



ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

**Fakulta strojní
Ústav strojírenské technologie**

Technologie svařování tenkostěnné tlakové nádoby saturátoru laserem

Welding of thin walled pressure vessels by laser

Bakalářská práce

Studijní program: Teoretický základ strojního inženýrství
Studijní obor: Bez oborový

Vedoucí práce: Ing. Petr Vondrouš, Ph.D

Václav Kříž

Praha 2015

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci s názvem „**Technologie svařování tenkostěnné tlakové nádoby saturátoru laserem**“ vypracoval samostatně a použil jen pramenů, které cituji a uvádím v příloženém seznamu literatury.

V Praze 19.6.2015

Václav Kříž

Poděkování

Rád bych touto cestou poděkoval svému vedoucímu práce Ing. Petru Vondroušovi, Ph.D, za odborný dohled, cenné rady a vstřícnost při konzultacích. Dále bych chtěl poděkovat Ing. Tomáši Kramárovi, Ph.D, za pomoc při tvorbě metalografických výbrusů. V neposlední řadě patří mé poděkování i vedení firmy Sinop SMP za poskytnutou možnost tvorby praktické části práce v prostorách firmy a panu Liboru Křížovi za ochotu, věcné připomínky a pomoc při realizaci experimentu.

Abstrakt:

Bakalářská práce se zaměřuje na problematiku svařování tenkostěnných tlakových nádob saturátoru. V práci jsou popsány možnosti svařitelnosti korozivzdorných ocelí a rozebrán princip, výhody a nevýhody technologie laserového svařování. Experimentální část práce se zabývá vlivem zbytkového kyslíku na kvalitu svaru a optimalizací průtoku formovacího plynu pro dosažení výsledku vhodného pro aplikaci v potravinářském průmyslu. Součástí práce jsou metalografické výbrusy koutového a tupého svaru saturátoru.

Klíčová slova:

Laserové svařování, korozivzdorná ocel, saturátor, oxidace, vliv zbytkového kyslíku, kvalita svaru.

Abstract:

This bachelor's thesis focuses on issues of welding of thin walled pressure vessels . It describes options of stainless steels weldability and pros and cons of laser welding technology. The experimental part deals with influence of residual oxygen on quality of weld and optimizing of backing gas flow rate for achieving the eligible result for application in food processing industry. Metallographic preparation analysis of butt and edge weld are included in the thesis.

Keywords:

Laser welding, stainless steel, saturator, oxidation, influence of residual oxygen, quality of weld.

1 Úvod	8
2 Teoretická část práce.....	9
2.1 Svařování korozivzdorné oceli.....	9
2.1.1 Korozivzdorná ocel	9
2.1.2 Svařování obecně a svařitelnost korozivzdorných ocelí	10
2.1.3 Hodnocení svařitelnosti	12
2.2 Klasifikace korozivzdorných ocelí a jejich svařitelnost.....	13
2.2.1 Feritické chromové oceli	13
2.2.2 Martenzitické chromové oceli	14
2.2.3 Austenitické oceli	14
2.2.4 Austeniticko-feritické (duplexní) oceli.....	14
2.3 Svařování laserem	15
2.3.1 Princip funkce laseru	15
2.3.2 Historie svařování laserem	15
2.3.3 Rozdělení typů laserů	16
2.3.4 Použití laserů ve strojírenství	17
2.3.5 Princip laserového svařování.....	17
2.3.6 Pevnolátkové lasery užívané pro svařování:	19
2.2.7 Charakteristika laserového svařování.....	22
2.3. Použití plynů	24
2.3.1 Důvod ochrany kořene formovacím plynem.....	25
2.3.2 Druhy formovacích plynů.....	26
2.3.3 Proces formování kořene svaru	26
3 Experimentální část práce.....	26
3.1 Princip a použití saturátoru	26
3.2. Výrobní postup saturátoru.....	30
3.3 Specifikace materiálu.....	32
3.4 Tvorba přípravků.....	33
3.5 Laserové pracoviště TruLaser Robot 5020.....	34

3.6 Experiment – Vliv množství průtoku formovacího plynu na kvalitu rohového obvodového svaru.....	35
3.6.1 Cíl experimentu	35
3.6.2 Motivace	35
3.6.3 Provedení experimentu	35
3.6.4 Požadavky na svar	36
3.6.5 Měřicí aparatura.....	36
3.6.6 Vyhodnocení vzorků – rohový obvodový svar	37
3.6.7 Vyhodnocení naměřených dat	40
3.6.8 Porovnání variant pro výrobu	42
3.7 Metalografické výbrusy rohového obvodového svaru	43
3.7.1 Vyhodnocení metalografických výbrusů rohového obvodového svaru	46
3.8 Svaření pláště.....	46
3.8.1 Technologické přídavky	46
3.8.2 Metalografické výbrusy tupého svaru	47
3.8.2 Vyhodnocení metalografických výbrusů tupého svaru	48
3.9 Závěr experimentální části	49
4 Výsledky dalších zkoušek.....	49
4.1 Závěr z laboratorního vyšetření vody	49
4.2 Tlaková zkouška saturátoru.....	50
5 Závěr	51
6 Seznam citované literatury	52
7 Seznam tabulek	54
8 Seznam grafů.....	54
9 Seznam obrázků.....	54
Příloha 1 – Protokol o zkoušce č. 50946/2015 (saturátor s plynem)	I
Příloha 2 – Protokol o zkoušce č. 50947/2015 (saturátor bez plynu)	III
Příloha 3 – Protokol z roku 2012 (jen pro informaci o limitech)	V

1 Úvod

Svařování laserem je progresivní technologií s řadou výhod, které vedou k dosažení velmi kvalitního svarového spoje a díky vysoké koncentraci energie a malému množství vneseného tepla dochází pouze k minimálnímu tepelnému ovlivnění základního materiálu. Laserem lze také svařovat materiály jiným způsobem nesvařitelné. Pro tyto vlastnosti a také pro svoji spolehlivost, rychlost a možnost automatizace a robotizace je tato technologie ve strojírenství používána pro stále více aplikací.

Tato bakalářská práce se zabývá problematikou laserového svařování saturátoru vyrobeného z korozi-vzdorné oceli. Saturátor je nezbytná součást výrobku sodové vody. Jedná se o tenkostěnnou tlakovou nádobu, ve které se pod tlakem 9 barů sytí vychlazená voda oxidem uhličitým a je následně připravena k čepování.

Jelikož se jedná o výrobek pro potravinářský průmysl, je zapotřebí dodržet hygienické normy a vytvořit čisté a vyhovující svary. Proto je zapotřebí v průběhu svařování chránit kořen svaru tzv. formovacím plynem, který izoluje svarovou lázeň od okolního vzduchu a tím zamezí vzniku nepřipustných zoxidovaných vrstev uvnitř saturátoru.

Tato bakalářská práce je tvořena částí teoretickou a částí praktickou. V teoretické části je cílem vytvořit literární rešerši o možnostech svařování korozi-vzdorných ocelí, svařování laserem a o problematice formování kořene svaru. V experimentální části je cílem práce popsat proces svařování saturátoru ve firmě Sinop SMP a provést experiment na posouzení vlivu velikosti průtoku formovacího plynu na kvalitu svaru a uskutečnit optimalizaci procesu, která vyhoví kladeným podmínkám.

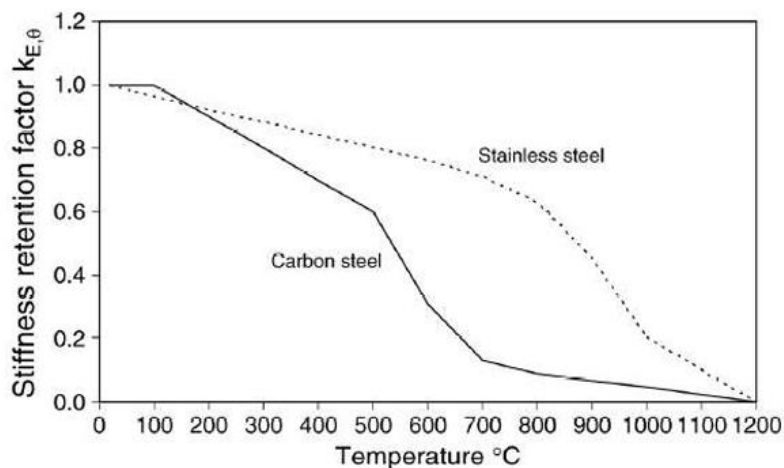
2 Teoretická část práce

Cílem teoretické části bakalářské práce je literární rešerše a rozbor problematiky svařování korozivzdorných tenkostěnných tlakových nádob z hlediska svařitelnosti a požadavků na svarový spoj.

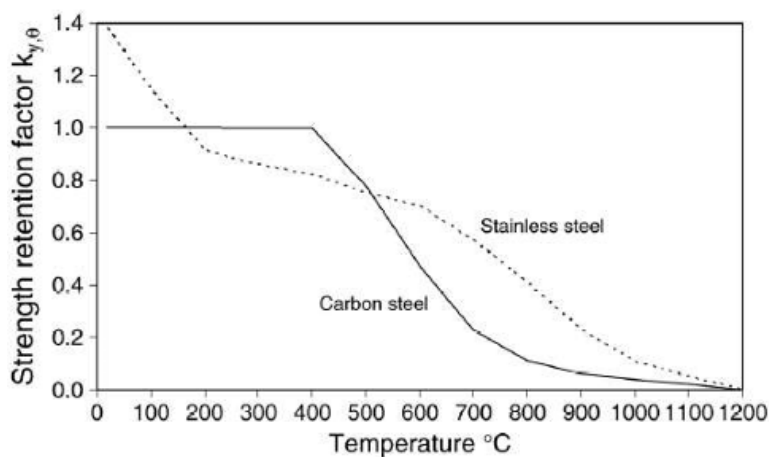
2.1 Svařování korozivzdorné oceli

2.1.1 Korozivzdorná ocel

Výraz korozivzdorná ocel (v praxi také nerezavějící ocel či nerez) je souhrnný výraz pro oceli, které mají obsah chromu ve slitině větší než 12 % a obsah uhlíku menší než 1,2 %. Výraz korozivzdorný značí, že oceli nejsou na rozdíl od běžných uhlíkových ocelí náchylné ke vzniku koroze v neagresivních prostředích, jako je relativně suchý vzduch. K získání odolnosti proti korozi ve vlhké či znečištěné atmosféře je potřeba do slitiny přidat prvky jako je nikl, titan či molybden. Na jejich povrchu vzniká pasivní vrstva oxidu chromu, která se při porušení sama obnoví a tím dodává oceli korozivzdornost. Tento proces popisujeme jako schopnost pasivace. V korozivzdorných ocelích je obsaženo pouze malé množství uhlíku, který je nežádoucí. U některých druhů korozivzdorných ocelí je však jeho obsah úmyslně zvýšený, aby se ocel dala zušlechtit na vysokou pevnost nebo zakalit na vysokou tvrdost. Korozivzdorné oceli předčí běžné uhlíkaté oceli v mechanických vlastnostech při vysokých teplotách (Graf 1; Graf 2), disponují také vlastnostmi jako je žárupevnost a žáruvzdornost. V některých prostředích však mohou být náchylné ke štěrbinové nebo mezikrystalové korozi. Z těchto druhů korozi je mezikrystalová nejčastější a nejvíce problematická. Jejím působením jsou napadeny hranice zrn a dochází k narušení jejich soudržnosti. Touto korozi sice nedojde ke zmenšení tloušťky plechu, ale při mechanickém namáhání vznikají trhliny. Pokud se tato koroze projeví u svarů, není obvykle postižen svarový kov, ale oblast pásma podél svaru. Mezikrystalovou korozi u svarů chromniklové austenitické oceli vyvolávají pouze silná korozní činidla. Neagresivní kapaliny, jako je pitná voda, nikoliv. (1) (2) (3)



Graf 1 - Korozi vzdorné oceli si při zvyšující teplotě zachovávají vyšší tuhost než oceli uhlíkové (2)



Graf 2 - Porovnání pevnosti korozi vzdorné a uhlíkové oceli v závislosti na teplotě (2)

2.1.2 Svařování obecně a svařitelnost korozi vzdorných ocelí

Svařování je nerozebíratelné spojení dvou nebo více součástí v jeden celek. Toto je podmíněno vytvořením takových termodynamických podmínek, při kterých je umožněno vzniku nových meziatomárních vazebních sil. Rozlišujeme svařování tavné a tlakové. Tato bakalářská práce se zabývá tavným svařováním pomocí laserového paprsku. (1)

Pojmem svařitelnost rozumíme „komplexní charakteristiku, vyjadřující vhodnost kovu pro zhotovení svařenců s požadovaným účelem, při určitých technologických možnostech svařování a konstrukční spolehlivosti svarového spoje.“ (4)

Svařitelnost se rozlišuje z několika hledisek – materiálového, technologického a konstrukčního. Materiálová svařitelnost určuje vhodnost kovu ke svařování a charakterizuje změnu jeho vlastností v oblasti, která je tepelně ovlivněna svařováním. Na vhodnost materiálu ke svařování má vliv především chemické složení, metalurgický způsob výroby materiálu a tepelné zpracování. Technologická svařitelnost určuje vliv použité svařovací technologie na vlastnosti svarového spoje. Konstrukční svařitelnost vyjadřuje vliv konstrukčního řešení spoje pro dané provozní podmínky. Svařitelnost musí zabezpečit metalurgicky čistý spoj bez nežádoucích vad a příměsí, který plní funkci při určitých provozních podmínkách. (4)

Pro zachování korozivzdorných vlastností je důležité stanovení vhodných svařovacích parametrů a výběr vhodného ochranného plynu.

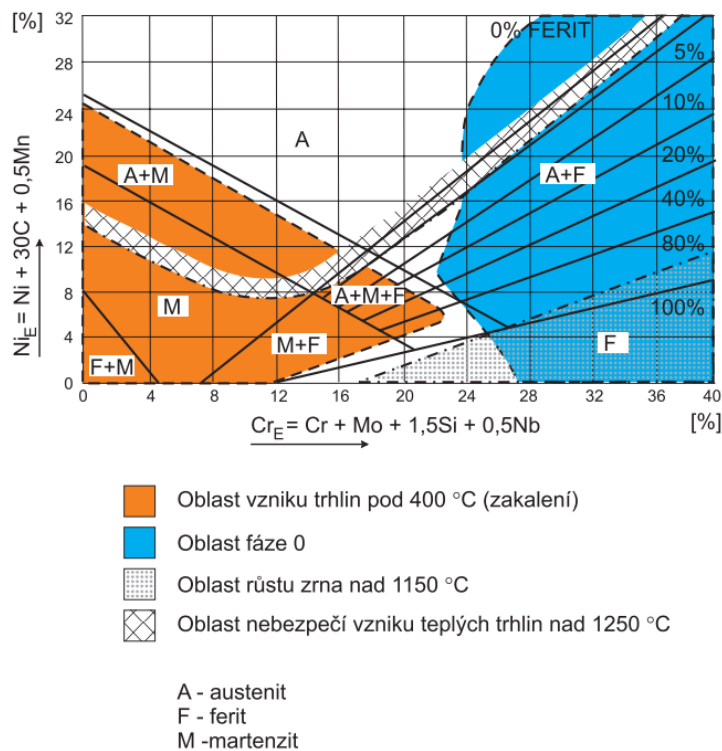
O možnostech svařitelnosti korozivzdorných ocelí nám hodně napoví mikrostruktura materiálu. K odhadu výsledné mikrostruktury Cr-Ni austenitických ocelí lze požit Schaefferův diagram (Graf 3). Vliv všech austenitotvorných prvků, které ocel obsahuje je vyjádřen ekvivalentem chromu [1] a vliv všech feritotvorných prvků je vyjádřen pomocí niklového ekvivalentu [2]. Existují ještě další diagramy pro odhad mikrostruktury (De Longův, WRC), nejsou však primární náplní této práce, proto nejsou uvedeny. (5)

Chromový ekvivalent:

$$Cr_E = Cr + Mo + 1,5 Si + 0,5 Nb \text{ [%]} \quad [1]$$

Niklový ekvivalent:

$$Ni_E = Ni + 30 C + 0,5 Mn \text{ [%]} \quad [2]$$



Graf 3 - Schaefferův diagram (5)

2.1.3 Hodnocení svařitelnosti

Při všech druzích tepelného svařování dochází vlivem ohřátí a vychladnutí ke změnám základního materiálu. Většinou jde o změny struktury, vznik pnutí nebo o změny tvaru. Ocel označujeme jako dokonale svařitelnou, pokud ji lze svařit beze změn, které by ovlivnily požadovanou spolehlivost a trvanlivost svařeného celku. Pokud však dojde ke směnám základního materiálu a vzniku chyb, díky kterým svařenec nevyhoví stanoveným požadavkům, pak je ocel nesvařitelná. Rozlišujeme ještě ocel obtížně svařitelnou za předpokladu aplikace předehřátí nebo tepelného zpracování po vlastním svařování. (3)

Svařitelnost se podle normy ČSN 05 1309 hodnotí z hlediska mechanických vlastností svarového spoje a z hlediska jeho celistvosti.

