 1: Chemické složení oceli S500NC

C	Si	Mn	P	S	Al	Nb	Ti
≤0,22	≤0,50	≤1,70	≤0,03	≤0,03	≤0,015	≤0,09	≤0,22

Tabulka 2: Mechanické vlastnosti oceli S500NC

Rp0,2 [Mpa]	Rm [Mpa]	KV [J]	A [%]	Z [%]
≥796	≥928	32	22	24

6.2. Použitý svařovací laser

V závodě Faurecia seating Písek se využívá pevnolátkových laserů YAG. Jedná se o laser, kde aktivní prostředí tvoří krystal yttrium aluminium granát obohacený neodymem. Vlnová délka laseru je 1060 nm a jeho výkon je 6 kW. Rychlost posuvu je nastavena na 50 mm/s, hustota energie se pohybuje kolem 15 kW/mm² při průměru paprsku v ohnisku 0,62-0,67 mm. Pro odfuk par materiálu se používá několik trysek. Využívá se stlačeného vzduchu. Z oblasti svaru je vzduch s parami odfukován tryskami pro lepší stabilitu procesu rychlostí 6 m/s (objemový průtok je 100 l/min), ochranné sklo je pro zabránění dopadu rozstříku chráněno tryskou s výkonem 1000-15000 l/min. I přes odfuk par se na ochranném sklíčku usazuje vrstva prachu, kterou je nutno odstraňovat. Čištění probíhá dvakrát za směnu a na jeho kvalitě závisí úspěšnost svařovacího procesu.

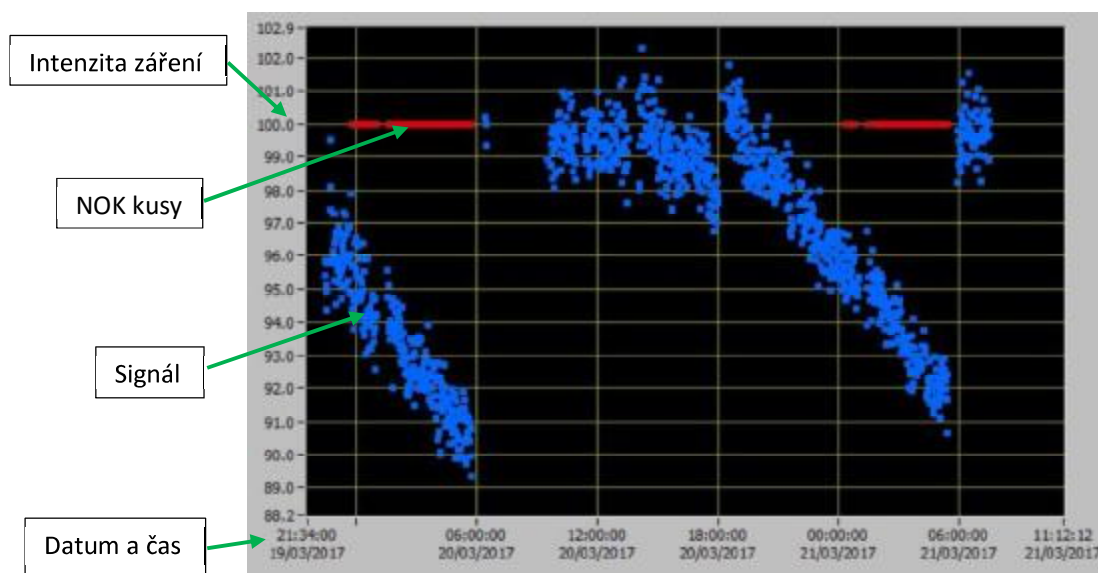


Obrázek 23: hlava svařovacího laseru [37]

6.3. Weld watcher

Weld watcher je zapnutý neustále (na začátku každé směny se kontroluje, zda-li je zapnutý a funkční). V případě nefungování systému se má laser vypnout. Po upevnění dílů do držáků je spuštěn kryt laseru. Dioda (měřící součást Weld watcheru) začne zaznamenávat zvýšenou intenzitu světla, když laser začne svařovat. Zaznamenané hodnoty jsou porovnávány s přednastavenými hodnotami a ihned se vyhodnocuje kvalita svaru. Pokud je svar označen jako špatný, tak je operátor informován a chybný kus je vyřazen. Všechny zaznamenané hodnoty se ukládají do paměti a slouží dále k prověřování a doložení kvality jednotlivých svarů. Weld watcher rozlišuje tři druhy výsledků. První je OK (=dobrý svar), druhý je NOK (=špatný svar) a třetí je varování. Varování jsou hodnoty, které se pohybují již v blízkosti hranic hodnot ukazujících na špatný svar. Opakuje-li se vyhodnocení varování, musí být příčina nalezena a eliminována.

