

Barevné popisování korozivzdorných ocelí laserem

Bc. Lucie Forejtová, Ing. Petr Vondrouš, Ph.D., IWE

ČVUT v Praze, Fakulta strojní, Ústav strojírenské technologie, Technická 4, 166 07 Praha 6, Česká republika

Abstrakt

Tato práce se zabývá popisováním korozivzdorných ocelí pomocí laserového svazku a využití této technologie pro vytvoření různých barevných grafických motivů. V úvodní části práce jsou rozebrány lasery obecně, bezpečnost práce na nich a specifikace korozivzdorných ocelí. Následuje popis laseru, na kterém byl pokus prováděn, a rozbor chrom niklové austenitické oceli použité pro experiment. Zvoleným grafickým motivem bylo označeno několik různých vzorků s rozdílnými hodnotami nastavení laseru. Pro zhodnocení výsledných grafických motivů byla použita vizuální kontrola na denním světle.

Klíčová slova: Popisování, laser, korozivzdorná ocel

1. Úvod – Barevný laserový popis

Laserový popis je technologie sloužící k vytvoření trvalého grafického či jiného motivu na povrchu značeného předmětu. Tento motiv vzniká tepelným působením laserového svazku, který odstraňuje vrstvu materiálu určité tloušťky nebo jej povrchově kalí a tím je vytvořený požadovaný vizuální efekt. Výsledný efekt lze změnami parametrů svazku měnit.

V současnosti se pro barevný popis nejvíce používají vláknové lasery. Barevné značení laserem je snadné, rychlé a efektivní a výsledný povrch je vizuálně pěkný. Barvy se mění nastavením různých parametrů laserového paprsku. Značení laserem lze v současnosti využívat i v automatické výrobě, kdy lze součást popisovat i za pohybu.

Touto metodou popisujeme všechny známé materiály jako kalené oceli, nástrojové oceli a jejich slitiny, hliník, eloxované duraly, nerez, plasty, samolepící folie, sklo, keramiku a korozivzdorné oceli, aj.

U korozivzdorných ocelí popis funguje na principu povrchové oxidace kovů za pomoci oxidačního činidla. Na povrchu kovu spontánně vzniká tenká vrstva oxidů, pokud k tomu má ideální podmínky. Při rovnoměrném zahřívání povrchu, pomocí laseru za přítomnosti kyslíku v okolní atmosféře, vzniká tenký film oxidů chromu (oxidická vrstva převážně z Cr_2O_3) a dalších prvků obsažených v oceli v menším množství, včetně nečistot. Čím více kyslíku, tím větší nárůst oxidační vrstvy, z toho vyplývá, že popis nelze uskutečnit v inertní atmosféře. Podle tloušťky vrstvy oxidů dochází k interferenci světla na této vrstvě a vytvoření popisu určité barvy.

Vynikající grafická kvalita popisu (viz. Obrázek 1), vyplývá z mimořádně přesného a jemného zpracování písmen, znaků a grafických předloh. Laserové značení má mnohem větší trvanlivost než jiné metody, je nesmazatelné, ořez odolné. Velkou výhodou je rychlost, zabezpečující vysokou produktivitu zařízení a tím i nízkou cenu popisu. [1]

Cílem této práce je literární rešerše k problematice barevného popisu korozivzdorných ocelí laserem a expe-

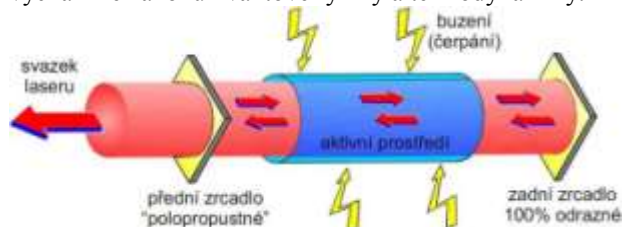
perimentální práce na barevném popisu. Na základě uvedené analýzy následuje provedení vyhodnocení vlivu jednotlivých parametrů laseru na výsledné barvy popisu.



Obr. 1. Laserový popis na ocelových destičkách [2]

1.1. Laser

Slovo laser je zkratkou jevu, ke kterému v laseru dochází, zesilování světla stimulovanou emisí záření, z anglického Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation. [1]. Laser je obecně optický zesilovač, který generuje elektromagnetické záření. Jeho princip vychází ze zákonů kvantové fyziky a termodynamiky.