Dle mechanických vlastností hodnotíme svarový spoj podle těchto kritérií: (4)

- Pevnost v tahu
- Tvrdost svarového spoje

- Vrubová houževnatost tepelně ovlivněná oblasti

Ukazatelé celistvosti svarových spojů:

- Odolnost proti praskavosti za studena
- Odolnost proti praskavosti za tepla
- Odolnost proti žíhací praskavosti
- Odolnost proti lamelární praskavosti

2.2 Klasifikace korozivzdorných ocelí a jejich svařitelnost

Podle obsahu hlavních legur a dosažené mikrostruktury dělíme korozivzdorné oceli do čtyř skupin. Vzhledem k tématu a rozsahu bakalářské práce nebudou informace rozváděny do větších detailů.

2.2.1 Feritické chromové oceli

Mají vyšší pevnost než nelegované uhlíkové oceli a jsou odolné proti koroznímu praskání. Jejich nevýhodou je křehnutí za vysokých teplot, které ovlivňuje mechanické vlastnosti. V pásmu přehřátí TOO (tepelně ovlivněné oblasti) při teplotách nad 900°C zhrubne zrno, což způsobí zkřehnutí oceli. Pro zúžení oblasti růstu zrn je nutné svařovat s nízkým příkonem a ideálně s mírným předeřevem, který sníží rychlost ochlazování ve svarovém kovu. Pro zvýšení houževnatosti svaru se také doporučuje svařovat s přídatným materiálem na bázi niklu. Svařitelnost chromových feritických ocelí je tedy značně obtížná. (1) (6)

Dělíme je dle obsahu chromu na:

- Oceli s obsahem 11 - 13 % chromu
- Oceli s obsahem 14 - 17 % chromu
- Superferity

2.2.2 Martenzitické chromové oceli

Jedná se o oceli s obsahem chromu do 18 % a obsahem uhlíku do 1,5 %, které mají po zakalení martenzitickou strukturu. U těchto ocelí spočívá nebezpečí v křehnutí po ohřevu na 350-550° nebo křehnutí vodíkem při moření. Používají se spíše do méně agresivních prostředí. Svařují se v popuštěném, zušlechtěném, nebo tvrdém stavu. Problémem při svařování martenzitických ocelí je jejich prokalitelnost a náchylnost k tvorbě studených trhlin. K eliminaci těchto problémů aplikujeme přehřev a dohřev svarových spojů.

2.2.3 Austenitické oceli

Díky příznivé kombinaci zpracovatelnosti, mechanických vlastností (tažnost a houževnatost) a korozivzdornosti se jedná o nejvýznamnější skupinu korozivzdorných ocelí, vhodných pro mnoho účelů použití. Nejčastěji se používají v potravinářském, farmaceutickém či chemickém průmyslu. Základní legování je 18 % chromu, 9 % niklu popř. 9 až 19 % manganu a přibližně 0,08 % uhlíku plus další legury (křemík, titan, niob, dusík, síra). Podle obsahu těchto prvků se austenitické oceli dělí na:

- Chromniklové (Cr-Ni)
- Chrommanganniklové (Cr-Ni-Mn)
- Chrommanganové (Cr-Mn)

Na svary těchto ocelí se kladou velké nároky, proto je jejich svařitelnost mimořádně důležitá a ověřuje se mnoha zkouškami svařitelnosti. Vzhledem k austenitické struktuře mají tyto ocele dobrou houževnatost a tažnost. TOO nepředstavuje obtíže dané křehnutím základního materiálu. Tyto oceli jsou dobře svařitelné, hrozí u nich však nebezpečí v praskání svarových spojů vlivem ochlazováním vzniklým pnutím a v mezikrystalické korozi. (3) (1) (6)

2.2.4 Austeniticko-feritické (duplexní) oceli

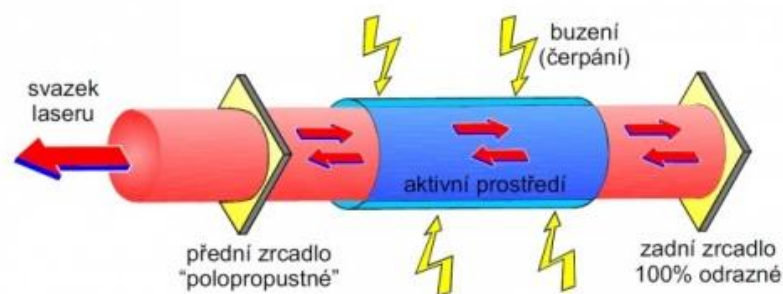
Mají významné použití tam, kde již austenitické oceli nezajišťují bezproblémový provoz. Jejich výbornou vlastností je slévateľnost, hodí se proto na odlitky. Svarové spoje mají dobrou odolnost proti koroznímu praskání, důlkové a mezikrystalové korozi. Po svaření se obvykle dále tepelně nezpracovává. (1)

2.3 Svařování laserem

2.3.1 Princip funkce laseru

Slovo laser pochází ze zkratky názvu *Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation* (zesilovač světla pomocí stimulované emise záření). Laser je druh světelného záření, které má určité speciální vlastnosti. Je monochromatické (jednobarevné), koherentní (uspořádané) a má nepatrnou divergenci (rozbíhavost).

K tomuto jevu může dojít jen v určitých látkách, které slouží jako aktivní prostředí (jako první byl použit umělý rubín, dnes používáme i kapalinové, plynné či polovodičové prostředí). Vnější podnět potřebný ke vzniku laserového světla způsobí světlo výbojky, které vybudí atomy aktivního prostředí na vyšší energetickou hladinu, při jejich návratu do základního stavu se část energie vyzáří ve formě laserového záblesku a řetězová reakce vyvolá proud koherentního laserového světla. Schématické zobrazení principu laseru je na Obr. 1. (7)



Obr. 1 - Základní schéma laseru (8)

2.3.2 Historie svařování laserem

Historie svařování laserem se datuje od počátku šedesátých let minulého století, kdy po postavení prvních prototypů (Theodore Maiman, rubínový pevnolátkový laser) proběhly první laboratorní pokusy. Převratem byl vynález pevnolátkového Nd:YAG laseru v roce 1964. Následující dekády patřily převážně technologii plynového CO₂ laseru, u kterého bylo dosahováno vyšších výkonů.

V posledním desetiletí zažilo laserové svařování obrovský boom a CO₂ lasery, jejichž hlavní nevýhoda je velká vlnová délka (10,6 μm), díky které nelze vést paprsek do místa svaru pomocí optického vlákna a musí být použita komplikovaná soustava

zrcadel, byly nahrazovány lasery pevnolátkovými a polovodičovými. Tyto typy laserů mají zároveň mnohem větší účinnost – 25 % oproti 8 % u CO₂ laseru.

U pevnolátkových laserů je paprsek generován v rezonátoru z pevné látky (krystal vzácných zemin), která může nabývat různých tvarů – disk, optické vlákno či dioda. Podmět ke vzniku laseru zajistí buď polovodičová dioda nebo světelná výbojka. Díky krátké vlnové délce (1,06 μm) lze do místa interakce s materiálem přivádět energii pomocí optického vlákna. Tato vlastnost pevnolátkových laserů je výhodná i při svařování oceli nebo hliníku, které absorbují záření právě v oblasti vlnových délek okolo 1 μm.

Velký rozvoj laserů v posledních letech je způsoben hlavně stále dokonalejšími technologiemi, která umožňuje vyrábět výkonnější lasery a používání moderních materiálů, které jsou jinými metodami jen obtížně svařitelné. Velkou roli hrají také rostoucí požadavky na zvyšování produktivity a opakovatelnosti výroby. V dnešní době přicházejí ke slovu hlavně vláknové lasery, jejichž vývoj je zdaleka nejperspektivnější.

(9) (10)

2.3.3 Rozdělení typů laserů

Z fyzikální podstaty dělíme lasery hlavně dle aktivního prostředí

- pevnolátkové
- polovodičové
- plynové
- kapalinové

a dle časového režimu provozu.

- kontinuální
- impulzní
- kvazikontinuální

Dále lze lasery dělit dle výkonu nebo podle vlnové délky.

2.3.4 Použití laserů ve strojírenství

Strojírenský průmysl je spolu s medicínou, vojenským a elektrotechnickým průmyslem hlavním polem pro využití laserové technologie. Použití má laser převážně v těchto aplikacích: (7)

- Obrábění a dělení materiálu
- Svařování
- Povrchové kalení
- Gravírování a popisování
- Měření vzdálenosti

2.3.5 Princip laserového svařování

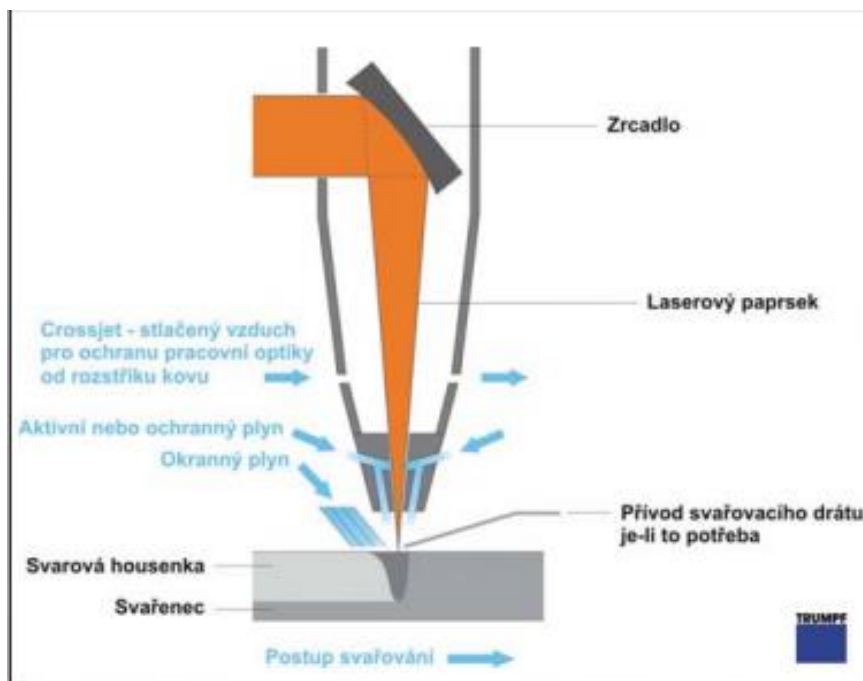
Obecně rozeznáváme dva základní režimy laserového svařování (Obr. 2), které jsou znázorněny na obrázku. Kondukční režim neboli režim vedení tepla umožňuje vytvoření jen relativně malého průvaru. Energie laseru na povrchu svařence vytvoří tavnou lázeň, která předává tepelnou energii konvekcí. Tuto konvekci lze ovlivnit ochrannými plyny a tak je možno přizpůsobit profil závaru požadavkům kladeným na svar. Tento režim nalezne využití u aplikací, kde je rychlost svařování důležitější než úzký a hluboký průvar.

Druhým způsobem laserového svařování je penetrační režim známý pod pojmem tzv. „keyhole“ (klíčová dírka). „*Se zvýšením plošné hustoty výkonu fokusovaného laserového paprsku se vytváří plazma a začne docházet k hlubokém provařování. Laserový paprsek vytvoří kapiláru, která má průměr 1,5 – až dvojnásobek průměru ohniska. Uzavření této kapiláry je zabráněno tlakem plynů vystupujících z této kapiláry. Ze stěn kapiláry se následně vedením dostává vložená energie laserového paprsku do taveniny a dále do tuhého materiálu.*“ (9) Tavná lázeň se chrání před oxidací ochranou atmosférou (Obr. 3). Jako asistenční ochrana atmosféra se používá obvykle dusík, argon nebo helium. Tímto procesem dostaneme velmi úzký a hluboký svar. Tento režim vyžaduje vyšší výkony, materiál není pouze taven, ale i odpařován.

Proces svařování je závislý na mnoha proměnných a správné nastavení vstupních parametrů svařovacího procesu je složité. Faktory ovlivňující sváření jsou vlastnosti svařovaného materiálu, výkon a vlnová délka laseru, rychlost svařování, použití asistenčního plynu či fokusace paprsku vůči povrchu svařovaného materiálu. Změnou těchto parametrů se ovlivní šířka svaru. (9) (11)



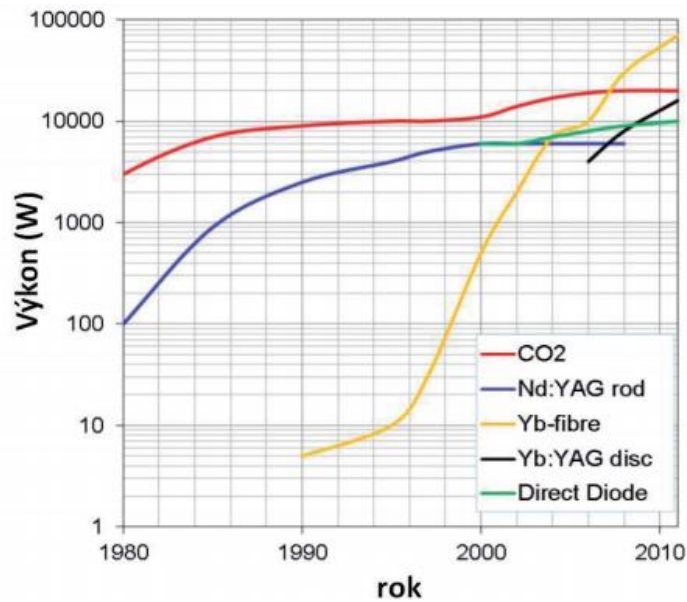
Obr. 2 – Dva režimy laserového svařování (12)



Obr. 3 - Princip svařování paprskem v prostoru pracovní optiky (13)