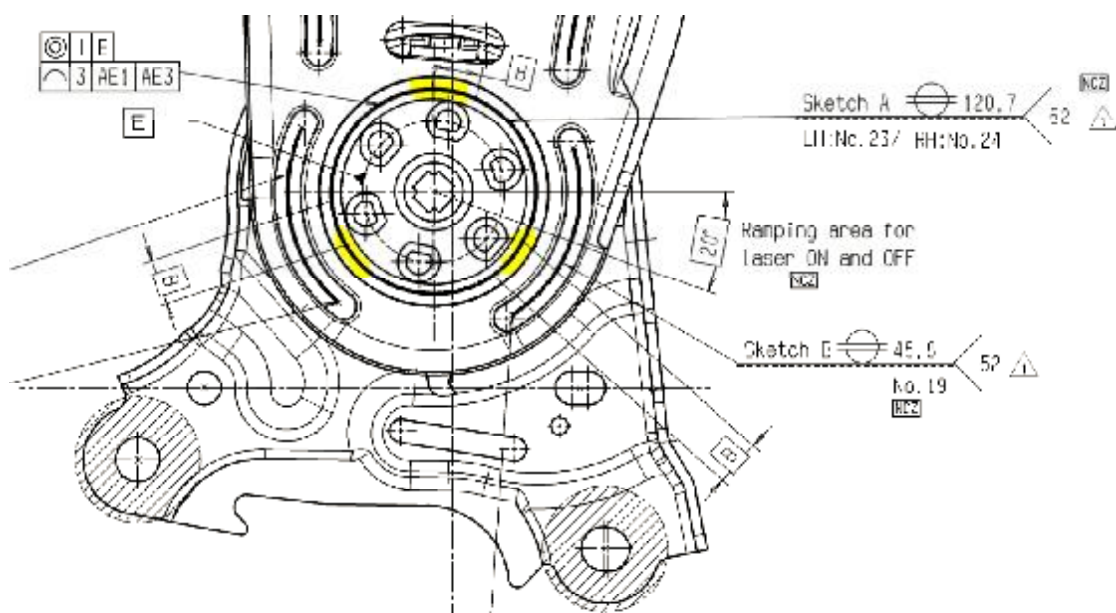
Na obrázku 24 je dokázána důležitost a efektivita čištění skla. Dne 19.3. 22:00 seřizovač nevyčistil sklo a intenzita záření odražených paprsků klesá. Systém téměř okamžitě generuje špatné kusy (červená). 20.3. 22:00 opět seřizovač nevyčistil sklo a signál opět klesá. Systém začíná generovat NOK kusy kolem 00:00. Ve zbytku dne probíhalo čištění správně (signál neklesl).



Obrázek 24: Efektivita čištění skla. Na svislé ose napětí, na vodorovné čas. [37]

6.4. Svar

Testovaným prvkem je kruhový svar o průměru 49 mm, na obrázku 25 je označen číslem 23 pro levou bočnici a 24 pro pravou. Při náběhu paprsku (začátek svařování) není kvalita svaru dobrá, protože intenzita laseru nejprve stoupá, než dosáhne svého maxima. Proto je konec svaru umístěn na 380° od začátku svařování= přesah 20° tím je kritický náběh korigován. Na dolní svařované součásti (polohovací zařízení) se nachází 3 zóny (3x dva kulovité výběžky-pro rychlejší sklápění autosedačky), kde kvalita svaru nehodnotí, protože zde dochází k nedosednutí součástí (na obrázku 25 vyznačeny žlutou barvou). V těchto místech jsou hranice signálu (=reakce na intenzitu odraženého paprsku) Weld watcheru rozšířeny (dolní hranice únosnosti je snížena).



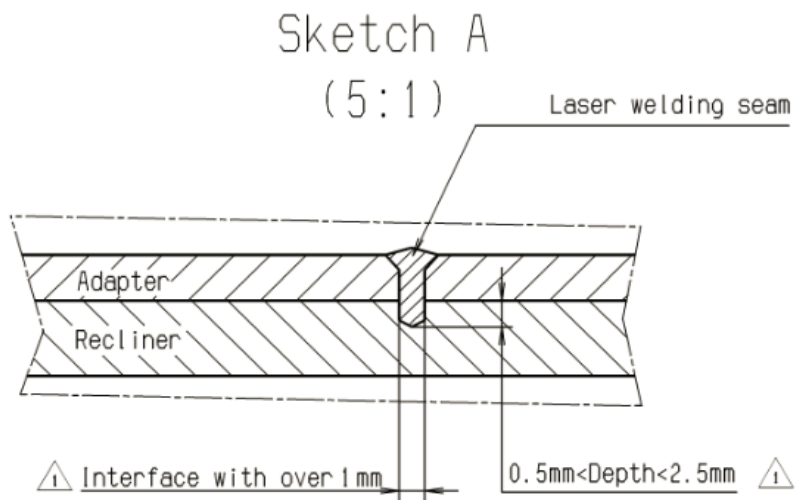
Obrázek 25: Výkres bočnice. [37]



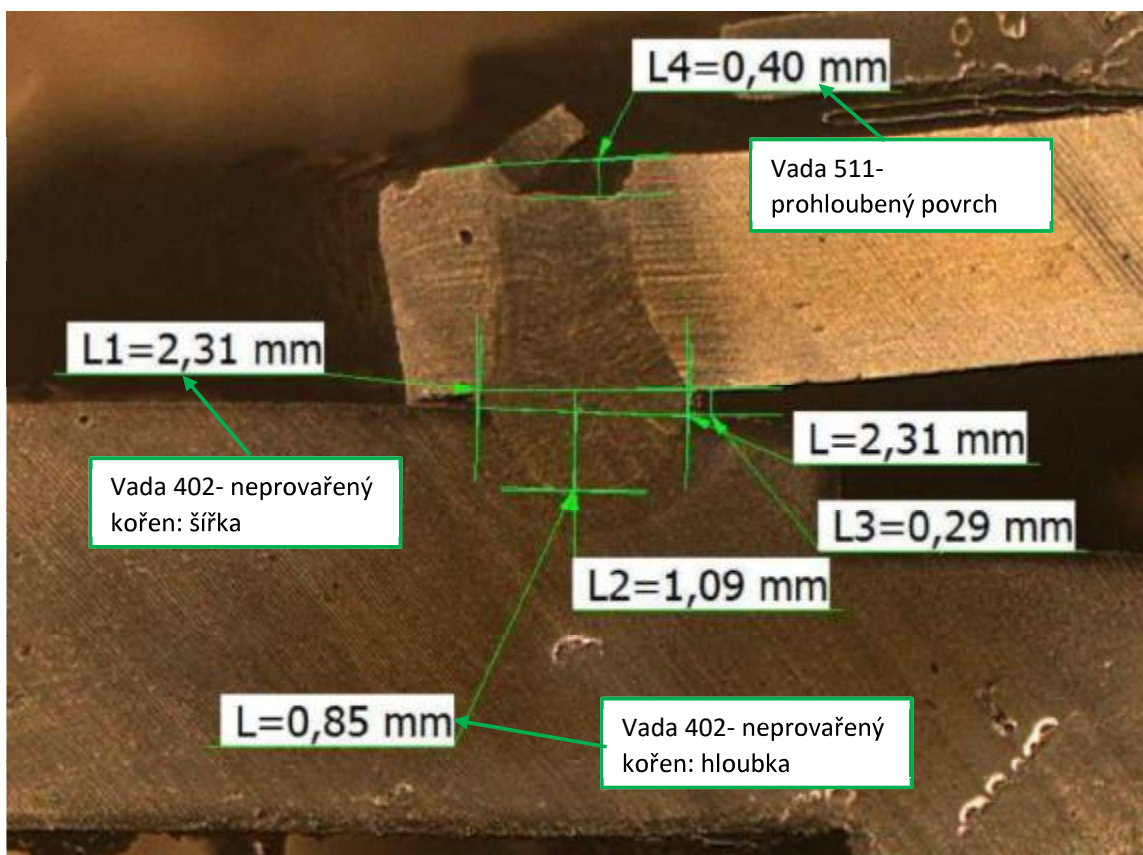
Obrázek 26: horní svařovaný díl [37]