Obr. 2. Základní schéma laseru [2]

Na obrázku 2 je znázorněno obecné schéma laseru. Základem laseru je aktivní prostředí, které je buzeno například opticky, nebo elektricky, aj. Buzením dodáváme laseru energii, která je potom právě pomocí procesu stimulované emise vyzářena v podobě laserového svazku. K tomu je potřeba optický rezonátor, který je ve většině případů tvořen odraznými zrcadly.

Obecně lze říci, že v aktivním prostředí je vždy element, který se může nacházet v základním stavu s nižší energií, nebo ve vybuzeném stavu s vyšší energií [2].

Tímto elementem je buď atom, nebo molekula, které spontánně přecházejí z vyššího do nižšího energetického stavu, kde je stav termodynamické rovnováhy, tím vyzáří foton, což je kvantum elektromagnetického záření. Právě díky buzení tento stav porušíme a převedeme aktivní prostředí do excitovaného stavu, kdy je většina elementů ve stavu s vyšší energií. V tuto chvíli lze energii dodanou aktivním prostředím přeměnit na laserový svazek (proud fotonů) pomocí procesu stimulované emise.

V principu jde o lavinový efekt, kdy foton dopadající na vybuzený atom způsobí přechod z horní na dolní energetickou hladinu a přitom dojde k emisi dalšího fotonu. Díky pohybu fotonů rezonátorem od jednoho zrcadla k druhému, jejich počet roste, dochází k výše popsanému lavinovému efektu a uvolnění energie v podobě proudu fotonů, které tvoří výsledný viditelný svazek laseru.

1.2. Výhody vláknových laserů

Vláknové lasery jsou vhodné pro automatizaci, pro kombinace s roboty. Nevyžadují složité chlazení, jelikož vláknová geometrie umožňuje velmi efektivní chlazení. U vláknů je velký poměr plochy pláště vůči celkovému objemu. U většiny zařízení proto stačí chlazení vzduchem místo chlazení vodou.

Jednotlivé části vláknového laseru jsou k sobě pevně spojeny svarem, nevyžadují proto časově náročné pravidelné nastavování a servis, jsou nenáročné na obsluhu a mají dlouhou životnost 50 000 až 100 000 hodin [3]. Jsou kompaktní a prostorově nenáročné.

2. Bezpečnost práce s lasery

Práce s lasery sebou nese možnost ohrožení zdraví laserovým zářením. Současný stav znalostí o bezpečnosti a ochraně zdraví při práci s lasery je obsažen v platných právních předpisech. Dle nařízení vlády č.1/2008 Sb., o ochraně zdraví před neionizujícím zářením, se laserem rozumí jakékoliv zařízení, které může být upraveno k vytváření, nebo zesilování elektromagnetického záření v rozsahu vlnových délek optického záření kontrolovanou stimulovanou emisí. [4, 5]

Pokud je člověk vystaven laserovému záření, může dojít k riziku poškození zraku, nebo kůže. Laserové záření má vlnovou délku 180 nm až 2000 nm a zahrnuje viditelné i okem neviditelné ultrafialové, infračervené záření. Záření laserů je vysoce intenzivní, proto se před ním nelze chránit zavřením očí, či odvrácením hlavy, jelikož ještě před tím může dojít k poškození oka.

Pro ochranu zdraví při manipulaci s lasery jsou stanovena pravidla, při jejichž dodržení nehrozí poškození zdraví. Veškeré důležité informace jsou uvedeny v technické dokumentaci, která musí být připojena ke každému laseru (vlnová délka zařízení, druh aktivního prostředí, typ třídy bezpečnosti daného laseru, montáž a instalace zařízení, návod k obsluze, důležitá upozornění,

aj. Všechny lasery musí být označeny výstražným symbolem, který varuje před nebezpečím, viz. Obrázek 3.



Obr. 3. Symboly varující před laserovým zářením [6]

3. Experimentální část

3.1 Materiál

Materiál pro experiment je austenitická korozivzdorná ocel 1.4301 (X5CrNi18-10), která byla zvolena pro tento experiment majitelem firmy LCV Praha s.r.o., na jehož laseru byl experiment prováděn. Tato ocel byla zvolena pro její snadnou dostupnost, korozivzdornost, žárupevnost a široké použití v různých odvětvích průmyslu. Chemické složení této oceli je uvedeno v tabulce 1.

