

Technologie laserového popisování

Petr Hubík

Bakalářská práce
2013

 Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická
Ústav výrobního inženýrství
akademický rok: 2012/2013

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Petr HUBÍK**
Osobní číslo: **T09424**
Studijní program: **B3909 Procesní inženýrství**
Studijní obor: **Technologická zařízení**
Forma studia: **prezenční**

Téma práce: **Technologie laserového popisování**

Zásady pro vypracování:

1. Vypracujte rešerši na dané téma
2. Zpracujte metodickou příručku pro práci na laserovém zařízení za účelem využívání studenty ve výuce
3. Provedte návrhy a experimentální obrábění na daném zařízení



Rozsah bakalářské práce:

Rozsah příloh:

Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná/elektronická**

Seznam odborné literatury:

Dle doporučení vedoucího práce

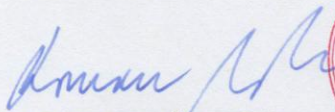
Vedoucí bakalářské práce: **doc. Ing. Libuše Sýkorová, Ph.D.**

Ústav výrobního inženýrství

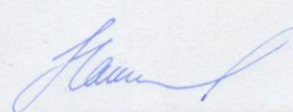
Datum zadání bakalářské práce: **8. února 2013**

Termín odevzdání bakalářské práce: **17. května 2013**

Ve Zlíně dne 11. února 2013



doc. Ing. Roman Čermák, Ph.D.
děkan



prof. Ing. Berenika Hausnerová, Ph.D.
ředitel ústavu

Příjmení a jméno: HUBÍK PETR

Obor: TECHNOLOGICKÁ ZAŘÍZENÍ

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že

- beru na vědomí, že odevzdáním diplomové/bakalářské práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, bez ohledu na výsledek obhajoby¹⁾;
- beru na vědomí, že diplomová/bakalářská práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitním informačním systému dostupná k nahlédnutí, že jeden výtisk diplomové/bakalářské práce bude uložen na příslušném ústavu Fakulty technologické UTB ve Zlíně a jeden výtisk bude uložen u vedoucího práce;
- byl/a jsem seznámen/a s tím, že na moji diplomovou/bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, zejm. § 35 odst. 3²⁾;
- beru na vědomí, že podle § 60³⁾ odst. 1 autorského zákona má UTB ve Zlíně právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona;
- beru na vědomí, že podle § 60³⁾ odst. 2 a 3 mohu užít své dílo – diplomovou/bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití jen s předchozím písemným souhlasem Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše);
- beru na vědomí, že pokud bylo k vypracování diplomové/bakalářské práce využito softwaru poskytnutého Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně nebo jinými subjekty pouze ke studijním a výzkumným účelům (tedy pouze k nekomerčnímu využití), nelze výsledky diplomové/bakalářské práce využít ke komerčním účelům;
- beru na vědomí, že pokud je výstupem diplomové/bakalářské práce jakýkoliv softwarový produkt, považují se za součást práce rovněž i zdrojové kódy, popř. soubory, ze kterých se projekt skládá. Neodevzdání této součásti může být důvodem k neobhájení práce.

Ve Zlíně 14.5.2013

.....
Hubík

¹⁾ zákon č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, § 47 Zveřejňování závěrečných prací:

(1) Vysoká škola nevdělečně zveřejňuje disertační, diplomové, bakalářské a rigorózní práce, u kterých proběhla obhajoba, včetně posudků oponentů a výsledku obhajoby prostřednictvím databáze kvalifikačních prací, kterou spravuje. Způsob zveřejnění stanoví vnitřní předpis vysoké školy.

(2) Disertační, diplomové, bakalářské a rigorózní práce odevzdané uchazečem k obhajobě musí být též nejméně pět pracovních dnů před konáním obhajoby zveřejněny k nahlížení veřejnosti v místě určeném vnitřním předpisem vysoké školy nebo není-li tak určeno, v místě pracoviště vysoké školy, kde se má konat obhajoba práce. Každý si může ze zveřejněné práce pořizovat na své náklady výpisy, opisy nebo rozmnoženiny.

(3) Platí, že odevzdáním práce autor souhlasí se zveřejněním své práce podle tohoto zákona, bez ohledu na výsledek obhajoby.

²⁾ zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, § 35 odst. 3:

(3) Do práva autorského také nezasahuje škola nebo školské či vzdělávací zařízení, užije-li nikoli za účelem přímého nebo nepřímého hospodářského nebo obchodního prospěchu k výuce nebo k vlastní potřebě dílo vytvořené žákem nebo studentem ke splnění školních nebo studijních povinností vyplývajících z jeho právního vztahu ke škole nebo školskému či vzdělávacímu zařízení (školní dílo).

³⁾ zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, § 60 Školní dílo:

(1) Škola nebo školské či vzdělávací zařízení mají za obvyklých podmínek právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla (§ 35 odst. 3). Odpírá-li autor takového díla udělit svolení bez vážného důvodu, mohou se tyto osoby domáhat nahrazení chybojícího projevu jeho vůle u soudu. Ustanovení § 35 odst. 3 zůstává nedotčeno.