Obrázek 27: dolní svařovaný díl [37]

Kontrola je zaměřena na 2 typy vad, číslo 402 (neprovařený kořen) a 511 (prohloubený povrch svaru). Neprovařený kořen je dán výkresem popsaným na obrázku 26. Hloubka se musí pohybovat mezi 0,5 a 2,5 mm (varování 0,5-0,6 mm). Šířka musí být větší než 1 mm (varování $\leq 1,5$ mm). Prohloubený povrch svaru je dán normou ČSN EN ISO 13919-1. Hloubka nesmí přesáhnout 0,75 mm, což je $0,3 \times$ tloušťka materiálu (v případě tloušťky plechu 2,5 mm) (varování 0,6-0,75 mm).



Obrázek 28: Kritéria vady 402. [37]



Obrázek 29: Popis zkoumaných vad na metalografickém výbrusu. [37]

6.5. Postup testu

Na různá místa v celé délce svaru byla mezi díly umístěna podložka o tloušťce 0,5 mm. Ta simuluje špatné sesazení a tím zvýšenou pravděpodobnost chybného svaru. Výsledky sledování Weld watcheru byly porovnány s destruktivní makroskopickou zkouškou naleptáním. Místem podložky byly vedeny tři řezy. Každý byl zvlášť vyhodnocen. Testováno bylo 30 vzorků každého svaru. Podložka byla umísťována na 6 různých míst dle obrázku 31.



Obrázek 30: Umísťování podložek a znázornění řezů. [37]



Obrázek 31: Nákres míst, kam byla vkládána podložka. [37]

6.6. Výsledky

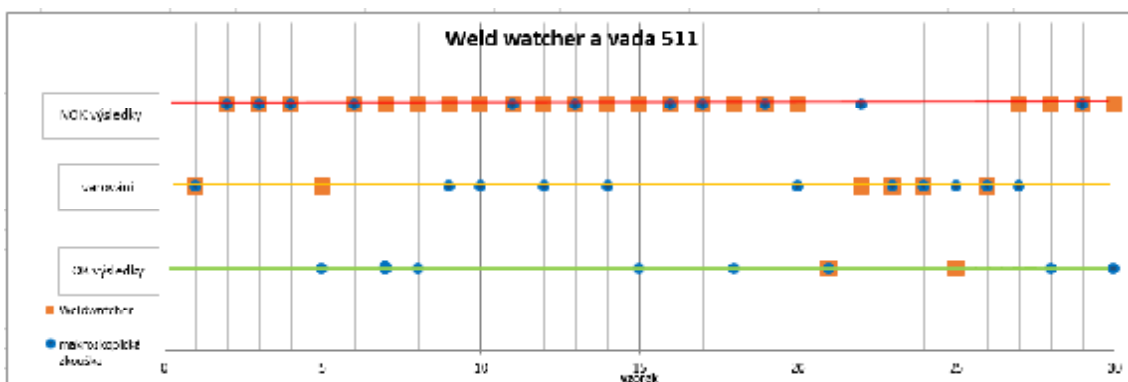
SVAR 23, LEVÁ BOČNICE:

V tabulce 3 jsou zapsány výsledky testů. V prvním sloupci je číslo pokusu a barevné označení ukazuje polohu podložky. V druhém sloupci je zapsáno vyhodnocení Weld Watcherem, ve třetím až pátém sloupci jsou zapsány výsledky makroskopické zkoušky naleptáním pro vadu 511 (prohloubený povrch svaru) a šestý sloupec je celkový výsledek makroskopické zkoušky pro vadu 511. Sedmý až desátý popisuje to samé pro vadu 402 (neprovařený kořen). V jedenáctém sloupci se nachází celkové výsledky makroskopické zkoušky. Poslední sloupec je věnován porovnání shodnosti výsledků Weld Watcheru a makroskopické zkoušky naleptáním. Pro přehlednost jsou dílčí výsledky vyneseny do grafů (obrázky).