Tabulka 1. Chemické složení oceli 1.4301

| C | Cr | Ni | Mn | N | Si | P, S |
|--------|-------------|----------|-------|-------|-----|----------|
| < 0,07 | 17,5 - 19,5 | 8,0-10,5 | < 2,0 | < 0,1 | < 1 | Max 0,03 |

3.2 Laserový zdroj

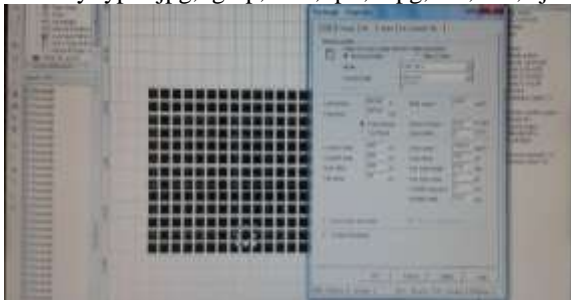
Experiment byl prováděn ve školních laboratořích na zapůjčeném laseru z firmy LCV Praha s.r.o., později pokračoval i přímo v sídle společnosti. Barevný popis probíhal na vláknovém laseru redENERGY G4 firmy SPI Laser, obrázek 4. Laserový paprsek je veden optickým vláknem do galvanoscanneru R-14 D2 firmy RAYLASE s objektivem F-Theta 163 mm. Pohyb z-tové souřadnice galvanoscanneru je ovládána pomocí elektronického boxu, který je umístěn na pracovním stole laseru.



Obr. 4. Galvanoscanner RL-14 D2 – RAYLASE umístěný v boxu

Celý systém je řízen počítačovým programem RAYLASE AG weldMARK 2.0, jehož parametry jsou uvedeny v tabulce 2 a je zobrazen na obrázku 5. Je zde možné vytvářet jakékoli grafické motivy popisu, nebo nahrávat

soubory vytvořené v jiných programech. Program otevírá soubory typu: .jpg, .gmp, .dfx, .plt, .hpg, .stl, .txt, aj.



Obr. 5. Plocha čtverců a nastavování jejich parametrů v počítačovém programu RAYLASE AG weldMARK 2.0

Tabulka 2. Parametry laserového zdroje

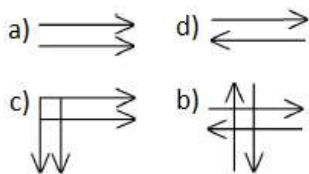
| RedENERGY G4 – SI Laser | | | | |
|-------------------------|--------------|-------------------|-----------|---------------------------------|
| Max výkon | Vlnová délka | Mín energie pulsu | Napájení | Frekvenční rozsah pulsního módu |
| 40W | 1064nm | 1,25mJ | 24V, 300W | 1-1000kHz |

3.3 Nastavení parametrů na laseru

Zde uvedu nejdůležitější parametry při práci na laseru, které budou dále vysvětleny a následně budou konkrétní hodnoty použity při experimentu.

Nejdůležitějšími parametry při popisu jsou:

- Ohnisková vzdálenost h [mm]
- Výkon laseru 0 – 100 %
- Rychlost značení v [mm/s]
- Frekvence f [kHz]
- Směr a typ řádkování, viz obrázek 6
- Rychlost, četnost opakování a délka pulzu



Obr. 6. Směr a typ řádkování: a) jednosměrné linkování, b) obousměrné linkování, c) jednosměrné linkování křížem, d) obousměrné linkování křížem

Velmi důležitým faktorem je povrchová teplota, tepelná zátěž, která působí na značený povrch. Ovlivňuje jí vstupní energie paprsku na ploše, rychlost skenování a řádkování. Cílem je udržovat stálou povrchovou teplotu, aby byl vytvořen jednotný barevný povrch. Vytvořená tenká vrstva oxidů vzroste na určitou tloušťku a vytvoří požadovaný tenký film oxidů.

Pokud je povrchová vrstva oxidů dostatečně silná, bude mít také vysokou odolnost proti poškrábání, čím tenčí vrstva, tím horší odolnost. Na tloušťce závisí také výsledná drsnost a barva povrchu, jakou uvidí divák, v závislosti na kvalitě vrstvy oxidu, se barva může měnit při pohledu pod různými úhly a osvětlení (umělé, přirozené). Na obrázku 7 je vidět 16 různých barev dosažených laserovým popisem jiným výzkumným týmem.



Obr. 7. Různé barvy na povrchu oceli [7]

3.4 Hodnocení výsledné barvy

Jelikož je barevný popis založen na odrazu světla od povrchu kovu přes tenkou oxidickou vrstvu oxidů, je zde důležitý úhel pozorování a prostředí, ve kterém budou barvy hodnoceny. Neoptimálnější je hodnotit barevný povrch na přirozeném světle, kdy je dostatečná viditelnost. Také závisí na povrchu, zda je hladký, nebo zaoblený a na výsledném vzoru, aby byly co nejvíce zdůrazněny nejdůležitější části.