2.3.6 Pevnolátkové lasery užívané pro svařování:

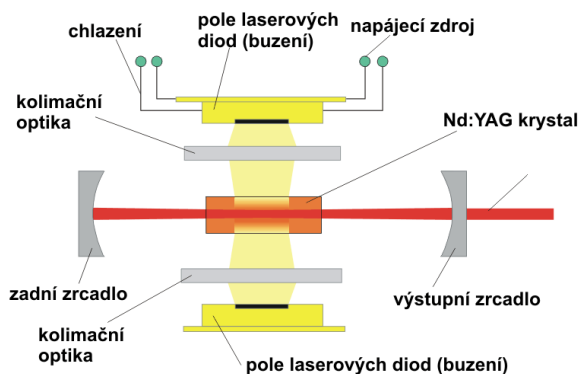
Mezi pevnolátkové lasery řadíme Nd: YAG laser, laser diskový a vláknový. Vlnová délka těchto laserů je $\sim 1 \mu\text{m}$. Aktivní prostředí je tvořeno YAG krystalem (*ytrium aluminium granát*) a je dopovaného ionty neodymu (Nd) nebo yterbia (Yb). Tyto tři typy laserů se liší geometrií aktivního prostředí (uvedené na Obr. 7). Aktivní prostředí Nd: YAG laseru je tyčinka ($l = 150 - 200 \text{ mm}$), u diskového je to tenký disk ($d = 10 \text{ mm}$, $tl. = 0,25 \text{ mm}$) a optické vlákno u vláknového laseru ($l = 1 \text{ m}$, $d = 50 - 300 \mu\text{m}$). Již zmíněnou velkou výhodou pevnolátkových laserů je možnost vést jejich záření flexibilním optickým kabelem, což velmi usnadňuje robotizaci procesu. Vývoj maximálních dosahovaných výkonů u pevnolátkových laserů je zobrazen v Grafu 4 a jejich porovnání v Tabulce 1. (9) (14)



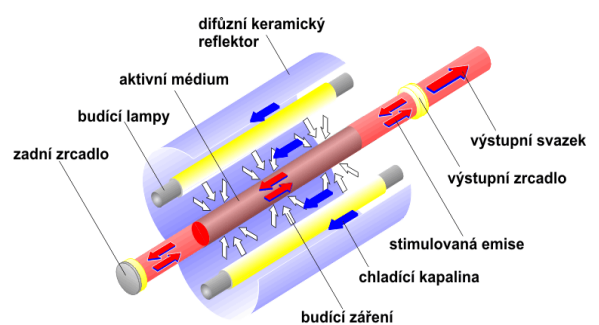
Graf 4 – Vývoj laserových zdrojů (10)

Nd: YAG lasery

Nejstarší typ využívaný v průmyslu. Pro buzení se používají výbojky – lampy (LPSS – Obr. 5) nebo diody (DPSS – Obr. 4). DPSS Nd: YAG lasery mají vyšší účinnost (7 %) a lepší kvalitu svazku. Používají se hlavně na značení a gravírování materiálů. LPSS Nd: YAG lasery se využívají na svařování a pracují zejména v pulzním režimu. Jejich výhodou je dosahování vysoké energie v pulzu požadovanou pro aplikace, kde je třeba vytvořit hluboký průvar. Nevýhodou je jejich krátká životnost (1000 hod), nízká účinnost (4 %) a vysoké nároky na chlazení. V dnešní době už se tyto lasery nevyvíjí a jsou nahrazovány moderními vláknovými lasery. Hlavními výrobci těchto laserů jsou firmy GSI JK Lasers, Rofin a Lasag. (14)



Obr. 4 - Schéma DPSS Nd: YAG laseru (14)



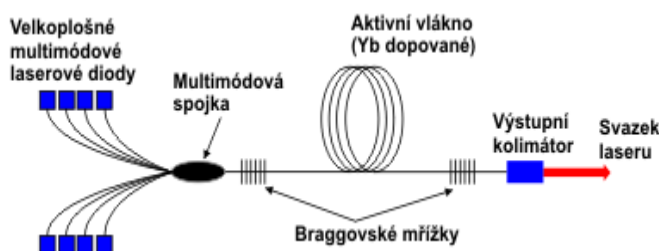
Obr. 5 – Schéma LPSS Nd: YAG laseru (14)

Diskové lasery

Založeno na podobném principu jako Nd: YAG lasery, akorát zde aktivní prostředí tvoří disk. Rovný teplotní profil po celém disku umožňuje dosáhnout vysokých výkonů (až 16 kW) a vysoké kvality laserového svazku. Využití zejména pro řezání a svařování kovů. Tato technologie je vyvíjena především firmou Trumpf.

Vláknové lasery

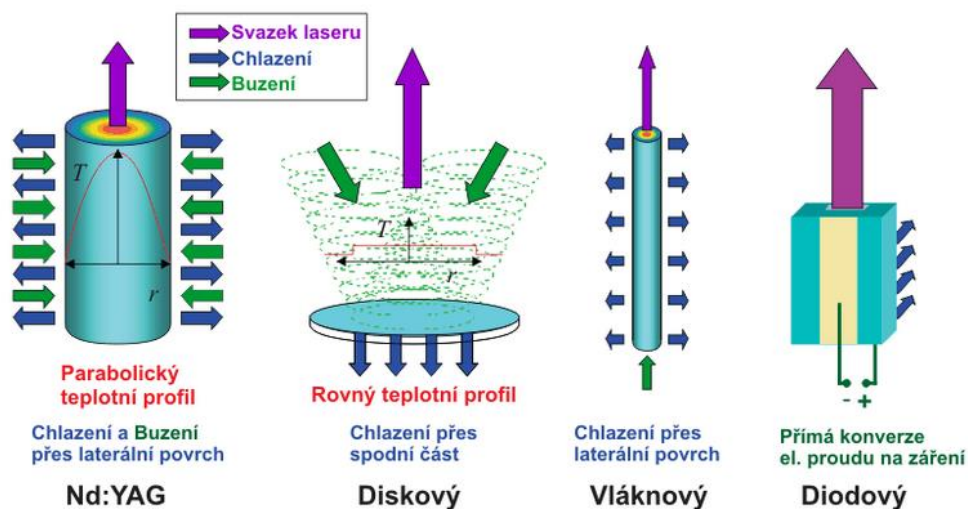
Nejmodernější typ laseru, aktivní prostředí je dlouhé optické vlákno dopované yterbiem (Obr. 6). Místo zrcadel jsou přímo na optickém vlákně vytvořeny struktury zvané jako Braggovské mřížky. Výhodou laseru je jeho jednoduchost, spolehlivost a vysoká účinnost (30 %). Laser je tvořen moduly, které je možné skládat a dosáhnout výkonu až 80 kW. Vynikající je také životnost laseru až 100000 pracovních hodin. Lídrem ve výrobě těchto laserů je firma IPG Photonics.



Obr. 6 – Schéma vláknového laseru (14)

Diodové lasery

Nejedná se o pevnolátkový typ laseru, nýbrž o polovodičový. Dosahuje výkonů až 10 kW a má nejvyšší účinnost (60 %). Díky nízké vlnové délce (940 nm) lze s diodovými lasery svařovat i plasty.



Obr. 7 – Aktivní prostředí pevnolátkových laserů a laseru diodového (14)

Tabulka 1 – Porovnání laserových zdrojů (14)

Laser	Vlnová délka (nm)	Buzení	Efek. ^a	Režim ^b	Výkon / Energie	Typické aplikace ^c	Údržba	Život. (h)
Nd:YAG	1064	LD	~7%	CW	až 6kW	Ř,S	ano	~10 000
		lampy	~3%	pulsní*	~ J@ms (~600W)	S,V		~1000
CO ₂	10 600	RF	~10%	CW / pulsní	10-250W	Z,G, Ř nk.	ano	~20 000
		EI.	~25%		až 20kW (průtočné)	Ř,S		--
Diskový	1070	LD	~15%	CW	až 16 kW	Ř,S	ano	~10 000
Vláknový	1070	LD	~30%	CW	až 80 kW	Ř,S	ne	~100 000
				QCW	~ J@ms (~1,2kW)	Z,G,M		
				Pulsní	~ mJ@ns (~100W)	Z,G,M		
Diodový	808-980	EI.	~60%	CW	až 10kW	S,K,N	ne	~15 000

Z údajů v Tabulce 1 je zřejmé, že v současné době jsou vláknové lasery nejlepšími jak z hlediska výkonu, tak z hlediska dosahované životnosti. Největší efektivity dosahují lasery diodové.

2.2.7 Charakteristika laserového svařování

Technologie laserového svařování nalezne uplatnění převážně v aplikacích, které nelze jiným způsobem svařit nebo tam, kde je nutné realizovat náročné svary z hlediska kvality a opakovatelnosti. V řadě případů je oproti klasickým technologiím laserové svařování výhodnější, převážně proto, že tepelné působení paprsku je jenom lokální

a dochází jen k malému ovlivnění okolního materiálu. Laserem lze svařovat i materiály s vysokou teplotou tání, díky velkému množství soustředěné energie na malou plochu, kterou laser nataví ve zlomku sekundy. Laser je obzvláště vhodný pro svařování materiálů jako jsou korozivzdorné oceli, kde se dosahuje homogenních svarů bez pórů a různé obtížně svařitelné slitiny (titanové, zirkonové a chromniklové slitiny). Pro komerční užití se vyrábí lasery o výkonech 1-20 kW.

„Obecně můžeme říci, že 1 kW výkonu laserového paprsku odpovídá 1,0 mm max. tloušťky stěny svařovaného materiálu. Máme tím na mysli svařování běžné uhlíkové oceli nebo nerezových materiálů. Pro svařování např. hliníku nebo mědi je pak zapotřebí přibližně dvoj- až trojnásobný výkon laseru.“ (13) Většinou svařujeme bez přídavných materiálů, je však možné svařovat i za přidání drátu nebo kovové vložky. Svařování v jedné vrstvě je možné až do tloušťky 12 mm. (9)

Výhody laserového svařování: (15)

- Možnost svařovat široké spektrum materiálů i slitin různých druhů
- Vysoká svařovací rychlost a produktivita práce
- Lehce dosažitelný úzký a hluboký svár s vysokou přesností
- Malé vnesené teplo, malé deformace a malé vnitřní pnutí
- Není nutné svary brousit
- Vhodné pro automatizaci a robotizaci
- Vysoká reprodukovatelnost zajištěna programovým ovládním
- Svařování bez přídavného materiálu
- Nedochází ke znečištění svaru elektrodami
- Svařování i na těžko dostupných místech
- Čistý provoz bez odpadů, snadné odsávání zplodin

Nevýhody laserového svařování:

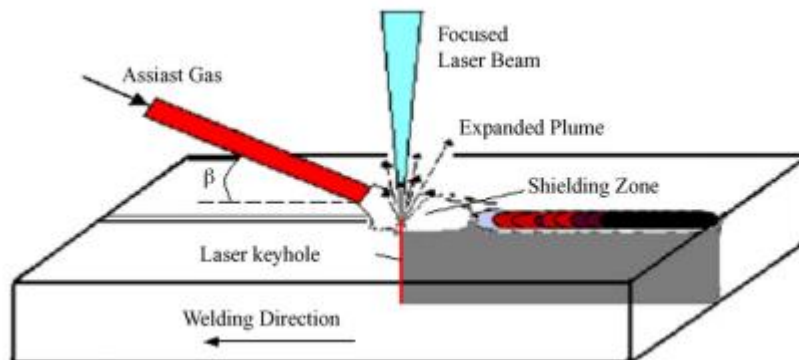
- Vysoká pořizovací cena zařízení
- Drahý provoz
- Náročná tvorba přípravků
- Velmi přísné bezpečnostní podmínky
- Požadavek na kvalifikovanou obsluhu

2.3. Použití plynů

Proces laserového svařování vyžaduje vhodné použití příslušného technického plynu. Tímto asistenčním plynem se chrání vnější část svaru (Obr. 8) i jeho kořen. V případě ochrany kořene mluvíme o takzvaném formování resp. formovacím plynem. Plyny se z hlediska laserového zpracování řadí k pomocným látkám, a i přes jejich neviditelnost, jde o důležitý prvek optimálního procesu. Třída čistoty plynů se udává v procentech a existuje mezinárodně platný systém ukazatelů uvedený v Tabulce 2.

Tabulka 2 – Třída čistoty plynů (11)

Třída čistoty plynů	
Ukazatel	Minimální čistota v %
2.5	99,5
3.5	99,95
4.6	99,996
5.0	99,999



Obr. 8 – Ochrana krycí vrstvy při svařování bez ochrany kořene

2.3.1 Důvod ochrany kořene formovacím plynem

Ochranné asistenční plyny plní několik funkcí. Chrání svařovaný materiál před okolní atmosférou a tím zabrání absorpci kyslíku, dusíku či vlhkosti a zamezí následné oxidaci povrchu. Další důležitou funkcí je odstraňování plazmy vystupující nad povrch, která by jinak absorbovala energii laseru a došlo by ke snížení výkonu svařovacího procesu. Bez použití ochranného plynu může svařenec absorbovat kyslík, dusík a vlhkost, což může vést ke vzniku vad, jako jsou póry a vodíkové trhliny. (11)

Spodní strana svarové lázně je vystavena styku s okolním vzduchem. Důsledkem je nízká kvalita kořene svaru, nehomogenity chemického složení a vznik zoxidovaných vrstev nazývaných též jako náběhové barvy, které mají za následek lokální zhoršení odolnosti proti korozi. Korozivzdorná ocel při svařování ztrácí v okolí svaru odolnost proti korozi a v okolí spodní strany kořene svaru vznikají zoxidované vrstvy nazývané též jako náběhové barvy. Ty mohou být odstraněny buď navazujícími operacemi jako je kartáčování nebo moření. Tyto operace lze aplikovat pouze v místech přístupných, což není případ saturátoru, kde jsou náběhové vrstvy uvnitř nádoby. V tomto případě se musí vzniku náběhových barev předejít pomocí použití plynů, které zamezí kontaktu kyslíku s ohřátým okolím svaru. Jaké náběhové barvy budou přípustné závisí na použití příslušného výrobku. Světlé a slámově žluté náběhové barvy odolnost proti důlkové korozi stěží ovlivňují, hnědé či černé tóny náběhových barev jsou však kritické. Všeobecně platné pravidlo, kdy je možno upustit od moření po svařování, však nebylo definováno a záleží opět na výrobcí. Vytlačování vzduchu z výrobku a proplachování oblasti kořene se nazývá jako formování. Mluvíme tedy o formovacích plynech. Těmi musíme výrobek proplachovat tak dlouho, dokud je možná reakce okolí svaru se vzduchem. (16) (15)

2.3.2 Druhy formovacích plynů

Jako formovací plyn se v technické praxi nejčastěji používá argon, dusík nebo jejich směsi s vodíkem, který redukuje množství kyslíku v kořeni svaru. Svařovací proces jde ovlivnit použitím optimalizovaných plynných směsí. Základem směsí je helium a argon. Přidáním CO₂, kyslíku nebo vodíku je možné ovlivnit svařovací proces rovněž termicky nebo metalurgicky. (16) (11)

2.3.3 Proces formování kořene svaru

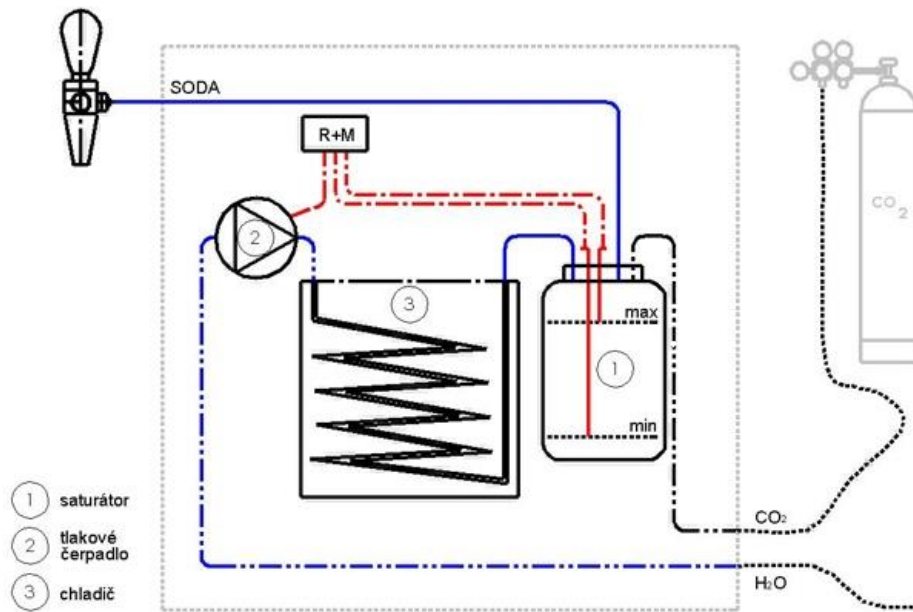
Pro maximální efekt formování je nutno dodržet určité zásady. Plyn by měl být veden malou rychlostí skrze síto, čímž se omezí rozvíření plynu. Formovací plyn se dává shora, pokud je lehčí než vzduch, v opačném případě se dává zdola. U kořenové vrstvy se obvykle požaduje zbytkový obsah kyslíku < 20 ppm, to znamená 0,002%.