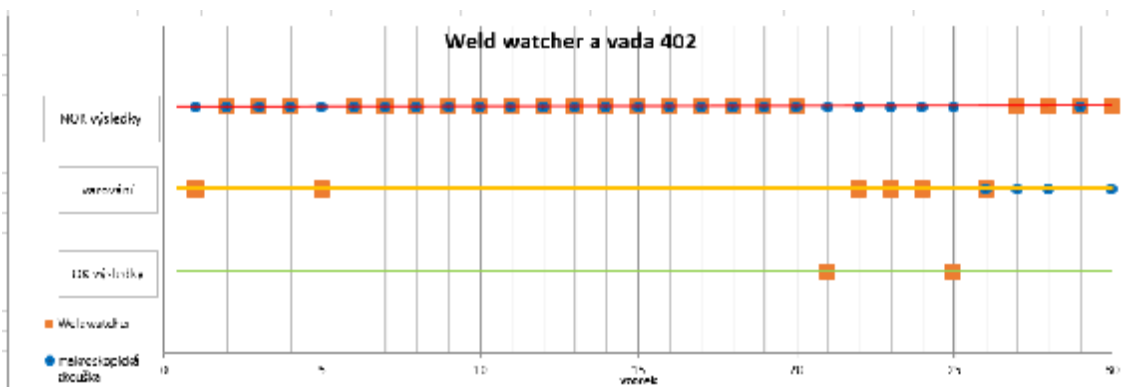
Tabulka 3: Podložka t=0,5 mm, svar 23

číslo	výsledek Wedi watcher	vada 511 řez 1	vada 511 řez 2	vada 511 řez 3	511 výsledek	vada 402 řez 1	vada 402 řez 2	vada 402 řez 3	402 výsledek	makr. zkouška celkem	porovná ní
1	varování	ok	ok	varování	varování	ok	ok	ok	ok	ok	neshoda
2	ok	ok	ok	varování	ok	ok	ok	ok	ok	ok	shoda
3	ok	ok	ok	varování	ok	ok	ok	ok	ok	ok	shoda
4	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	shoda
5	varování	ok	ok	ok	ok	ok	ok	varování	ok	ok	neshoda
6	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	shoda
7	ok	ok	ok	ok	ok	ok	varování	ok	ok	ok	shoda
8	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	shoda
9	ok	varování	ok	ok	varování	ok	ok	varování	ok	ok	shoda
10	ok	ok	varování	ok	varování	ok	ok	ok	ok	ok	shoda
11	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	shoda
12	ok	varování	varování	ok	varování	varování	ok	varování	ok	ok	shoda
13	ok	ok	ok	varování	ok	ok	varování	ok	ok	ok	shoda
14	ok	ok	ok	varování	varování	ok	ok	varování	ok	ok	shoda
15	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	varování	ok	ok	shoda
16	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	shoda
17	ok	ok	varování	varování	varování	ok	ok	ok	ok	ok	shoda
18	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	shoda
19	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	varování	ok	ok	shoda
20	ok	ok	varování	ok	varování	varování	ok	ok	ok	ok	shoda
21	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	neshoda
22	varování	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	neshoda
23	varování	varování	ok	ok	varování	ok	ok	ok	ok	ok	neshoda
24	varování	ok	ok	varování	varování	ok	ok	ok	ok	ok	neshoda
25	ok	ok	varování	ok	varování	ok	varování	ok	ok	ok	neshoda
26	varování	ok	varování	ok	varování	varování	ok	ok	varování	varování	shoda
27	ok	ok	ok	varování	varování	varování	ok	varování	varování	varování	neshoda
28	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	varování	varování	varování	neshoda
29	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	shoda
30	ok	ok	ok	ok	ok	varování	ok	varování	varování	varování	neshoda

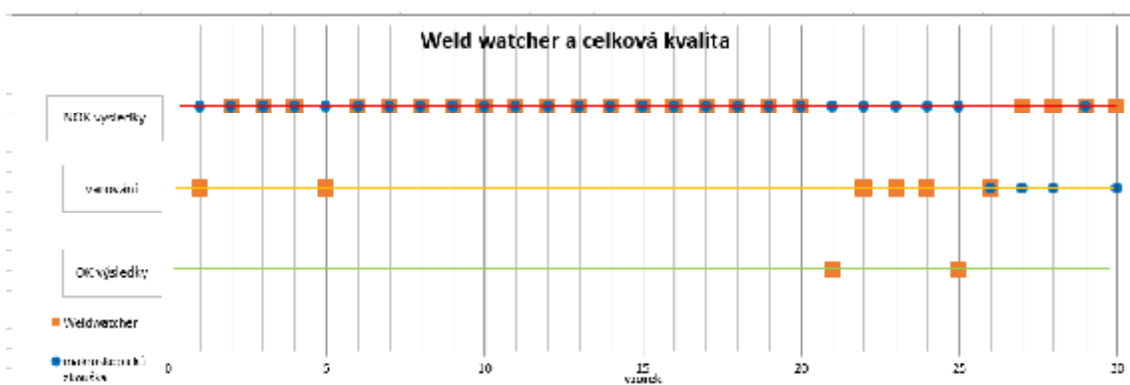
V tabulce je vidět, že Weld Watcher reaguje především na vadu 402, kde je shoda 67 %, u vady 511 byla shoda 50 %. Celkově se výsledky shodují v 67 %. Weld Watcher odhalil méně chybných svarů než makroskopická zkouška.



Obrázek 32: Srovnání výsledků Weld watcheru a vady 511 pro svar 23.



Obrázek 33: Srovnání výsledků Weld watcheru a vady 402 pro svar 23.



Obrázek 34: Srovnání výsledků Weld watcheru a celkové kvality svaru pro svar 23.

Z grafů je patrné, že kritická je vada 402, která většinou určuje kvalitu celého svaru. Weld Watcher na ni reaguje na 67 %, což je stejně jako na reakce na kvalitu celého svaru.

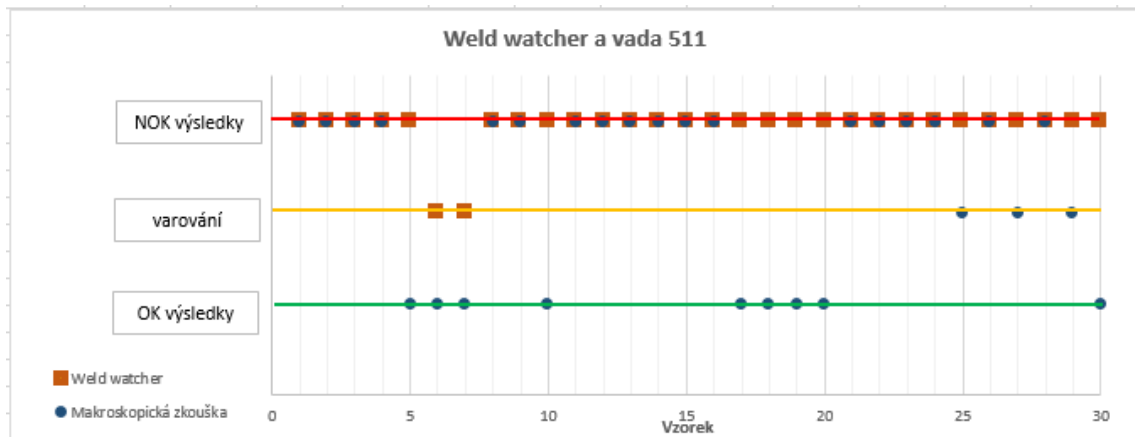
Jelikož Weld watcher označil špatné svary jako dobré, tak je nutné nastavit parametry na vyšší citlivost.