3.5 Výsledky experimentu

Všechny vzorky byly pečlivě očištěny technickým lihem od otisků a mastnoty, tyto nečistoty by mohly mít jinak vliv a tloušťku oxidické vrstvy a tím i na výsledné zbarvení povrchu. Výsledky experimentu byly hodnoceny na základě vizuální kontroly pod umělým a následně i denním světle, v rámci možností pracovního prostoru.

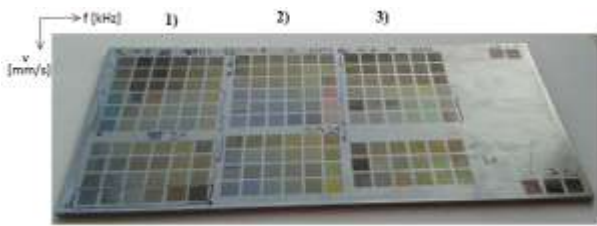
Pomocí počítačového programu zmíněného výše byla navržena tabulka čtverců o rozměrech 4x4 mm na plochu zkoušeného vzorku. Každému čtverci z této soustavy byly naprogramovány jiné parametry, které zajistí možnost porovnání vlivu jednotlivých parametrů na barvu popisu.

Vzorek č. 1

V tabulce 3 je nastavení hodnot pro první vzorek, který je na obrázku 8.

Tabulka3. Použité hodnoty pro 1 vzorek

| | |
|--|--|
| 1) pole (6x6) | x osa – frekvence od 100 – 350 kHz (po 50 kHz) y osa – rychlost 100 – 400 mm/s (po 50 mm/s) řádkování – obousměrné křížem, s rozestupy 0, 02 mm ohnisková vzdálenost 215 mm |
| • Spodní 4 řádky jsou se stejnými parametry ale 2 přejezdy po sobě | |
| 2) pole (6x6) | x osa – frekvence od 100 – 350 kHz (po 50 kHz) y osa – rychlost 100 – 400 mm/s (po 50 mm/s) řádkování – jednosměrné, s rozestupy 0, 02 mm ohnisková vzdálenost 215 mm |
| • Spodní 4 řádky jsou se stejnými parametry ale 2 přejezdy po sobě | |
| 3) pole (6x6) | x osa – frekvence od 100 – 350 kHz (po 50 kHz) y osa – rychlost 100 – 400 mm/s (po 50 mm/s) řádkování – obousměrné křížem, s rozestupy 0, 02 mm ohnisková vzdálenost 220 mm |
| • Spodní 3 řádky jsou se stejnými parametry ale 2 přejezdy po sobě | |



Obr. 8. Vzorek č. 1

Vyhodnocení vzorku č. 1

Jednotlivé čtverce (5x5 mm), byly označeny dle souřadného systému na obrázku 8. První 3 pole byly zvoleny s podobnými hodnotami, pouze jsem změnila ohniskovou vzdálenost a směr řádkování dle tabulky 3.

Pozorovatelná barva byla zelená, modrá, růžová a žlutá. Jelikož barvy nebyly stálé, ale pod různými úhly se měnily, opakovala jsem pokus se dvěma stejnými přejedy po sobě. Pouze v částech, kde se barvy vyskytovaly, abych vytvořila silnější oxidickou vrstvu. Ale výsledný efekt byl horší. Pouze se mi podařilo vytvořit zlato/žlutou barvu v posledním čtverci 2 pole, kde po prvním přejedu vznikla růžová.

Vzorek č. 2

V tabulce 4 je nastavení hodnot pro druhy vzorek, který je na obrázku 9. Je zde zobrazeno 6 polí s obdélníky 2x3 mm, o různých parametrech.