3 Experimentální část práce

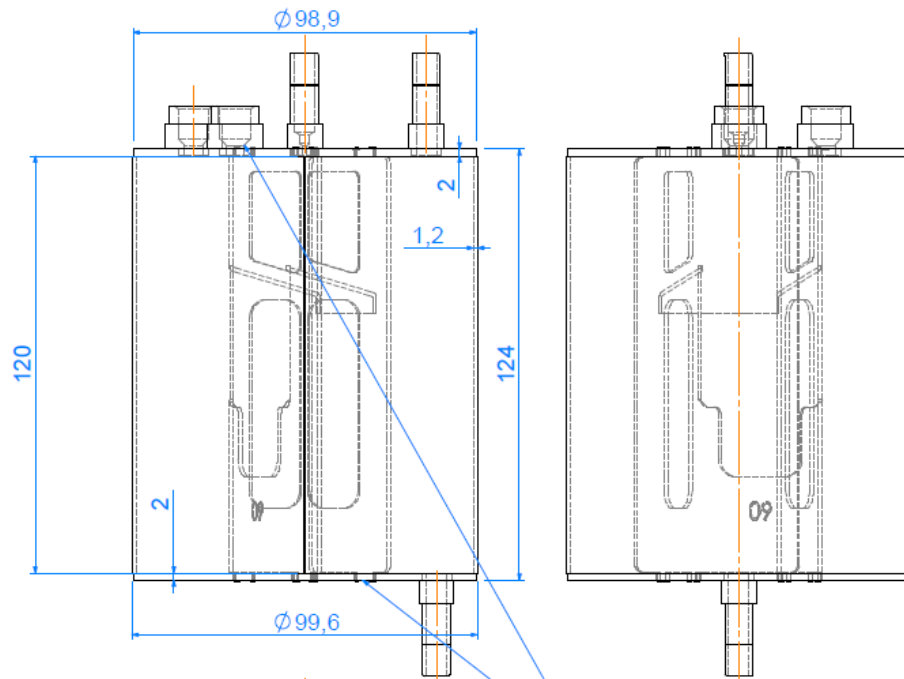
Experimentální část bakalářské práce se bude věnovat laserovému svařování saturátorů ve firmě SINOP SMP s.r.o. Zde se saturátory svařují na robotickém pracovišti TruLaser Robot 5020 od firmy TRUMPF, který je vybaven stacionárním laserem Trudisc o výkonu 4000 W.

3.1 Princip a použití saturátoru

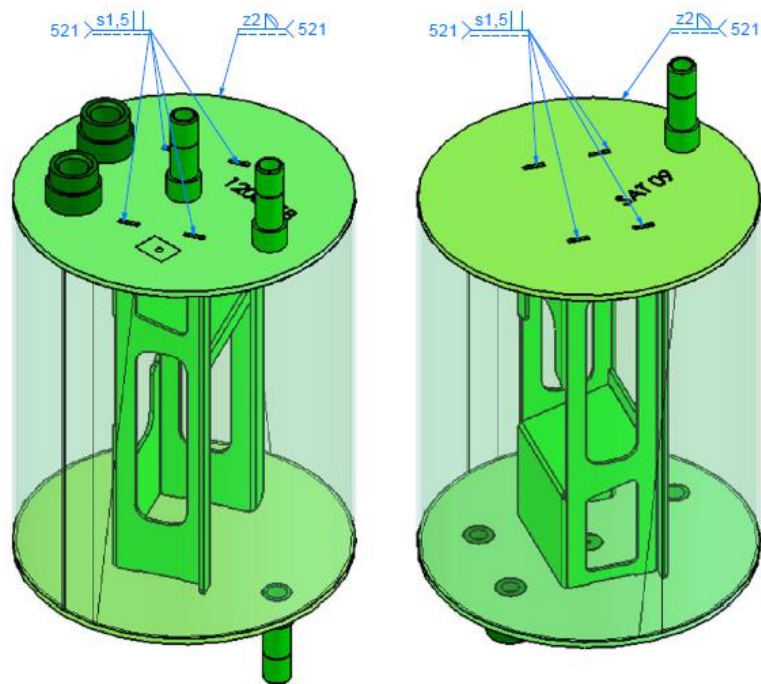
Předmětem mé bakalářské práce je výroba saturátoru (Obr. 9 - 12). Saturátor je tenkostěnná tlaková nádoba o objemu 1 dm³, ve které dochází k sycení vody oxidem uhličitým. Do nádoby vyrobené z korozivzdorné oceli je přiváděn oxid uhličitý pod tlakem 4 bary a zároveň je vstřikována ochlazená voda pod tlakem 9 barů. Voda se rozstříkuje o přepážku a vzniká vodní mlha, která se nasytí přítomným oxidem uhličitým. Tímto procesem vzniká sodová voda připravená k čepování. Dále jsou v saturátoru umístěny dvě sondy, které v závislosti na výšce hladiny vody spínají a vypínají čerpadlo.



Obr. 9 - Umístění saturátoru ve výčepním zařízení (17)



Obr. 10 – Výkres saturátoru



Obr. 11 – 3D model saturátoru



Obr. 12 – Svařený výrobek

Na následujících obrázcích (Obr. 13 – Obr. 16) jsou zobrazeny další výrobní operace, kterými saturátor projde až k výslednému produktu – výrobku sodové vody (Obr. 17).



Obr. 13 – Saturátor zalitý v hliníkovém bloku



Obr. 14 – Blok zaizolovaný v PUR pěně



Obr. 15 – Trubky napojené na saturátor



Obr. 16 – Výrobek sodové vody v procesu montáže



Obr. 17 – Výrobek sodové vody Samba 1/5 (18)

3.2. Výrobní postup saturátoru

Výrobek je vytvořen svařením devíti komponentů osmi různých typů. Všechny komponenty jsou vyrobeny z materiálu WNr.1.4301 (EN ISO X5CrNi18-10), jehož složení je specifikováno níže.

1. Nipl sondy 2x (soustruženo)
2. Nipl H₂O 1x (soustruženo)
3. Nipl CO₂ (soustruženo)
4. Nipl výstupní (soustruženo)
5. Dno (řezáno laserem)
6. Víko (řezáno laserem)
7. Plášť (řezáno laserem a zakružováno)
8. Přepážka (řezáno laserem a ohybáno)

Vlastní svaření saturátoru tvoří pět operací:

Všechny svary jsou realizovány bez přídavného materiálu za přítomnosti asistenčního plynu, jímž je argon. Z důvodu dosažení co nejlepšího svaru je nutné u soustružených komponent před upnutím do přípravků odstranit otřepy a všechny součásti odmastit. Kvůli dosažení kvalitního a estetického svaru jsou některé spoje svařovány ve dvou vrstvách: hloubkově a tepelně. Nejprve se svařuje hloubkově s vyšším výkonem a menší fokusací paprsku, čímž dojde k hlubokému průvaru. Poté robot celý proces opakuje tentokrát s menším výkonem a větší fokusací. Díky těmto parametrům dojde k "rozlití" materiálu a vytvoření tzv. kosmetické vrstvy. Svařuje se rychlostmi 25 - 40 mm/s a s výkony 1300 - 2500 W.

Svářecí operace saturátoru:

1.) Zavaření komponent do víka

Použité komponenty: 2x Nipl sondy, Nipl H₂O, Nipl CO₂, Víko.

Niple jsou nalisovány a zavařeny tupým obvodovým svarem do víka o tloušťce 2mm. První vrstva je svařována s výkonem 1600 W, fokusací +4,7 a rychlostí 33 mm/s. Druhá vrstva s výkonem 1400 W, fokusací +10 a rychlostí 33 mm/s.

2.) Svaření dna

Použité komponenty: Dno, Nipl výstupní.

Stejný postup jako v operaci 1.

3.) Svaření přepážky

Použité komponenty: Přepážka.

Přepážka svařena ve dvou bodech tupými svary. Svařuje se pouze v jedné vrstvě s výkonem 2000 W, fokusací +5 a rychlostí 30 mm/s.

4.) Svaření pláště

Použité komponenty: Plášť.

Zakružený plech pláště tl. 1,2 mm je svařen tupým svarem ve dvou vrstvách. První svařovací vrstva je svařena s výkonem 2100 W, fokusací +4,7 a rychlostí 30 mm/s. Druhá vrstva je svařena s výkonem 1300W, fokusací +8,5 a rychlostí 40 mm/s.

5.) Kompletační svaření saturátoru

Použité komponenty: Svařené víko, svařené dno, svařený plášť, svařená přepážka.

Přivaření pláště a víka resp. dna (viz. Obr. 12). Svar je realizován pouze v jedné vrstvě s výkonem 2500 W, fokusací +12 a rychlostí 25 mm/s. Následně jsou ještě rozvařeny packy přepážky do víka.

Následuje kontrola svarů. U každého svaru je provedena vizuální kontrola a následně je každý saturátor tlakován vzduchem na 7 barů a každý pátý je tlakován vodou na 16 barů.

Následující část práce se zabývá svary vytvořenými v operacích 4 a 5.

3.3 Specifikace materiálu

Chrom niklová austenitická ocel. Dle ČSN 10088-1 1.4301 (X5CrNi 18-10). Známá také pod pojmem potravinářská nerez.

Chemické složení dle inspekčního certifikátu 3.1 vydaného dne 27. 8. 2014 společností BEBITZ Bereich Stabstahl (19)

Tabulka 3 – Chemické složení 1.4301

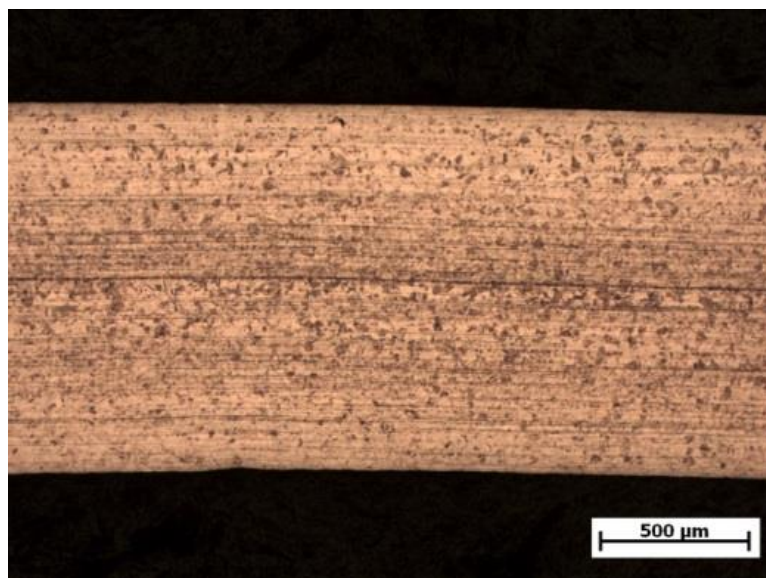
C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Ti	Mo	N	Cu	Co
0,025	0,27	0,82	0,038	0,025	18,62	8,15	0,004	0,09	0,048	0,31	0,190

Tabulka 4 – Mechanické vlastnosti

Mez 0,2 % (N/mm ²)		Pevnost v tahu (N/mm ²) min/max	Tažnost %
Podélně	Napříč		
190	225	500/850	20

„Je svařitelná, ale v oblasti svaru náchylná k mezikrystalické korozi.“ (20)

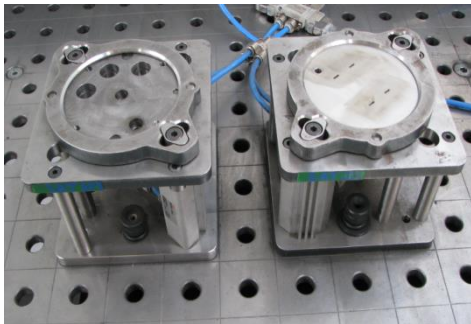
Problematika svařování této oceli je uvedena v kapitole 2.2.3.



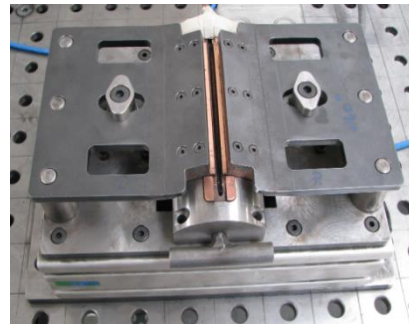
Obr. 18 – Plech z materiálu 1.4301, tloušťka 1,2 mm

3.4 Tvorba přípravků

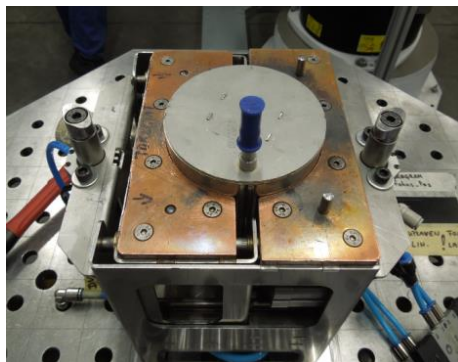
Nutnost tvorby precizních přípravků je jistě největším problémem laserového svařování. Abychom docílili kvalitního svaru, musí být splněny vysoce přesné požadavky slícování svarových ploch. Jelikož se svařuje bez přídavného materiálu, je nutné, aby mezera mezi svařovanými plochami byla maximálně 0,2 mm. Jen tak je zajištěna správná fúze svarových ploch a předejdeme vzniku vrubů. Při tvorbě přípravků je také důležité myslet na to, aby upínání a vyjímání svařence bylo pro obsluhu stroje z hlediska manipulace co nejjednodušší. Při svařování saturátorů se využívá pneumatických přípravků (Obr. 19-21).



Obr. 19 - Přípravek na zavaření komponent do víka - operace 1



Obr. 20 - Přípravek na svaření pláště – operace 4



Obr. 21 - Přípravek svaření pláště a dna - operace 5

3.5 Laserové pracoviště TruLaser Robot 5020

Veškeré svařecí operace jsou prováděny na robotickém pracovišti TruLaser Robot 5020 od firmy Trumpf (Obr. 22 - 23), který je vybaven stacionárním laserem Trudisc buzeným diodami o výkonu 4000 W, vyráběný firmou Trumpf. Pracoviště je vybaveno poloautomatickým otočným stolem.



Obr. 22 – TruLaser Robot 5020 ve firmě SINOP SMP



Obr. 23 - Svařovací robot – reklamní foto firmy Trumpf (21)

3.6 Experiment – Vliv množství průtoku formovacího plynu na kvalitu rohového obvodového svaru

3.6.1 Cíl experimentu

Cílem tohoto experimentu je zjistit, jak velký průtok formovacího plynu je dostačující pro vytvoření kvalitních svarů bez znečištění oxidy, které vznikají ve vrstvě okolo kořene svaru ve vnitřní části saturátoru. Pro tento účel se nechají svařit pláště a víka u čtyř zkušebních saturátorů. Dalším cílem je zjistit, které prvky se vylučují do vody a zda překračují povolené limity.