SVAR 24, PRAVÁ BOČNICE: Viz. Svar 23, levá bočnice

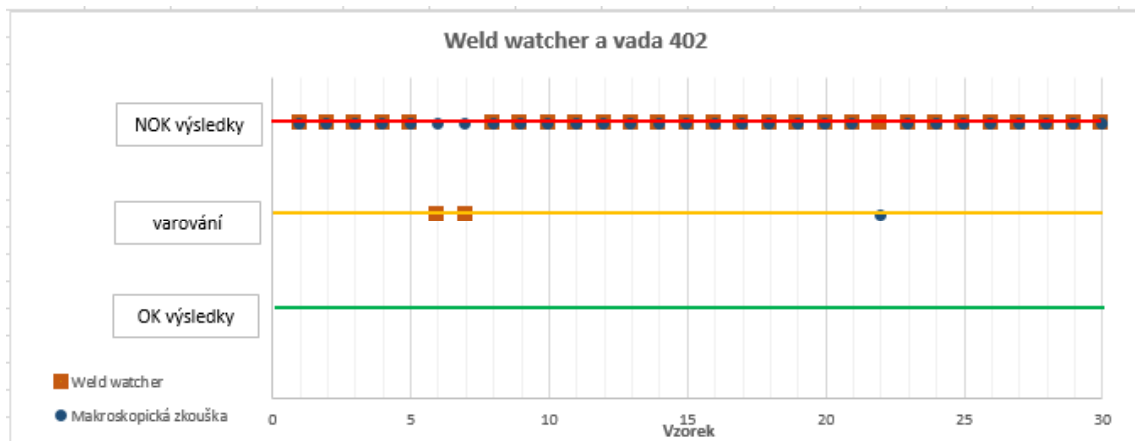
Tabulka 4: Podložka $t=0,5$ mm, svar 24

č. v grafu	výsledek Weld watcher	vada 511 řez 1	vada 511 řez 2	vada 511 řez 3	vada 511 výsledek	vada 402 řez 1	vada 402 řez 2	vada 402 řez 3	vada 402 výsledek	mokr. zkouška celkem	porovnání
1	nok	nok	ok	ok	nok	nok	nok	varování	nok	nok	shoda
2	nok	ok	ok	nok	nok	ok	nok	nok	nok	nok	shoda
3	nok	ok	ok	nok	nok	varování	nok	varování	nok	nok	shoda
4	nok	nok	nok	ok	nok	varování	nok	ok	nok	nok	shoda
5	nok	ok	ok	ok	ok	varování	nok	varování	nok	nok	shoda
6	varování	ok	ok	ok	ok	ok	nok	ok	nok	nok	neshoda
7	varování	ok	ok	ok	ok	varování	nok	ok	nok	nok	neshoda
8	nok	nok	ok	ok	nok	ok	nok	ok	nok	nok	shoda
9	nok	ok	ok	nok	nok	ok	nok	varování	nok	nok	shoda
10	nok	ok	ok	ok	ok	ok	nok	ok	nok	nok	shoda
11	nok	ok	nok	ok	nok	nok	nok	ok	nok	nok	shoda
12	nok	ok	nok	nok	nok	ok	nok	varování	nok	nok	shoda
13	nok	varování	nok	nok	nok	nok	nok	nok	nok	nok	shoda
14	nok	ok	nok	ok	nok	ok	nok	nok	nok	nok	shoda
15	nok	ok	nok	nok	nok	nok	nok	nok	nok	nok	shoda
16	nok	varování	nok	ok	nok	nok	varování	nok	nok	nok	shoda
17	nok	ok	ok	ok	ok	nok	ok	nok	nok	nok	shoda
18	nok	ok	ok	ok	ok	nok	nok	nok	nok	nok	shoda
19	nok	ok	ok	ok	ok	ok	nok	varování	nok	nok	shoda
20	nok	ok	ok	ok	ok	varování	nok	varování	nok	nok	shoda
21	nok	ok	ok	nok	nok	ok	ok	nok	nok	nok	shoda
22	nok	nok	nok	varování	nok	varování	varování	varování	varování	varování	neshoda
23	nok	ok	ok	nok	nok	ok	ok	nok	nok	nok	shoda
24	nok	ok	varování	nok	nok	ok	nok	nok	nok	nok	shoda
25	nok	ok	varování	ok	varování	varování	nok	nok	nok	nok	shoda
26	nok	varování	nok	nok	nok	varování	ok	nok	nok	nok	shoda
27	nok	varování	varování	varování	varování	nok	nok	nok	nok	nok	shoda
28	nok	nok	nok	varování	nok	nok	nok	nok	nok	nok	shoda
29	nok	ok	varování	varování	varování	ok	ok	nok	nok	nok	shoda
30	nok	ok	ok	ok	ok	varování	varování	nok	nok	nok	shoda