Tabulka 4. Použité hodnoty pro 2 vzorek

| | | |
|--|--|--|
| 200 – 250 mm/s 70 – 445 kHz (po 5 kHz) 210 mm (ohnisková vzdálenost) | 100 – 150 mm/s 70 – 445 kHz (po 5 kHz) 215 mm (ohnisková vzdálenost) | 100 – 150 mm/s 70 – 445 kHz (po 5 kHz) 210 mm (ohnisková vzdálenost) |
| 300 – 350 mm/s 70 – 445 kHz (po 5 kHz) 215 mm (ohnisková vzdálenost) | 200 – 250 mm/s 70 – 445 kHz (po 5 kHz) 215 mm (ohnisková vzdálenost) | 300 – 350 mm/s 70 – 445 kHz (po 5 kHz) 210 (ohnisková vzdálenost) |



Obr. 9. Vzorek č. 2

Vyhodnocení vzorku č. 2

Jednotlivé obdélníky (2x3 mm), byly označeny dle souřadného systému na obrázku 9. V těchto 6 polích jsem pokryla rozmezí rychlostí 100 – 350 mm/s a frekvence od 70 - 445 kHz. Na základě výsledků jsem v dalších experimentech volila různé ohniskové vzdálenosti pro stejné parametry, aby bylo možné je porovnat, prozatím jsem žádné hodnoty nevyřadila z pozorování.

Výsledné barvy z tohoto pokusu jsou zelená, růžová, fialová, modrá, šedá a černá. Z tohoto spektra je pouze šedá a černá barva stálá. Pokus jsem desetkrát

opakovala, aby to byl výsledek průkazný. Ostatní barvy se pod různými úhly měnily.

4. Závěr

Během experimentů bylo zjištěno, že největší vliv na tepelné ovlivnění materiálu a vznik oxidické vrstvy, má ohnisková vzdálenost laseru. Dalšími parametry, které mají vliv na vznik barevného popisu, jsou rychlost popisu a pulsní frekvence laseru.

Při popisu je také nutné přihlídnout k tloušťce materiálu. Doporučuji popisovat materiály od 2 mm tloušťky, nebo při popisu použít upínače, aby se materiál nedeformoval.

Výsledkem experimentů je zjištění, že je tato technologie vhodná pro popis korozivzdorných materiálů, ale pouze za dodržení určitých podmínek, uvedených výše. Experiment bude nadále pokračovat, abych docílila výraznějších barev a také většího množství barev.

Poděkování

Děkuji za podporu výzkumu z SGS16/217/OHK2/3T/12. A dále bych ráda poděkovala svému vedoucímu, panu Ing. Vondroušovi Ph.D., IWE a majiteli laseru panu Ing. Císařovskému Ph.D., IWE.

Literatura

- [1] VRBOVÁ, Miroslava, Helena JELÍNKOVÁ a Petr GAVRILOV. *Úvod do laserové techniky*. Dot. 1. vyd. Praha: České vysoké učení technické, 1998. ISBN 80-01-01108-9.
- [2] LASER SAFETY GUIDE, *Laservision index* [online]. Seattle, 2008 [cit. 2016-03-13]. Dostupné z: <http://www.westernsafety.com/products/laservision2008/laservisionindex.html>
- [3] KORÁN, Pavel ing. *Seriál na téma lasery - Základní princip laseru a jejich dělení*. 2013 [online]. Praha 4. [cit. 2016-03-13]. Dostupné z: <http://www.lao.cz/lao-info-49/serial-na-tema-lasery---hlavni-typy-laseru-pouzivanych-v-prumyslu-128>
- [4] LETOVSKÁ, Magdalena. *Ochrana zdraví při práci s lasery* [online]. Výzkumný ústav bezpečnosti práce, 2011 [cit. 2016-03-13]. Dostupné z: http://www.bozpinfo.cz/knihovna-bozp/citarna/tema_tydne/BOZP_lasery110923.html
- [5] ČERNÁ, Dana. *Povinnosti související se zahájením provozování laseru v ordinaci* [online]. Praha: Hygienická stanice hl. města Prahy, 2016 [cit. 2016-03-13]. Dostupné z: <http://medigenia.cz/clanky/dokumentace/povinnosti-souvisejici-se-zahajenim-provozovani-laseru-v-ordinaci/>
- [6] MATERIÁLOVÉ LISTY. [online]. Kladno: Bohdan Bolzano s.r.o, 2016 [cit. 2016-03-13]. Dostupné z: <http://www.bolzano.cz/cz/technicka-podpora/technicka-prirucka/vyroby-z-korozivzdornych-a-zaruvzdornych-oceli/vyroby-z-oceli-korozivzdornych/materialove-listy/x6crni18-10-austeniticke>
- [7] LAAKSO P., RUOTSALAINEN S., PANTSAR H., PENTTILÄ R. *Relation of laser parameters in color marking of stainless steel* [online]. USA, 2008 [cit. 2016-03-13]. Dostupné z: http://www.vtt.fi/files/research/ism/manufacturingsystems/relation_of_laser_parameters_in_color_marking_of_stainless_steel.pdf