3.6.2 Motivace

Saturátory jsou používány v potravinářském průmyslu, kde jsou kladeny vysoké nároky na čistotu svaru. Černá vrstva oxidů, vzniklá při svařování, může znečistit vodu určenou ke konzumaci. Tvorbu oxidů lze minimalizovat formovacím plynem hnaným dovnitř nádoby, chránícím kořen svaru. Ve firmě SINOP SMP používají jako formovací plyn Argon 4.8 dodávaný firmou Linde. Pro maximální efektivitu je potřeba experimentálně zjistit, jak velký průtok formovacího plynu je dostačující pro vytvoření kvalitních svarů bez znečištění oxidy.

3.6.3 Provedení experimentu

U každého vzorku bude nastaven na redukčním ventilu jiný průtok formovacího plynu, který se bude měnit se vzestupnou tendencí. Vyzkouší se průtoky 0, 7, 14, 16, 18, 20, 22 a 30 l/min. Po celou dobu operace bude měřena hodnota zbytkového kyslíku uvnitř saturátoru.

Vlastnímu svařování předchází 15 sekundové vyplachování nádoby argonem (tzv. předfuk). Poté začne robot svařovat a tento proces trvá 19 sekund. Hodnota zbytkového kyslíku v nádobě se tedy bude měřit v 35 sekundovém intervalu. Získané hodnoty se vynesou do grafu a budou mezi sebou porovnány. Získané výsledky budou vyhodnoceny v závěru.

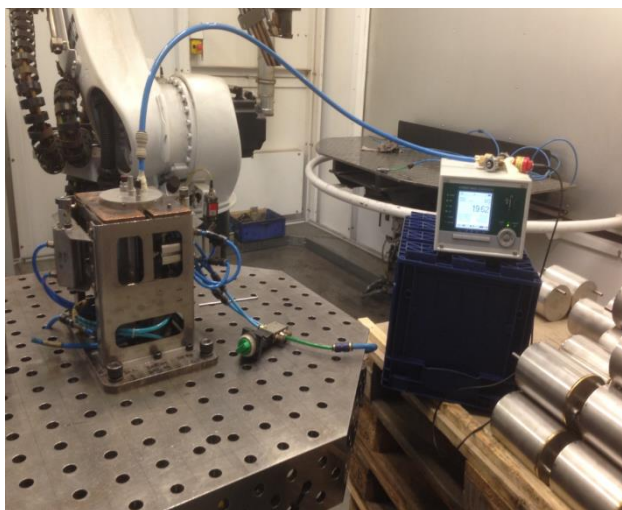
U saturátoru svařeného bez plynu a s průtokem 20 l/min bude provedena v hygienické laboratoři zdravotního ústavu zkouška chemického vyšetření. Zde se saturátory ponechají 72 hodin naplněné vodou, poté se bude zjišťovat, které prvky obsažené ve vodě překračují povolené limity. Výsledky chemického vyšetření jsou uvedeny v kapitole 4.1.

3.6.4 Požadavky na svar

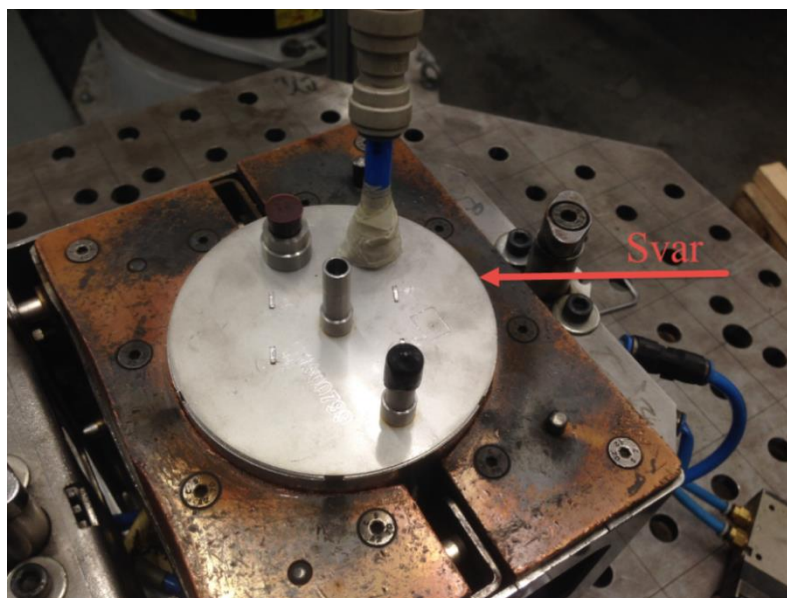
U obvodového rohového svaru, který spojuje 1,2 mm tlustý plášť a 2 mm tlusté víko resp. dno jsou požadavky na kvalitní svar bez provařeného kořene. Tím předejdeme vzniku zoxidovaných vrstev ve vnitřní části saturátoru, které by musely být odstraněny mořením. Dále je požadováno čisté okolí kořene svaru bez náběhových barev nebo s pouze lehce slámově žlutým zabarvením materiálu.

3.6.5 Měřicí aparatura

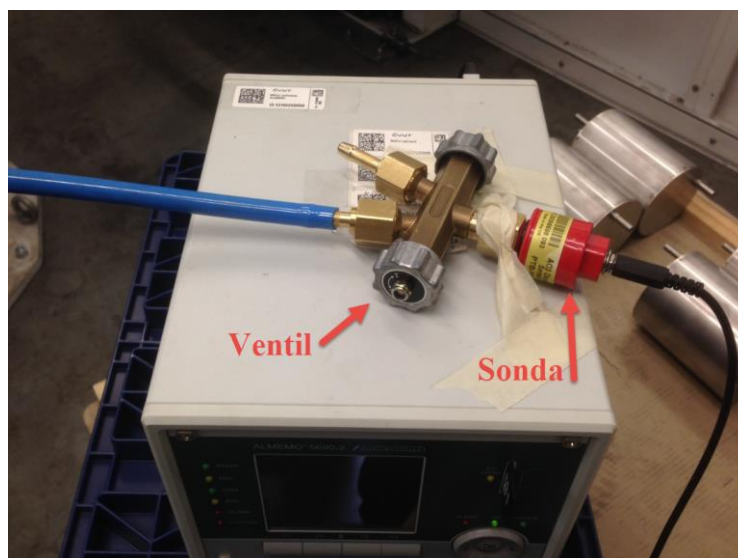
Množství zbytkového kyslíku bude měřeno sondou napojenou na měřicí ústřednu Almemo 5690-2M (obr. 24). Při svařování je nádoba upnuta v přípravku dnem rovnoběžně se stolem. Formovací plyn je do ní jedním otvorem hnán zespoda a v horní části odchází dvěma neucpanými nipyly. Na jeden z nich se napojí hadička (obr. 25) propojená s třicestným spojovacím ventilem, na jehož dalším výstupu je v závitě zašroubovaná měřicí sonda (obr. 26). Třetí výstup ventilu je volný, čímž docílíme nezbytné cirkulace vzduchu.



Obr. 24 – Měřicí aparatura a ústředna Almemo 5690-2M



Obr. 25 – Napojení hadičky, šipka značí rohový obvodový svar



Obr. 26 – Instalace sondy

3.6.6 Vyhodnocení vzorků – rohový obvodový svar

Na následujících fotografiích jsou detaily kořene svarů získané po rozříznutí saturátoru. Šipkou je uveden počátek a směr svařování. Počátek šipky značí místo

zahájení svařování. V pravém dolním rohu je uvedeno, zda svar vyhovuje nebo ne. Hodnotícím kritériem je zbarvení náběhových barev.

Svařování bez formovacího plynu

Tento průtok evidentně nevyhovuje. Je zde viditelná černá vrstva oxidů. Svařování bez formovacího plynu tedy není možné.



Obr. 27 – Svařování bez formovacího plynu

Svařování s průtokem 7 l/min

Ani tento průtok nevyhovuje. Vrstva oxidů je dokonce výraznější než při svaření bez formovacího plynu. To může být způsobeno tím, že protékající argon vytlačí vzduch, který má menší hustotu ke stěnám saturátoru a tím se do svarové lázně dostane více kyslíku.



Obr. 28 - Svařování s průtokem 7 l/min

Svařování s průtokem 14 l/min

U tohoto vzorku je patrná diference mezi začátkem svaru a koncem. Z toho lze usoudit, že nádoba před započítím svařování ještě obsahuje nepřijatelné množství zbytkového kyslíku a u kořene svaru vznikne vrstva oxidů, která však postupně světlá. V místě, kam se robot dostane přibližně po osmi vteřinách, je již kořen svaru pouze lehce slámově žlutě zbarvený. Celkově svar nevyhovuje.



Obr. 29 – Svařování s průtokem 14 l/min

Svařování s průtokem 20 l/min

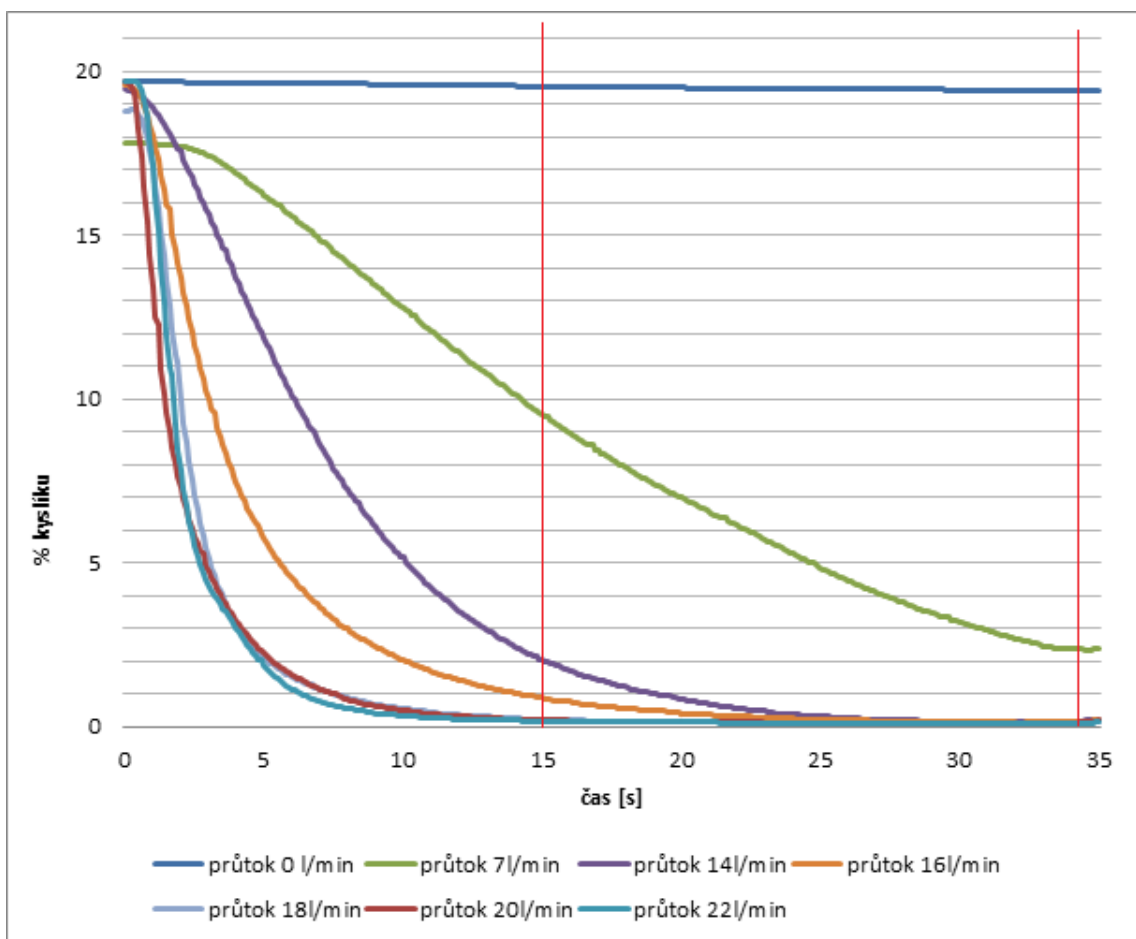
Zde je již okolí kořene svaru v pořádku po celém obvodu a svar vyhovuje. S tímto průtokem se běžně ve firmě svařuje.



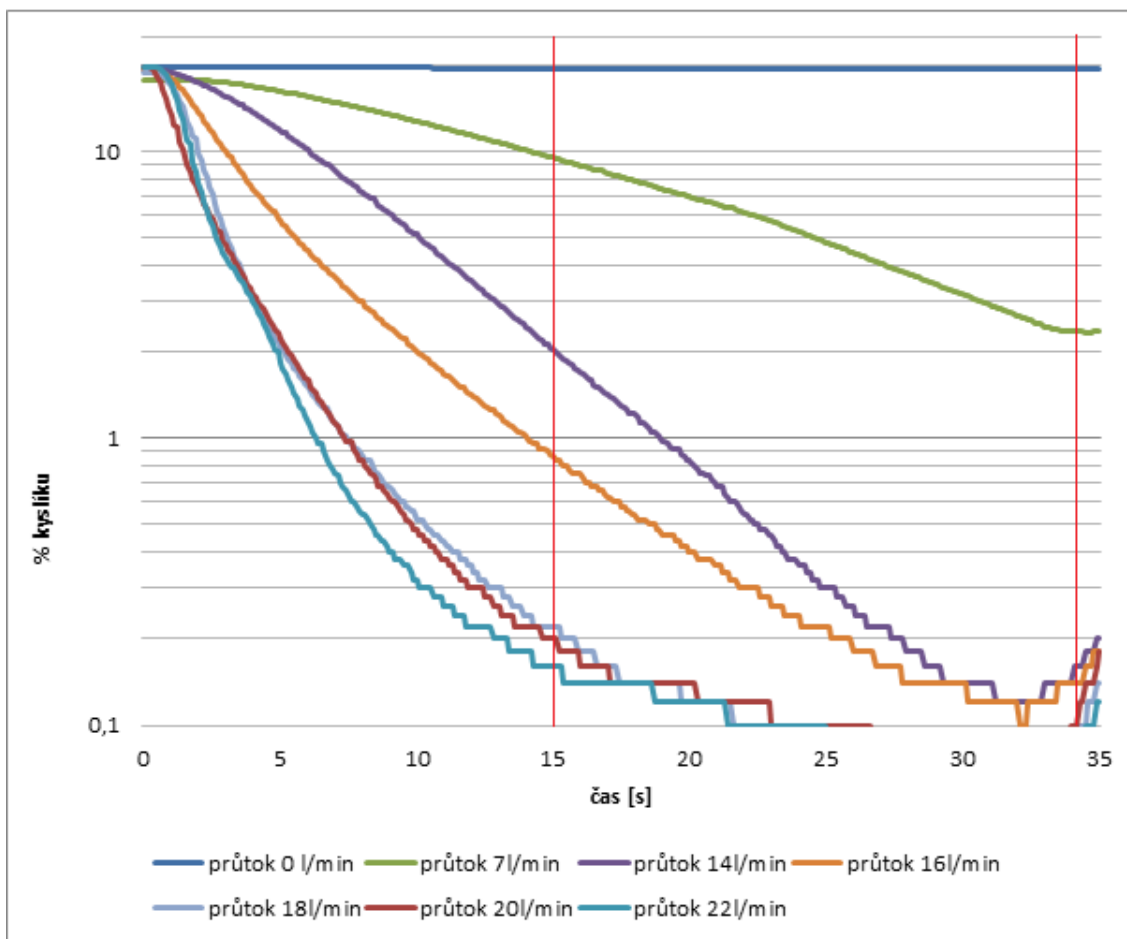
Obr. 30 - Svařování s průtokem 20l/min

3.6.7 Vyhodnocení naměřených dat

V Grafu 5 a Grafu 6 jsou zobrazeny naměřené hodnoty. Bohužel je nelze brát jako absolutní, protože použitá sonda měří jen v rozsahu setin % a pro laserové svařování požadujeme hodnotu zbytkového kyslíku maximálně 0,002 %. Můžeme je však brát jako referenční a určit z nich, kdy hodnota kyslíku v saturátoru plněném daným průtokem poklesne blízko k hodnotě 0 %. Svislá červená čára v grafech značí začátek svařování po 15 sekundách předfuku a ukončení foukání ochranného plynu v čase 34 s.