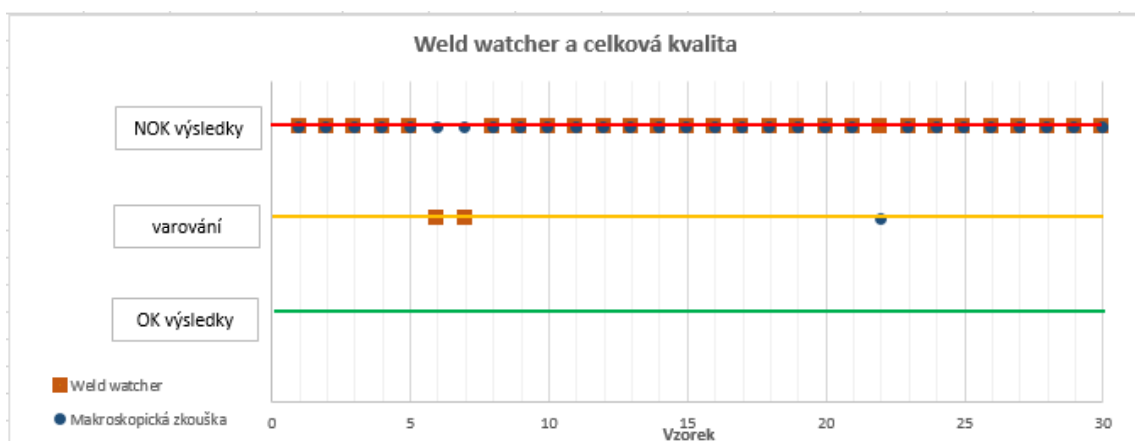
U svaru 24 (na pravé bočnici) je shoda mezi Weld watcherem a makroskopickou zkouškou 90 %. Zde je opět vidět, že vada 402 je častějším problémem než vada 511, proto často udává kvalitu celého svaru (shoda mezi Weld watcherem a vadou 402 je 90 %). Shoda mezi vadou 511 a celkovými výsledky makroskopické zkoušky naleptáním je 60 %.



Obrázek 35: Srovnání výsledků Weld watcheru a vady 511 pro svar 24.



Obrázek 36: Srovnání výsledků Weld watcheru a vady 402 pro svar 24.



Obrázek 37: Srovnání výsledků Weld watcheru a celkové kvality svaru pro svar 24.

Z grafů lze vyčíst, že shodnost výsledků Weld watcheru a makroskopické zkoušky naleptáním je 90 %. Nejde říci, že by byl Weld watcher třeba přenastavit, protože zde nelze tvrdit, že by byl Weld watcher méně citlivý.

Jelikož pravé a levé bočnice jsou svařovány stejnými parametry a jsou jen stranově převrácené, nevzniká mezi nimi žádný rozdíl. To potvrdily i další série provedených testů. Vzhledem k výsledkům by bylo vhodné přenastavit srovnávací parametry trochu přísněji, aby se ze závodu nemohl dostat žádný špatný kus.

7. Závěr

Nároky na kvalitu průmyslových výrobků se stále zvyšují. Postupem času stoupá tendence vyžadovat kontrolu stále většího množství výrobků. Nestačí již kontroly náhodně vybraných částí, a proto jsou hledány nové způsoby a technologie, které by byly schopny nedestruktivní kontroly všech výrobků. Důsledkem této tendence je vznik kontinuálně pracujících monitorovacích systémů, které jsou schopné zkontrolovat a doložit kvalitu v celém objemu výroby.

V odvětví automobilového průmyslu, při použití laserového svařování, je jednou z možností kontinuálního sledování kvality všech laserových svarů software Weld watcher. Tento monitorovací systém je v začátcích, avšak jeho nesporné výhody jsou viditelné již nyní. Pracuje bez omezení či zdržení výroby, kontrola probíhá a je dokazatelná na každém svaru. Systém je individuálně nastavitelný (aplikovatelný do každého závodu) a náklady na pořízení a provoz jsou relativně nízké.

V závodě Faurecia automotive Písek je software již testován. Za rok a půl provozu byl nastaven tak, že je schopen odhalit 75 % nekvalitních svarů a u 18 % upozornit, že svar může být špatný. Ačkoliv není software ještě bezchybný, tak je vidět, že v dohledné době po doladění nastavení by mohl být schopen pracovat s téměř stoprocentní úspěšností. A tedy by mohl být cestou k velmi kvalitní kontrole všech vytvořených svarů.

8. Bibliografie

- [1] Laserové svařování - ekonomika a kvalita. *Konstrukce: Odborný časopis pro stavebnictví a strojírenství*. Ostrava, 2006, **2006**(2), 4.
- [2] Laserové svařování. *Welding.cz* [online]. 2007 [cit. 2017-05-08]. Dostupné z: <http://www.welding.cz/laser/svarovani.htm>
- [3] Laserové svařování - ekonomika a kvalita. *Konstrukce: Odborný časopis pro stavebnictví a strojírenství* [online]. Ostrava: KONSTRUKCE Media, s.r.o., 2017 [cit. 2017-05-08]. Dostupné z: <http://www.konstrukce.cz/clanek/laserove-svarovani-ekonomika-a-kvalita>
- [4] Dvouhadinový a vícehadinový systém. *Encyklopedie fyziky* [online]. 2017 [cit. 2017-05-08]. Dostupné z: <http://fyzika.jreichl.com/main.article/view/784-dvouhadinovy-a-vicehadinovy-system>
- [5] Problémy při svařování, svařitelnost různých materiálů: Závady ve svarech. *Ústav přístrojové techniky Akademie věd České republiky* [online]. Brno: Ústav přístrojové techniky Akademie věd České republiky, v. v. i., b.r. [cit. 2017-06-29]. Dostupné z: <http://ebt.isibrno.cz/kniha/problemy-pri-svarovani-svaritelnost-ruznych-materialu>
- [6] *Technologie svařování a zařízení: učební texty pro kurzy svářečských inženýrů a technologů*. 1. vyd. Ostrava: ZEROSS, 2001. Svařování. ISBN 80-857-7181-0.
- [7] READY, John F. a Dave F. FARSON. *LIA handbook of laser materials processing*. United States?: Magnolia Pub., 2001. ISBN 09-120-3515-3.
- [8] MORAVEC, Jaromír. *Teorie svařování a pájení II: speciální metody svařování*. Vyd. 1. Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2009. ISBN 978-807-3724-399.
- [9] *Technologie svařování a zařízení: učební texty pro kurzy svářečských inženýrů a technologů*. 1. vyd. Ostrava: ZEROSS, 2001. Svařování. ISBN 80-857-7181-0.
- [10] Průmyslové lasery (1): princip laseru. *MM Průmyslové spektrum*. 2012, **6**(3), 4.
- [11] Pulsed laser / infrared / Nd:YAG. *Direct industry* [online]. 2017 [cit. 2017-06-06]. Dostupné z: <http://www.directindustry.com/prod/ii-vi-infrared/product-37313-749735.html>
- [12] Typy laserů. *Lasery kolem nás: Součást vzdělávacího programu SVĚT ENERGIE* [online]. 2004 [cit. 2017-06-06]. Dostupné z: <https://www.cez.cz/edee/content/microsites/laser/k23.htm>
- [13] Seriál na téma lasery: Laserové svařování I (laser welding). *LAO: Lasery a Optika* [online]. Praha: LAO - průmyslové systémy, s.r.o., 2013 [cit. 2017-06-06]. Dostupné z: <http://www.lao.cz/lao-info-49/serial-na-tema-lasery---laserove-svarovani-i-laser-welding-134>
- [14] SVAŘOVÁNÍ LASEREM – poslední trendy. *ISTROJÍRENSTVÍ.cz* [online]. b.r. [cit. 2017-06-27]. Dostupné z: <http://www.istrojirenstvi.cz/materialy/precist.php?navez=svarovani-laserem-posledni-trendy&id=20>