Graf 5 – Porovnání vlivu průtoků formovacího plynu na množství zbytkového kyslíku v saturátoru



Graf 6 – Viz Graf 5, osa y v logaritmickém měřítku

Závěr měření

Průtoky 0 a 7 l/min nepřípadají v úvahu. Průtok 14 l/min by byl možný, kdyby se prodloužila doba předfuku o 8 sekund, byl by saturátor již vypláchnut a oxidy by nevznikaly. Je však otázkou, zda je dražší 800 sekund svařovacího času nebo ušetřený plyn. U průtoku 16 l/min by se musela rovněž prodloužit doba vyplachování. Pro hodnoty 18, 20, 22 l/min vycházejí křivky poklesu obsahu zbytkového kyslíku téměř totožné. V následující kapitole je porovnána varianta s průtokem 14 l/min a prodlouženou dobou předfuku se standardní variantou, kterou firma používá.

3.6.8 Porovnání variant pro výrobu

Možnosti, které připadají v úvahu, se porovnávají (Tabulka 6) za předpokladu výroby v sérii 100 ks a za platnosti údajů o cenách uvedených v Tabulce 5.

Tabulka 5 - Údaje o cenách

Cena 1 tlakové lahve (objem cca 11 m ³ argonu)	2000 Kč
Hodinové režijní náklady laserového svařování	2500 Kč

11 000 litrů argonu stojí 2000 Kč → 1 litr argonu stojí 0,1818 Kč

Náklady na hodinu svařování 2500 Kč → 1 s laserového svařování stojí 0,6944 Kč

Tabulka 6 – Porovnání možností pro výrobu

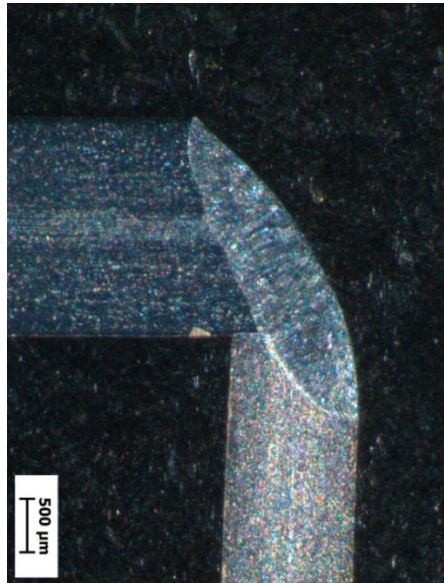
	Varianta 1	Varianta 2
Průtok	14 l/min	20 l/min
Předfuk	23 s	15 s
Svařování	19 s	19 s
Čas celkem	42 s	34 s
Plynu na kus	9,8 l	11,33 l
Cena plynu na kus	1,78 Kč	2,06 Kč
Plynu na 100 kusů	980 l	1133 l
Cena plynu na 100 kusů	178 Kč	206 Kč

Zhodnocení porovnání:

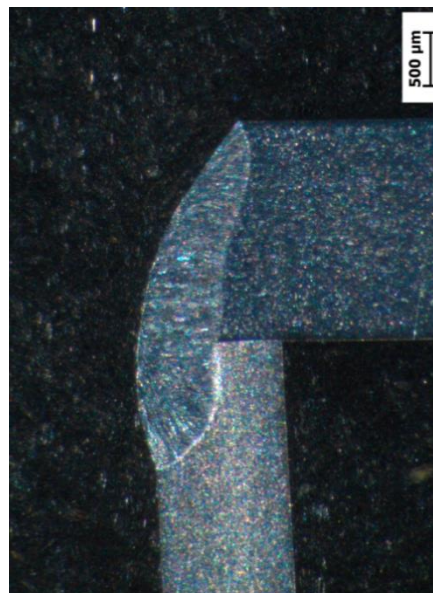
Experimentem byl zjištěn průtok formovacího plynu 14 l/min jako dostatečný pro vytvoření jakostního svaru bez znečištění kořene ve vnitřní části saturátoru oxidy. Při použití tohoto průtoku formovacího plynu (Varianta 1) se sice oproti variantě 2 ušetří ve vyrobené sérii 100 kusů 28 Kč za plyn, ale zároveň se prodlouží doba svařování o 800 sekund. Vzhledem k velmi vysokým hodinovým nákladům na práci laserového svářecího pracoviště stojí tento čas 556 Kč. Pro firmu je tedy výhodnější průtok plynu neměnit a svařovat dle varianty 2 s průtokem 20 l/min nebo použít průtok 18 l/min, při kterém byly dosaženy srovnatelné výsledky. V následující části práce bude cílem zjistit, zda má svařování bez formovacího plynu vliv na kvalitu svaru.

3.7 Metalografické výbrusy rohového obvodového svaru

Ze svařených vzorků saturátorů svařených bez formovacího plynu a se standardním průtokem 20 l/min. Zkoumán byl svar pláště a víka, tedy svar rohový obvodový. Pro větší objektivitu byly vyřezány vzorky ze dvou míst saturátoru, zkoumají se celkem čtyři vzorky. Vzorky 1 a 2 jsou vyříznuty ze svaru bez formovacího plynu a vzorky 3 a 4 ze svaru chráněného formovacím plynem.



Obr. 31 – Rohový svar víko-plášť vzorek č. 1; svařováno s formovacím plynem; výkon 2500 W, fokusace + 12, rychlost svařování 25 mm/s; 20x zvětšeno



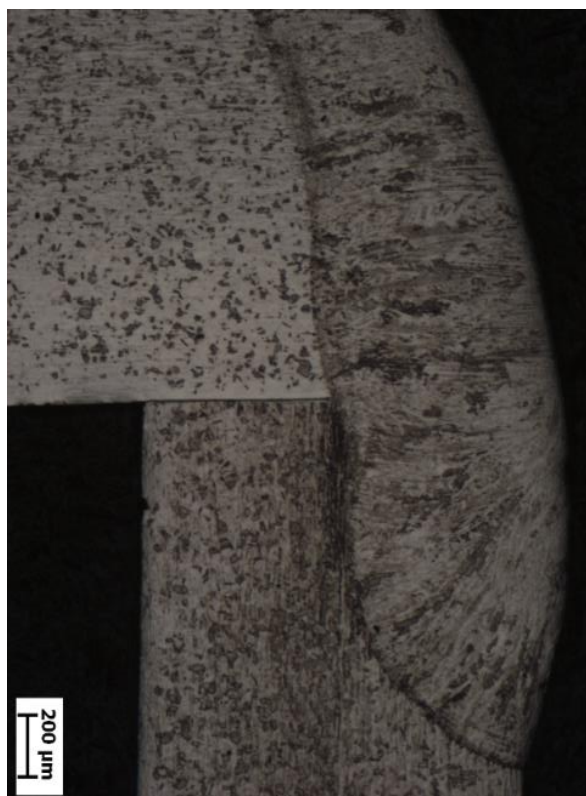
Obr. 32 – Rohový svar víko-plášť vzorek č. 3; svařováno bez formovacího plynu; výkon 2500 W, fokusace + 12, rychlost svařování 25 mm/s; 20x zvětšeno



Obr. 33 - Rohový svar víko-plášť vzorek č. 1; svařováno s formovacím plynem; výkon 2500 W, fokusace + 12, rychlost svařování 25 mm/s; 25x zvětšeno



Obr. 34 - Rohový svar víko-plášť vzorek č. 2; svařováno s formovacím plynem; výkon 2500 W, fokusace + 12, rychlost svařování 25 mm/s; 25x zvětšeno



Obr. 35 - Rohový svar víko-plášť vzorek č. 3; svařováno bez formovacího plynu; výkon 2500 W, fokusace + 12, rychlost svařování 25 mm/s; 25x zvětšeno



Obr. 36 - Rohový svar víko-plášť vzorek č. 4; svařováno bez formovacího plynu; výkon 2500 W, fokusace + 12, rychlost svařování 25 mm/s; 25x zvětšeno

3.7.1 Vyhodnocení metalografických výbrusů rohového obvodového svaru

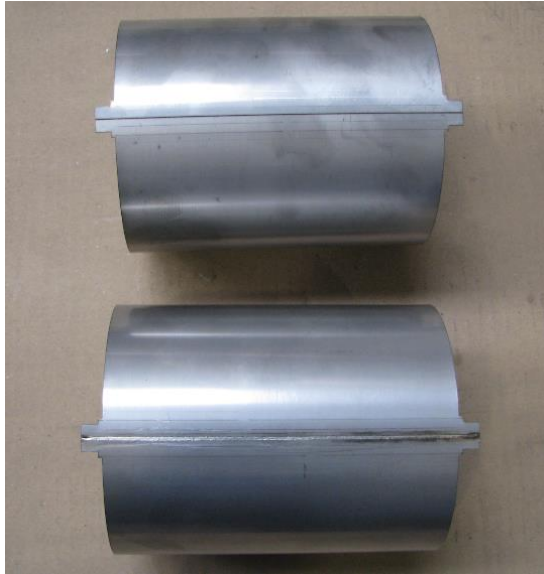
Z rohových obvodových svarů saturátorů svařených s průtokem 20 l/min a bez ochrany formovacím plynem byly v rámci experimentu vytvořeny metalografické výbrusy. Při porovnání jejich mikroskopických snímků není patrný žádný vliv zbytkového kyslíku na kvalitu svaru vytvořeného bez použití formovacího plynu. Je z nich však patrná nekonstantní hloubka průvaru (Obr. 33 a 34 nebo Obr. 35 a 36). Ta je způsobena tvarem zakruženého plechu pláště, který má tvar elipsy, a proto nedosahuje překrytí víka a pláště (Obr. 10) ve všech místech stejné hodnoty.

3.8 Svaření pláště

Svaření pláště tloušťky 1,2 mm je provedeno tupým svarem. Svařuje se opět ve dvou vrstvách. První svařovací vrstva je vytvořena při kontinuálním výkonu laserového svazku 1600 W s fokusací +4,7 a druhá vrstva (kosmetická) je svařena s výkonem 1400 W a s fokusací +10,0. Obě vrstvy jsou svařovány rychlostí 30 mm/s. Na rozdíl od koutového svaru, je zde vyžadován úplný průvar. Pro porovnání vlivu velikosti průtoku formovacího plynu na kvalitu tupého svaru byly svařeny 2 pláště s průtokem 20 l/min a bez ochrany formovacím plynem.

3.8.1 Technologické přídatky

Technologické přídatky (Obr. 38) ve formě plošek na levé i pravé straně pláště jsou součástí vyříznutého a zakruženého plechu. Slouží k vedení svaru a k eliminaci netěsností, zápalů či neprůvarů vzniklých na počátku a konci tupého svaru. Výsledkem je jakostní svar v celé délce. Pro další operace je přídatná plocha odříznuta.

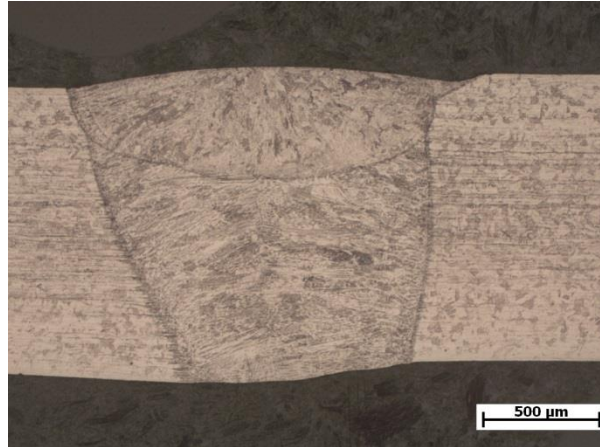


Obr. 37 – Technologický přídavek na stranách pláště

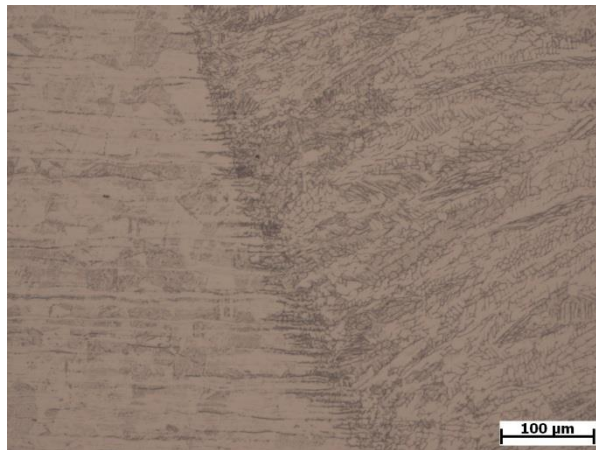
3.8.2 Metalografické výbrusy tupého svaru



Obr. 38 – Tupý svar vzorek č. 1, bez formovacího plynu; 1. vrstva – výkon 2100 W, fokusace + 4,7, rychlost svařování 30 mm/s; 2. vrstva – výkon 1300 W, fokusace + 8,5, rychlost svařování 40 mm/s; 25x zvětšeno



Obr. 39 – Tupý svar vzorek č. 2, s formovacím plynem; 1. vrstva – výkon 2100 W, fokusace + 4,7, rychlost svařování 30 mm/s; 2. vrstva – výkon 1300 W, fokusace + 8,5, rychlost svařování 40 mm/s; 25x zvětšeno



Obr. 40 – Tupý svar vzorek č.2, 100x

3.8.2 Vyhodnocení metalografických výbrusů tupého svaru

Na mikroskopických snímcích tupého svaru pláště (Obr. 38 a 39) je zřetelně vidět, že svařování proběhlo ve dvou vrstvách a svar je dostatečně provařen bez viditelných chyb. Na Obr. 40 lze pozorovat strukturu přechodu tepelně ovlivněné oblasti do základního materiálu. Rovněž je patrná austenitická dendritická struktura. Růst dendritických zrn je způsoben postupným tuhnutím taveniny.

3.9 Závěr experimentální části

V kapitole 3.6 byl proveden experiment s cílem zjistit ideální průtok formovacího plynu pro vytvoření požadovaného svaru bez vzniku náběhových barev ve vnitřní části saturátoru. Průtoky menší než 14 l/min nevyhověly požadavkům. Pro možnosti výroby byly navrženy dvě varianty. Varianta 1 s průtokem 14 l/min a s prodlouženou dobou předfuku 23 sekund a firmou používaná varianta 2 s průtokem 20 l/min a standardní dobou předfuku 15 sekund. Vzhledem k vysokým hodinovým nákladům na práci laserového pracoviště je výhodnější svařovat kratší dobu, proto bylo firmě doporučeno setrvání u průtoku 20 l/s.

V kapitole 3.7 a 3.8 bylo zjišťováno, zda svařování bez formovacího plynu ovlivní kvalitu svaru. Pro porovnání a názornou ukázkou byly vytvořeny metalografické výbrusy rohového obvodového svaru (kapitola 3.7) a tupého svaru (3.8). Na mikroskopických snímcích není zřetelný žádný vliv formovacího plynu na kvalitu svaru. Lze tedy stanovit, že použití formovacího plynu, při svařování saturátoru, má vliv pouze na eliminaci vzniku zoxidovaných vrstev uvnitř nádoby.

Na výbrusu obvodového svaru je však zřejmá nekonstantní hloubka průvaru. Ta je způsobená excentrickým tvarem pláště nádoby po nedokonalém zakružení plechu. Pro dosažení konstantního průvaru by měla obsluha robota naprogramovat trajektorii svařování s použitím více vytyčených bodů dotyku svařovací hlavice robota se saturátorem.

4 Výsledky dalších zkoušek

4.1 Závěr z laboratorního vyšetření vody

U saturátoru svařeného bez plynu a s plynem o průtoku 20 l/min byla provedena v hygienické laboratoři zdravotního ústavu zkouška chemického vyšetření. Zde se saturátory ponechaly 72 hodin naplněné vodou, poté se zjišťovalo, které prvky obsažené ve vodě překračují povolené limity.

Z výsledků laboratorního vyšetření vody lze stanovit závěr, že u obou zkoušených saturátorů nebyly překročeny limitní hodnoty (pro nikl – 20,0; pro mangan 0,050). U saturátoru svařeného bez formovacího plynu jsou však obsahy manganu

a niklu na hraně limitu (Tabulka 7). V případě většího provaření kořene by se limity mohly překročit. Proto je nutné svařovat s formovacím plynem.

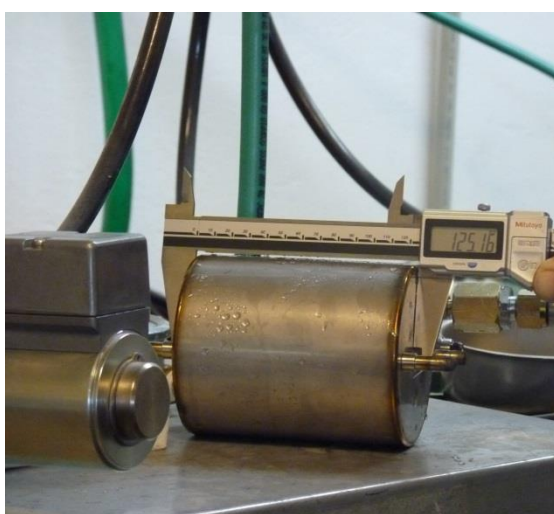
Tabulka 7 – Porovnání výsledků chemického vyšetření

Saturátor svařený	bez plynu	s průtokem 20 l/min
Protokol o zkoušce č.	50946/2015	50947/2015
Nikl [$\mu\text{g}/\text{l}$] – limit 20,0	7,0	18,0
Mangan [mg/l] – limit 0,050	0,023	0,040

Protokoly o výsledku zkoušek jsou v příloze.

4.2 Tlaková zkouška saturátoru

Na závěr praktické části je zde uvedena informace o tlakové zkoušce vodou saturátoru, kterou společnost Sinop SMP nechala provést v roce 2012 v externí laboratoři. U saturátoru, ve kterém je provozní tlak 9 barů bylo zjišťováno, při jak vysokém tlaku nastanou trhliny a deformace ve svarech. Ty se objevili až při tlaku 120 barů, což je více než třinácti násobná hodnota provozního tlaku. Trhlina navíc vznikla v zavařeném niplu, zatímco tupý svar pláště a koutový svar víka s pláštěm zůstali celistvé. To jasně dokazuje, jak jsou svary vytvořené laserem pevné a že i při neúplném provaření kořene svar vydrží i vysoké namáhání.



Obr. 41 – Saturátor před zkouškou



Obr. 42 – Saturátor při tlaku 115 barů

5 Závěr

V teoretické části bakalářské práce je rozebrána problematika svařování korozivzdorné oceli. Především možnosti a hodnocení její svařitelnosti. Korozivzdorná ocel se dle obsahu hlavních legur a dosažené mikrostruktury dělí do čtyř skupin, z nichž každá má specifické vlastnosti a různé možnosti svařitelnosti. Dále zde je na základě informací z citovaných zdrojů popsána technologie svařování laserem se zaměřením na pevnolátkové lasery. Ty jsou v dnešní době používány při svařování ve většině průmyslových aplikací.

Kvalita svaru vytvořeného laserových svařováním je závislá na mnoha faktorech, mimo jiné i na použitém asistenčním plynu. Plynem je chráněn i kořen svaru, tento proces je označován jako ochrana kořene formovacím plynem. Touto problematikou se zabývá i experimentální část práce, ve které je předmětem zkoumání saturátor vyráběný ve firmě Sinop SMP. V bakalářské práci je popsán princip jeho použití a technologie výroby. Konkrétně je zmapováno provedení dvou největších svarů a vliv použití formovacího plynu (argonu) na jejich kvalitu a na tvorbu zoxidovaných vrstev. Součástí jsou i metalografické výbrusy těchto svarů.

Jelikož je saturátor součástí výrobku sodové vody, podléhá jeho výroba normám stanoveným pro potravinářský průmysl. Ty určují limity pro množství prvků uvolňovaných do vody. Vzhledem k materiálovému složení korozivzdorné ocele, představují největší nebezpečí mangan a nikl. Dodržení stanovených limitů lze dosáhnout díky ochraně kořene formovacím plynem, kterým se zamezí vzniku zoxidovaných vrstev, ze kterých se tyto prvky do vody uvolňují. Rovněž byla experimentálně zjištěna efektivní hodnota průtoku formovacího plynu pro dosažení ideálního výsledku se zohledněním jakostních a ekonomických faktorů a provedena chemická zkouška pro zjištění rozdílu v obsahu prvků vyluhovaných ve vodě saturátoru svařeném s použitím formovacího plynu a bez něj.

6 Seznam citované literatury

1. Rosenberg, Pavel. *Způsoby svařování korozivzdorných ocelí*. Brno 2010. Diplomová práce, MZLU, Fakulta agronomická.
2. LAI, Joseph Ki Leuk, Kin Ho LO a Chan Hung SHEK. *Stainless steels: an introduction and their recent developments*. Dubai, United Arab Emirates: Bentham eBooks, [2012], iii, 168 p.
3. NĚMEC, Josef. *Svařování korozivzdorných a žárovzdorných ocelí*. 2. přeprac. vyd. Praha: Státní pedagogické nakladatelství, 1975, 45-61 s.
4. KOLAŘÍK, Ladislav. *Svařitelnost konstrukčních materiálů*. [Online] [Citace: 22. 4 2015.] http://u12133.fsid.cvut.cz/podklady/TMSV/svaritelnost_2.pdf.
5. HAJDÍK, Jiří, Michal HEINDRICH. *Svařitelnost vysocelegovaných ocelí*. [Online] Český svářečský ústav, Ostrava, 2007. [Citace: 10. 5 2015.] http://www.hadyna.cz/svetsvaru/technology/Sva%C5%99.vysoce.leg1_2007.pdf.
6. FOLDYNA, Václav. *Materiály a jejich svařitelnost: učební texty pro kurzy svářečských inženýrů a technologů*. 1. vyd. Ostrava: ZEROSS, 1999, 147-163 s. Svařování. ISBN 80-85771-63-2.
7. KUSALA, Jaroslav. *Lasery kolem nás*. [Online] 2004. [Citace: 15. 3 2015.] <http://www.cez.cz/edee/content/microsites/laser/laser.htm>.
8. FLIMEL, Karol. *Využití laseru v průmyslu - minulost a současnost*. [Online] 2014. [Citace: 16. 3 2015.] <http://www.lao.cz/lao-info-49/vyuziti-laseru-v-prumyslu--minulost-a-soucasnost-313>.
9. Kořán, P. Laserové svařování I. *Technik*. Roč. 19, č. 8 (2011), s. 32-33.
10. ROHAN, Pavel. Laserové technologie a jejich vývoj na trhu. *Svět svaru*. [Online] [Citace: 16. 3 2015.] http://www.hadyna.cz/svetsvaru/technology/2011-3_V%C3%BDvoj%20laserov%C3%A9%20technologie.pdf.
11. KAŠPAR, Jan. Plyny - neviditelné tajemství zpracování materiálu laserem. *Technik*. Roč. 20, č. 9 (2012), s. 22-23.

12. MRŇA, Libor. *Technologie využívající laser*. [Online] [Citace: 16. 3 2015.] http://ust.fme.vutbr.cz/svarovani/opory_soubory/hsv__specialni_metody_svarovani__svarovani_laserem_2013__mrna.pdf.
13. HADYNA, Daniel. Základní informace o technologii laserového svařování. *Svět svaru*. [Online] [Citace: 16. 3 2015.] http://www.hadyna.cz/svetsvaru/technology/2011-3_Laser.pdf.
14. NOVÁK, Miroslav. *Seriál na téma lasery - hlavní typy laserů používané v průmyslu*. [Online] [Citace: 16. 3 2015.] <http://www.lao.cz/lao-info-49/serial-na-tema-lasery---hlavni-typy-laseru-pouzivanych-v-prumyslu-128>.
15. LUKÁŠEK, Jaromír. *Laserové svařování*. [Online] [Citace: 16. 3 2015.] <http://www.welding.cz/laser/svarovani.htm>.
16. Linde Gas. Formování. [Online] [Citace: 20. 4 2015.] <http://www.vildman.eu/getattachment/9f572bc6-9974-4bbd-b71d-daec281b1bbd/Tpp-Formovani.aspx>.
17. Vyrobnik sodové vody. [fotografie] , [online]. [Citace: 20. 4. 2015]. Dostupné z: <http://www.sodovavoda.cz/277-Sodovka>.
18. Výrobek sodové vody Samba 1/5. [Fotografie], [Online]. [Citace: 19. 5 2015]. Dostupné z: <http://www.sinop.cz/vyrobky-a-sluzby/vyrobniky-sodove-vody>.
19. DIN EN 10204. BEBITZ Bereich Stabstahl. *Abnahmeprüfzeugnis 3.1*. 27. 8 2014.
20. INOX. Nerezová ocel 1.4301. [Online] [Citace: 14. 3 2015]. <http://www.inoxspol.cz/nerezova-ocel-14301.html>.
21. TruLaser Robot Series 5000. [Online] [Fotografie]. [Citace: 15. 3 2015]. <http://www.trumpf-laser.com/en/products/laser-systems/3d-laser-processing-systems/trulaser-robot-5020.html>.

7 Seznam tabulek

Tabulka 1 – Porovnání laserových zdrojů (14).....	22
Tabulka 2 – Třída čistoty plynů (11)	24
Tabulka 3 – Chemické složení 1.4301	32
Tabulka 4 – Mechanické vlastnosti	32
Tabulka 5 - Údaje o cenách	42
Tabulka 6 – Porovnání možností pro výrobu.....	42
Tabulka 7 – Porovnání výsledků chemického vyšetření	50

8 Seznam grafů

Graf 1 - Korozivzdorné oceli si při zvyšující teplotě zachovávají vyšší tuhost než oceli uhlíkové (2).....	10
Graf 2 - Porovnání pevnosti korozivzdorné a uhlíkové oceli v závislosti na teplotě (2) 10	
Graf 3 - Schaefferův diagram (5).....	12
Graf 4 – Vývoj laserových zdrojů (10).....	20
Graf 5 – Porovnání vlivu průtoků formovacího plynu na množství zbytkového kyslíku v saturátoru	40
Graf 6 – Viz Graf 5, osa y v logaritmickém měřítku.....	41


9 Seznam obrázků

Obr. 1 - Základní schéma laseru (8)	15
Obr. 2 – Dva režimy laserového svařování (12).....	18
Obr. 3 - Princip svařování paprskem v prostoru pracovní optiky (13).....	19
Obr. 4 - Schéma DPSS Nd: YAG laseru (14).....	20
Obr. 5 – Schéma LPSS Nd: YAG laseru (14).....	20
Obr. 6 – Schéma vláknového laseru (14).....	21
Obr. 7 – Aktivní prostředí pevnolátkových laserů a laseru diodového (14).....	22
Obr. 8 – Ochrana krycí vrstvy při svařování bez ochrany kořene	24
Obr. 9 - Umístění saturátoru ve výčepním zařízení (17)	27

Obr. 10 – Výkres saturátoru.....	27
Obr. 11 – 3D model saturátoru	28
Obr. 12 – Svařený výrobek	28
Obr. 13 – Saturátor zalitý v hliníkovém bloku	29
Obr. 14 – Blok zaizolovaný v PUR pěně.....	29
Obr. 15 – Trubky napojené na saturátor	29
Obr. 16 – Výrobník sodové vody v procesu montáže.....	29
Obr. 17 – Výrobník sodové vody Samba 1/5 (18).....	29
Obr. 18 – Plech z materiálu 1.4301, tloušťka 1,2 mm.....	32
Obr. 19 - Přípravek na zavaření komponent do víka - operace 1	33
Obr. 20 - Přípravek na svaření pláště – operace 4	33
Obr. 21 - Přípravek svaření pláště a dna - operace 5	33
Obr. 22 – TruLaser Robot 5020 ve firmě SINOP SMP.....	34
Obr. 23 - Svařovací robot – reklamní foto firmy Trumpf (21).....	34
Obr. 24 – Měřicí aparatura a ústředna Almeno 5690-2M.....	36
Obr. 25 – Napojení hadičky, šipka značí rohový obvodový svar	37
Obr. 26 – Instalace sondy	37
Obr. 27 – Svařování bez formovacího plynu.....	38
Obr. 28 - Svařování s průtokem 7 l/min	38
Obr. 29 – Svařování s průtokem 14 l/min.....	39
Obr. 30 - Svařování s průtokem 20l/min	39
Obr. 31 – Rohový svar víko-plášť vzorek č. 1; svařováno s formovacím plynem; výkon 2500 W, fokusace + 12, rychlost svařování 25 mm/s; 20x zvětšeno.....	43
Obr. 32 – Rohový svar víko-plášť vzorek č. 3; svařováno bez formovacího plynu; výkon 2500 W, fokusace + 12, rychlost svařování 25 mm/s; 20x zvětšeno.....	43
Obr. 33 - Rohový svar víko-plášť vzorek č. 1; svařováno s formovacím plynem; výkon 2500 W, fokusace + 12, rychlost svařování 25 mm/s; 25x zvětšeno.....	44
Obr. 34 - Rohový svar víko-plášť vzorek č. 2; svařováno s formovacím plynem; výkon 2500 W, fokusace + 12, rychlost svařování 25 mm/s; 25x zvětšeno.....	44
Obr. 35 - Rohový svar víko-plášť vzorek č. 3; svařováno bez formovacího plynu; výkon 2500 W, fokusace + 12, rychlost svařování 25 mm/s; 25x zvětšeno.....	45
Obr. 36 - Rohový svar víko-plášť vzorek č. 4; svařováno bez formovacího plynu; výkon 2500 W, fokusace + 12, rychlost svařování 25 mm/s; 25x zvětšeno.....	45
Obr. 37 – Technologický přírůstek na stranách pláště.....	47

Obr. 38 – Tupý svar vzorek č. 1, bez formovacího plynu; 1. vrstva – výkon 2100 W, fokusace + 4,7, rychlost svařování 30 mm/s; 2. vrstva – výkon 1300 W, fokusace + 8,5, rychlost svařování 40 mm/s; 25x zvětšeno	47
Obr. 39 – Tupý svar vzorek č. 2, s formovacím plynem; 1. vrstva – výkon 2100 W, fokusace + 4,7, rychlost svařování 30 mm/s; 2. vrstva – výkon 1300 W, fokusace + 8,5, rychlost svařování 40 mm/s; 25x zvětšeno	48
Obr. 40 – Tupý svar vzorek č.2, 100x	48
Obr. 41 – Saturátor před zkouškou	50
Obr. 42 – Saturátor při tlaku 115 barů	50

Příloha 1 – Protokol o zkoušce č. 50946/2015 (saturátor s plynem)

	Zdravotní ústav se sídlem v Ústí nad Labem Centrum hygienických laboratoří Moskevská 15, 400 01 Ústí nad Labem Zkušební laboratoř č.1388 akreditovaná ČIA podle ČSN EN ISO/IEC 17025:2005		
---	--	---	---

Protokol o zkoušce č. 50946/2015

Kontaktní materiály

Zákazník: SINOP SMP s. r. o.
Budějovická 466
370 01 Homole

Vzorek číslo	: 50946/2015
Objednávka číslo	: NV1501273
Místo odběru	: místo odběru neuvedeno
Název vzorku	: Saturátor - vz. č. 1
Matrice	: materiály a výrobky pro styk s vodou
Odběr provedl	: zákazník
Způsob odběru	: odběr zákazníkem
Typ odběru	: odběr vzorku(ů) zákazníkem
Účel odběru	: informace
Atributy vzorku	: Protokol tištěn mimo Labsys.
Datum příjmu	: 25.5.2015 8:00
Analýzy zahájeny dne	: 25.5.2015
Analýzy ukončeny dne	: 8.6.2015

Rozsah udělené akreditace:

Chemické, fyzikální, mikrobiologické, senzorické analýzy vod, potravin, lihovin, peloidů, biologických materiálů, odpadů, azbestu, ovzduší. Odběry, Analýzy výfuků pevných materiálů, stěrů, interiérů vozidel. Testy toxicity. Měření faktorů prostředí, kontrola sterilizátorů a dezinfekčních prostředků. Plný rozsah je uveden v příloze platného akreditačního osvědčení vydaného ČIA pro zkušební laboratoř č.1388.