- [15] Průmyslové lasery (2) - svařovací lasery. *MM průmyslové spektrum*. 2012, **2012**(4), 28.
- [16] *Využití laseru v průmyslu: [Plzeň ...]*. Brno: Tribun EU, 2011. Knihovnicka.cz. ISBN 978-80-263-0359-6.
- [17] The evolution of scanners for remote welding applications. *Thefabricator.com: A publication of the fabricators and manufacturers association* [online]. b.r. [cit. 2017-06-28]. Dostupné z: <http://www.thefabricator.com/article/lasercutting/the-evolution-of-scanners-for-remote-welding-applications>
- [18] Remote laser welding in automotive production. *Industrial laser solutions: For manufacturing* [online]. Oklahoma: PennWell Corporation, 2011 [cit. 2017-06-28]. Dostupné z: <http://www.industrial-lasers.com/articles/print/volume-26/issue-5/features/remote-laser-welding-in-automotive-production.html>
- [19] Kovové materiály automobilových konstrukcí - II Karoséria a karosářenské plechy. *Materials engineer/Materiálový inžinier: Všetko o materiáloch. Otvorene a aktívne* [online]. Slovensko, 2012 [cit. 2017-06-28]. Dostupné z: http://www.materialing.com/materialy_auto_konstrukcii
- [20] ED. BY FLEMMING OVE OLSEN, . *Hybrid laser-arc welding*. Boca Raton, Fla. [u.a.]: CRC Press [u.a.], 2009. ISBN 978-143-9802-144.
- [21] *Hybridní laserové technologie*. Olomouc, 2013. Presentace.
- [22] Zpracování materiálů laserem, 1. díl - svařování. *MM Průmyslové spektrum*. b.r., **2011**(4).
- [23] Typy vad , příčiny jejich vzniku a hodnocení. *Česká svářečská společnost ANB* [online]. Praha: CWS ANB, 2012 [cit. 2017-06-29]. Dostupné z: <http://www.cws-anb.cz/t.py?t=2&i=384>
- [24] ČSN EN ISO 13919- 1. *Svařování - svary zhotovené elektronovým a laserovým svařováním – Směrnice pro určování stupňů jakosti – Část 1: Ocel*. 1998.
- [25] *Laser processing: CO 2 laser* [online]. Ditzingen: TRUMPF Werkzeugmaschinen, 2007 [cit. 2017-06-29]. Dostupné z: http://iconmachinetool.com/education/Library_Laser_CO2_Laser.pdf
- [26] BARTÁK, Jiří. *Výroba a aplikované inženýrství ve svařování: učební texty pro kurzy svářečských inženýrů a technologů*. 1. vyd. Ostrava: ZEROSS, 2000. Svařování. ISBN 80-857-7172-1.
- [27] Problematika hodnocení svarových spojů. *KONSTRUKCE: Odborný časopis pro stavebnictví a strojírenství* [online]. 2014, **12**(12) [cit. 2017-07-01]. ISSN 803-8433. Dostupné z: <http://www.konstrukce.cz/clanek/problematika-hodnoceni-svarovych-spoju/>
- [28] KOPEC, Bernard. *Nedestruktivní zkoušení materiálů a konstrukcí: (nauka o materiálu IV)*. Vyd. 1. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2008. ISBN 978-80-7204-591-4.
- [29] Kapilární zkoušení. *WELDINSPECT s.r.o.: Defektoskopie – Kontrola – Inspekce* [online]. Pňovice, b.r. [cit. 2017-07-01]. Dostupné z: <http://weldinspect.cz/metody/kapilarni-zkouseni/>
- [30] MT - magnetická prášková metoda. *Tediko s.r.o.: Technická diagnostika komponent* [online]. TerraVisio, 2009 [cit. 2017-07-01]. Dostupné z: <http://www.tediko.cz/index.php?sub=02cz&lang=cz&p=0207cz>

- [31] Zkouška magnetická. *TECHNOTEST s.r.o.: nedestruktivní zkoušení materiálů* [online]. Blansko, b.r. [cit. 2017-07-01]. Dostupné z: http://www.technotest.cz/zkouska_magneticka
- [32] Ultrazvukové zkoušky výkovků a hutních materiálů. *TRIANGOLO spol. s r.o.: kovárna Hulín* [online]. Hulín, 2009 [cit. 2017-07-01]. Dostupné z: <http://www.triangolo.cz/vyrobnimoznosti/ultrazvukove-zkousky-vykovku.html>
- [33] WORKMAN, Gary L., Doron. KISHONI a Patrick O. MOORE. *Ultrasonic testing*. 3rd ed. Columbus, OH: American Society for Nondestructive Testing, 2007. Nondestructive testing handbook (3rd ed.), v. 7. ISBN 978-1-57117-105-4.
- [34] Kontrola svarů: Nedestruktivní zkoušky (bez porušení materiálu). *Eluc* [online]. 2015 [cit. 2017-07-01]. Dostupné z: <https://eluc.kr-olomoucky.cz/verejne/lekce/1810>
- [35] Zkouška prozářením. *TECHNOTEST s.r.o.: Nedestruktivní zkoušení materiálů* [online]. Blansko, b.r. [cit. 2017-07-01]. Dostupné z: http://www.technotest.cz/zkouska_prozarenim
- [36] Rentgenová defektoskopie. *Hw.cz: vše o elektronice a automatizaci* [online]. Praha, 2014 [cit. 2017-07-01]. Dostupné z: <http://byznys.hw.cz/kvalita-a-plm/rentgenova-defektoskopie.html>
- [37] *Firemní materiály společnosti Faurecia Automotive Czech Republic s.r.o.* b.r.
- [38] Laser Welding Monitor LWM: system description. *Precitec* [online]. USA, b.r. [cit. 2017-07-02]. Dostupné z: <http://www.precitec.us/products/joining-technology/process-monitoring/laser-welding-monitor/>
- [39] Laser welding-process control with WeldWatcher. *S.E.A.: Science Engineering Applications Datentechnik GmbH* [online]. Troisdorf, b.r. [cit. 2017-07-02]. Dostupné z: <https://www.sea-gmbh.com/en/products/test-systems/services/project-search/weld-watcher/>
- [40] Quality Assurance in Laser Welding. *FABshop: Magazine direct* [online]. GEMS Solutions, 2016 [cit. 2017-07-02]. Dostupné z: <http://www.fsmdirect.com/welding/laser-welding/348-quality-assurance-in-laser-welding>
- [41] *4D Intelligent schnell zuverlässig* [online]. Isernhagen, b.r. [cit. 2017-07-21]. Dostupné z: <https://www.4d-gmbh.de/en/>
- [42] Hybrid welding. *Eagle* [online]. Polsko, b.r. [cit. 2017-06-27]. Dostupné z: <http://www.eagle-group.eu/en/hybrid-welding>
- [43] Magnetic particle. *Baker Testing Services* [online]. Rockland, b.r. [cit. 2017-07-01]. Dostupné z: <http://bakertesting.com/index.php/mp-magnetic-particle>

9. Seznam obrázků

Obrázek 1: Hlava svařovacího robota [18]	8
Obrázek 2: Schéma tří energických hladin [4]	9
Obrázek 3: Schéma pevnolátkového YAG laseru [11]	10
Obrázek 4: Schéma plynového CO ₂ laseru [13]	11
Obrázek 5: Penetrační svařování [13]	12
Obrázek 6: Kondukční svařování [13]	12
Obrázek 7: Hybridní svařování [42]	13
Obrázek 8: Příklad současné karosérie- Volvo XC60 [19]	13
Obrázek 9: Rozdíl svařovacích metod [21]	14
Obrázek 10: Dveře automobilu svařené laserem [21]	14
Obrázek 11: Horká trhlina [23]	15
Obrázek 12: Plynová dutina [37]	16
Obrázek 13: Vnější a vnitřní vady při svařování laserem [25]	17
Obrázek 14: Penetrační metoda [29]	18
Obrázek 15: Postup penetrační zkoušky [29]	18
Obrázek 16: Závislost velikosti rozptylového pole na tvaru vady [28]	19
Obrázek 17: Zviditelnění vad magnetickou práškovou metodou [43]	19
Obrázek 18: Ultrazvuková zkouška [32]	20
Obrázek 19: Prozařovací zkouška svaru [35]	20
Obrázek 20: Weld watcher [38]	21
Obrázek 21: Schéma Weld watcheru. [41]	22
Obrázek 22: Záznam z měření Weld watcheru. [37]	22
Obrázek 23: hlava svařovacího laseru [37]	23
Obrázek 24: Efektivita čištění skla. Na svislé ose napětí, na vodorovné čas. [37]	24
Obrázek 25: Výkres bočnice. [37]	25
Obrázek 26: horní svařovaný díl [37]	25
Obrázek 27: dolní svařovaný díl [37]	25
Obrázek 28: Kritéria vady 402. [37]	26
Obrázek 29: Popis zkoumaných vad na metalografickém výbrusu. [37]	26
Obrázek 30: Umísťování podložek a znázornění řezů. [37]	27
Obrázek 31: Nákres míst, kam byla vkládána podložka. [37]	28
Obrázek 32: Srovnání výsledků Weld watcheru a vady 511 pro svar 23	29
Obrázek 33: Srovnání výsledků Weld watcheru a vady 402 pro svar 23	30
Obrázek 34: Srovnání výsledků Weld watcheru a celkové kvality svaru pro svar 23	30
Obrázek 35: Srovnání výsledků Weld watcheru a vady 511 pro svar 24	32
Obrázek 36: Srovnání výsledků Weld watcheru a vady 402 pro svar 24	32
Obrázek 37: Srovnání výsledků Weld watcheru a celkové kvality svaru pro svar 24	32

10. Seznam tabulek

Tabulka 1: Chemické složení oceli S500NC	23
Tabulka 2: Mechanické vlastnosti oceli S500NC	23
Tabulka 3: Podložka t=0,5 mm, svar 23.....	29
Tabulka 4: Podložka t=0,5 mm, svar 24.....	31

11. Seznam použitých zkratek

Špatný svar.....NOK

Dobry svar.....OK

12. Seznam příloh

příloha 1: vzorek 4, svar 23.....	42
příloha 2: vzorek 4, svar 23, 1. řez.....	42
příloha 3: vzorek 4, svar 23, 2. řez.....	42
příloha 4: vzorek 4, svar 23, 3. řez.....	42
příloha 5: vzorek 4, svar 23, Weld watcher	43
příloha 6: vzorek 27, svar 23.....	44
příloha 7: vzorek 27, svar 23, řez 3.....	44
příloha 8: vzorek 27, svar 23, řez 1.....	44
příloha 9: vzorek 27, svar 23, řez 2.....	44
příloha 10: vzorek 27, svar 23, Weld watcher	45
příloha 12: vzorek 30, svar 24.....	46
příloha 13: vzorek 30, svar 24, řez 1.....	46
příloha 11: vzorek 30, svar 24, řez 2.....	46
příloha 14: vzorek 30, svar 24, řez 3.....	46
příloha 15: vzorek 30, svar 24, Weld watcher	47