Bez písemného souhlasu laboratoře se nesmí protokol reprodukovat jinak než celý. Výsledky se týkají pouze vzorků, které byly předmětem zkoušení. Laboratoř na požádání poskytne údaje o použitých metodách a souvisejících předpisech.



Schválil : **Homola Petr Ing.**
zástupce vedoucího laboratorního servisu pracoviště P1
Zpracoval : Pracoviště P1 Jana Černého 361, 503 41 Hradec Králové
tel.: 495 809 071, fax: 495 211 122. www.zuusti.cz



Datum vystavení protokolu: 8.6.2015 Infolinka: 844 06 06 06 E-mail: info@zuusti.cz
Protokol vyhotovil: Soblová Degmar E-mail: degmar.soblova@zuusti.cz

Výsledky zkoušek - chemická vyšetření								
Ukazatel	Hodnota	Jednotka	Nejistota	Limit	Interpretace	Ident. zkoušky	Prac.	Akr.
As (arzen)	1,6	µg/l	10%			SOP 201	P8	A
Cr (chrom)	0,3	µg/l	10%			SOP 201	P8	A
Cu (měď)	58,5	µg/l	10%			SOP 201	P8	A
Fe (železo)	0,07	mg/l	10%			SOP 201	P8	A
Mn (mangan)	0,023	mg/l	10%			SOP 201	P8	A
Ni (nikl)	7,0	µg/l	10%			SOP 201	P8	A
Pb (olovo)	0,4	µg/l	10%			SOP 201	P8	A
barva	<5	mg/l Pt				SOP 004	P1	A
chuť	1	prahové číslo				SOP 062	P1	A
konduktivita	54	mS/m	3%			SOP 011	P1	A
pach	1	stupeň				SOP 062	P1	A
pH	7,8		0,2			SOP 033	P1	A
zákal	0,47	ZF(n)	10%			SOP 044	P1	A

Poznámka k analýze : Podle požadavku zákazníka byl výrobek naplněn pitnou vodou z vodovodního řádu Hradce Králové (pH 7,5, mangan méně než 0,04 mg/l, měď méně než 5 µg/l, nikl méně než 2 µg/l) po dobu 72 hodin při laboratorní teplotě.

Metody v sloupci Akr.: A - akreditovaná zkouška

Vysvětlivky a zkratky: <-pod mezi stanovitelnosti použité metody (MS), SOP - standardní operační postup, Akr. - akreditace

*** - nelze posoudit shodu s limitem vzhledem k hodnotě v pásmu nejistoty měření

ZÚ-Zdrav. ústav se sídlem v Ústí nad Labem, S - subdodávka, Z-provedl zákazník - provozovatel

Zkratky hodnot a jednotek: KTJ - kolonie tvořící jednotka, ZF(n) - jednotka zákalu nefelometricky

Limit (zdroj pro provedení interpretace): bez platné legislativy

Nejistota měření: Uvedená nejistota nezahrnuje nejistotu vzorkování a nevztahuje se na výsledky pod mezi stanovitelnosti. Výsledky zkoušek jsou uváděny s nejistotou měření vyjádřenou jako rozšířená nejistota s koeficientem rozšíření k=2, což pro normální rozdělení odpovídá pravděpodobnosti pokrytí 95%.

Oprávnění laboratoře:

Laboratoř je způsobilá aktualizovat normativní dokumenty identifikující zkušební postupy. Laboratoř má přiznan flexibilní rozsah akreditace. Laboratoř může modifikovat své metody zkoušení, rozšiřovat rozsah zkoušených parametrů a/nebo aplikovat zkoušku na jiný předmět akreditace za předpokladu, že princip měření zůstává zachován.

Přehled zkušebních metod:

SOP 004	(ČSN EN ISO 7887)
SOP 011	(ČSN EN 27888)
SOP 033	(ČSN ISO 10523)
SOP 044	(ČSN EN ISO 7027)
SOP 062	(TNV 75 7340, ČSN EN 1622)
SOP 201	(EPA 200.8, Rev.5.4, 1994; ČSN EN ISO 17294-2)


Místo provedení zkoušky (P, Prac. - pracoviště) :

Pracoviště P8 Pasteurova 9, 400 01 Ústí nad Labem

Pracoviště P1 Jana Černého 361, 503 41 Hradec Králové

Konec výsledkové části protokolu o zkoušce

Příloha 2 – Protokol o zkoušce č. 50947/2015 (saturátor bez plynu)

	Zdravotní ústav se sídlem v Ústí nad Labem Centrum hygienických laboratoří Moskevská 15, 400 01 Ústí nad Labem Zkušební laboratoř č. 1388 akreditovaná ČIA podle ČSN EN ISO/IEC 17025:2005		
---	---	---	---

Protokol o zkoušce č. 50947/2015

Kontaktní materiály

Zákazník: **SINOP SMP s. r. o.**
Budějovická 466
370 01 Homole

Vzorek číslo	: 50947/2015
Objednávka číslo	: NV1501273
Místo odběru	: místo odběru neuvedeno
Název vzorku	: Saturátor - vz. č. 2
Matrice	: materiály a výrobky pro styk s vodou
Odběr provedl	: zákazník
Způsob odběru	: odběr zákazníkem
Typ odběru	: odběr vzorku(ů) zákazníkem
Účel odběru	: informace
Atributy vzorku	: Protokol tištěn mimo Labsys.
Datum příjmu	: 25.5.2015 8:00
Analýzy zahájeny dne	: 25.5.2015
Analýzy ukončeny dne	: 8.6.2015

Rozsah udělené akreditace:

Chemické, fyzikální, mikrobiologické, senzorické analýzy vod, potravin, lihovin, petrolií, biologických materiálů, odpadů, azbestu, ovzduší. Odběry. Analýzy vyluhů pavných materiálů, stěrů, interiérů vozidel. Testy toxicity. Měření faktorů prostředí, kontrola sterilizátorů a dezinfekčních prostředků. Plný rozsah je uveden v příloze platného akreditačního osvědčení vydaného ČIA pro zkušební laboratoř č.1388.

Bez písemného souhlasu laboratoře se nesmí protokol reprodukovat jinak než celý. Výsledky se týkají pouze vzorků, které byly předmětem zkoušení. Laboratoř na požádání poskytne údaje o použitých metodách a souvisejících předpisech.



Schválil : **Homola Petr Ing.**
zástupce vedoucího laboratorního servisu pracoviště P1
Zpracoval : Pracoviště P1 Jana Černého 361, 503 41 Hradec Králové
tel.: 495 809 071, fax: 495 211 122, www.zuusti.cz



Datum vystavení protokolu: 8.6.2015 Infolinka: 844 06 06 06 E-mail: info@zuusti.cz
Protokol vyhotovil: Sobolová Dagmar E-mail: dagmar.sobolova@zuusti.cz

Strana: 12

Výsledky zkoušek - chemická vyšetření								
Ukazatel	Hodnota	Jednotka	Nejistota	Limit	Interpretace	Ident. zkoušky	Prac.	Akr.
As (arzen)	0,2	µg/l	10%			SOP 201	P8	A
Cr (chrom)	0,3	µg/l	10%			SOP 201	P8	A
Cu (měď)	49,9	µg/l	10%			SOP 201	P8	A
Fe (železo)	0,05	mg/l	10%			SOP 201	P8	A
Mn (mangan)	0,040	mg/l	10%			SOP 201	P8	A
Ni (nikl)	18,0	µg/l	10%			SOP 201	P8	A
Pb (olovo)	0,3	µg/l	10%			SOP 201	P8	A
barva	<5	mg/l Pt				SOP 004	P1	A
chuť	1	prahové číslo				SOP 062	P1	A
konduktivita	54	mS/m	3%			SOP 011	P1	A
pach	1	stupeň				SOP 062	P1	A
pH	7,6		0,2			SOP 033	P1	A
zákal	0,39	ZF(n)	10%			SOP 044	P1	A

Poznámka k analýze : Podle požadavku zákazníka byl výrobek naplněn pitnou vodou z vodovodního řádu Hradce Králové (pH 7,5, mangan méně než 0,04 mg/l, měď méně než 5 µg/l, nikl méně než 2 µg/l) po dobu 72 hodin při laboratorní teplotě.

Metody v sloupci Akr.: A - akreditovaná zkouška

Vysvětlivky a zkratky: <-pod mezí stanovitelnosti použité metody (MS), SOP - standardní operační postup, Akr. - akreditace
*** - nelze posoudit shodu s limitem vzhledem k hodnotě v pásmu nejistoty měření

ZÚ-Zdrav.ústav se sídlem v Ústí nad Labem, S - subdodávka, Z-provedl zákazník - provozovatel

Zkratky hodnot a jednotek: KTJ - kolonie tvořící jednotka, ZF(n) - jednotka zákalu nefelometricky

Limit (zdroj pro provedení interpretace): bez platné legislativy

Nejistota měření: Uvedená nejistota nezahrnuje nejistotu vzorkování a nevztahuje se na výsledky pod mezí stanovitelnosti. Výsledky zkoušek jsou uváděny s nejistotou měření vyjádřenou jako rozšířená nejistota s koeficientem rozšíření k=2, což pro normální rozdělení odpovídá pravděpodobnosti pokrytí 95%.

Oprávnění laboratoře:

Laboratoř je způsobilá aktualizovat normativní dokumenty identifikující zkušební postupy. Laboratoř má přiznán flexibilní rozsah akreditace. Laboratoř může modifikovat své metody zkoušení, rozšiřovat rozsah zkoušených parametrů a/nebo aplikovat zkoušku na jiný předmět akreditace za předpokladu, že princip měření zůstává zachován.

Přehled zkušebních metod:

SOP 004	(ČSN EN ISO 7887)
SOP 011	(ČSN EN 27888)
SOP 033	(ČSN ISO 10523)
SOP 044	(ČSN EN ISO 7027)
SOP 062	(TNV 75 7340, ČSN EN 1622)
SOP 201	(EPA 200.8, Rev.5.4, 1994; ČSN EN ISO 17294-2)



Místo provedení zkoušky (P, Prac. - pracoviště) :

Pracoviště P8 Pasteurova 9, 400 01 Ústí nad Labem

Pracoviště P1 Jana Černého 361, 503 41 Hradec Králové


Konec výsledkové části protokolu o zkoušce

Příloha 3 – Protokol z roku 2012 (jen pro informaci o limitech)

L 1384

Zdravotní ústav se sídlem v Ústí nad Labem
Zkušební laboratoř Plzeň
Zkušební laboratoř č.1384 akreditovaná ČIA
 17.listopadu 1, 301 00 Plzeň



ÚSTÍ NAD LABEM

Zkušební laboratoř akreditovaná ČIA pod č.1384 dle ČSN EN ISO/IEC 17 025:2005 pro chemické, mikrobiologické a biologické zkoušky vod, půdy, potravin, PBU, ovzduší (včetně analýz odebraných vzorků), odpadů, sedimentů, kalů, ploidů, písků, předmětů pro styk s pitnou vodou a stěrů. Odběry vzorků vod, ovzduší, potravin, biologického materiálu, zemin, sedimentů. Kontrola sterilizátorů, dezinfekčních prostředků a prostředí. Měření hluku, osvětlení, vibrací, mikroklimatu a elektromagnetického pole.
 Zkoušky materiálů pro interiéry motorových vozidel.

PROTOKOL č. 13233/2012

Číslo objednávky : NV1201047

Přijem vzorku : 24.5.2012

Datum analýzy : 24.5.2012 - 11.6.2012

Zákazník : SINOP CB a.s.

Pod Stromovkou 205

Litvínovice

370 01 České Budějovice

Vzorek číslo :	15748/2012	Čas odběru :	neuvedeno
Datum odběru :	24.5.2012		
Název vzorku :	Saturátor - vz.č.1		
Matrice :	vodný výluh		
Vzorkoval :	zákazník		
Poznámka :	Dle požadavku zákazníka byl výrobek naplněn pitnou vodou z budějovického řadu (pH 7,6, mangan 0,020 mg/l, nikl méně než 1 µg/l, měď méně než 1 µg/l) po dobu 72 hodin při teplotě laboratoře.		

Výsledky zkoušení - chemické vyšetření

Ukazatel	Hodnota	Jednotka	*Limit	TYP	Použitá metoda	Nejistota
As (arzen)	<1,0	µg/l	max.10,0	A	SOP PZ 200.01 ČSN EN ISO 15 586,ČSN EN 596,ČSN ISO 11969,ČSN ISO 9965,ČSN EN ISO (3)	-
barva	2	mg/l Pt	max.20	A	SOP PZ 004 (ČSN EN ISO 7887) (3)	±15%
Cr (chrom)	<1	µg/l	max.50	A	SOP PZ 200.01 ČSN EN ISO 15 586,ČSN EN 596,ČSN ISO 11969,ČSN ISO 9965,ČSN EN ISO (3)	-
chut'	příjemná		příjemná	A	SOP PZ 034.01 (ČSN EN 1622, TNV 75 7340) (3)	-
elektrická konduktivita	24,0	mS/m	max.125	A	SOP PZ 011 (ČSN EN 27888) (3)	±5%
Mn (mangan)	0,035	mg/l	max.0,050	A	SOP PZ 200.01 ČSN EN ISO 15 586,ČSN EN 596,ČSN ISO 11969,ČSN ISO 9965,ČSN EN ISO (3)	±20%
Cu (měď)	82	µg/l	max.1000	A	SOP PZ 200.01 ČSN EN ISO 15 586,ČSN EN 596,ČSN ISO 11969,ČSN ISO 9965,ČSN EN ISO (3)	±12%
Ni (nikl)	4	µg/l	max.20	A	SOP PZ 200.01 ČSN EN ISO 15 586,ČSN EN 596,ČSN ISO 11969,ČSN ISO 9965,ČSN EN ISO (3)	±20%
Pb (olovo)	<1	µg/l	max.25	A	SOP PZ 200.01 ČSN EN ISO 15 586,ČSN EN 596,ČSN ISO 11969,ČSN ISO 9965,ČSN EN ISO (3)	-
pach	příjemný		příjemný	A	SOP PZ 034.01 (ČSN EN 1622, TNV 75 7340) (3)	-
pH	7,4		6,5 - 9,5	A	SOP PZ 033 (ČSN ISO 10523) (3)	±3%
zákal	0,60	ZF(n)	max.5	A	SOP PZ 044.01 (ČSN EN ISO 7027) (3)	±15%
Fe (železo)	0,040	mg/l	max.0.20	A	SOP PZ 051.01 (3)	±17%