(2) Není-li sjednáno jinak, může autor školního díla své dílo užít či poskytnout jinému licenci, není-li to v rozporu s oprávněnými zájmy školy nebo školského či vzdělávacího zařízení.

(3) Škola nebo školské či vzdělávací zařízení jsou oprávněny požadovat, aby jim autor školního díla z výdělku jím dosaženého v souvislosti s užitím díla či poskytnutím licence podle odstavce 2 přiměřeně přispěl na úhradu nákladů, které na vytvoření díla vynaložily, a to podle okolností až do jejich skutečné výše; přitom se přihlídí k výši výdělku dosaženého školou nebo školským či vzdělávacím zařízením z užití školního díla podle odstavce 1.

ABSTRAKT

Tato bakalářská práce se zabývá využitím laserového zařízení pro popis a značení materiálů. Teoretická část je zaměřena na historii laseru, druhy laseru a technologie laserového popisu. V praktické části je popsána metodika práce na laseru ILS 3NM. Dále jsou zde uvedeny ukázky experimentálního obrábění různých druhů materiálů a také ukázky práce na rotačním zařízení.

Klíčová slova: Laser, laserové gravírování, laserové popisování, rotační zařízení, CorelDRAW, anodická oxidace, sklo

ABSTRACT

This thesis deals with the use of laser equipment for engraving and marking of materials. The theoretical part is focused on the history of laser technology, laser types and engraving technology. The practical part describes the methodology of work on laser ILS 3NM. Furthermore, there are examples of experimental marking on different materials and also examples of work on a rotary devices.

Keywords: Laser, laser engraving, laser marking, rotary attachment, CorelDRAW, anodizing, glass

Rád bych poděkoval paní doc. Ing. Libuši Sýkorové, Ph.D za odborné vedení a rady, kterými napomohla k vypracování této bakalářské práce a také firmě NTS Prometal Machining, s.r.o. za poskytnutí experimentálních vzorků.

Prohlašuji, že odevzdaná verze bakalářské práce a verze elektronická nahraná do IS/STAG jsou totožné.

OBSAH

ÚVOD.....	10
I TEORETICKÁ ČÁST	11
1 LASER.....	12
1.1 PRINCIP LASERU	12
1.1.1 Tvar průřezu laserového svazku.....	14
1.2 ZÁKLADNÍ KONSTRUKCE LASERU	15
1.3 ROZDĚLENÍ LASERU	18
1.3.1 Dělení laserů podle aktivního prostředí	18
2 LASEROVÉ MIKROOBRÁBĚNÍ	22
2.1 ZNAČENÍ A POPIS LASEREM	22
2.1.1 Princip popisování součástí přes masku.....	23
2.1.2 Princip popisování součástí vychylováním paprsku laseru	24
2.1.3 Laserový popis polymerních materiálů	25
2.2 GRAVÍROVÁNÍ LASEREM	28
2.2.1 Gravírování skla	29
2.2.2 Laserové texturování	30
2.3 LASEROVÉ ŽIHÁNÍ	30
3 SHRUTÍ POZNATKŮ A STANOVENÍ CÍLE BAKALÁŘSKÉ PRÁCE.....	31
II PRAKTICKÁ ČÁST	32
4 POPIS LASEROVÉHO ZAŘÍZENÍ A MĚŘÍCÍCH PŘÍSTROJŮ.....	33
4.1 LASER ILS 3NM	33
4.1.1 Příkladné rotační zařízení.....	36
4.2 MĚŘÍCÍ PŘÍSTROJE	37
4.2.1 Leica DMI3000 M.....	37
4.2.2 Fischer DUALSCOPE MP 20ES.....	38
5 PRACOVNÍ POSTUP NA LASEROVÉM ZAŘÍZENÍ.....	39
5.1 OVLÁDACÍ PANEL.....	40
5.1.1 Indikační světla	41
5.2 FOKUSACE LASERU (ZAOSTRŮVÁNÍ)	41
5.3 PŘÍPRAVA PRACOVNÍHO SOUBORU.....	42
5.3.1 Nastavení velikosti pracovní plochy	42
5.3.2 Definování počátku pracovní plochy	43
5.3.3 Nastavení polohy a rozměru objektu.....	44
5.4 NASTAVENÍ PRO LASEROVÝ TISK	44
5.4.1 Nadefinování rezných podmínek	45
6 MATERIÁLY A EXPERIMENTÁLNÍ OBRÁBĚNÍ	47

6.1	MATERIÁLY.....	47
6.1.1	Anodická oxidace (Elox)	48
6.2	EXPERIMENTÁLNÍ OBRÁBĚNÍ	49
6.2.1	Vzorek A	49
6.2.2	Vzorek B	55
6.2.3	Vzorek C	56
6.2.4	Vzorek D	60
6.2.5	Vzorek E.....	64
6.3	DALŠÍ UKÁZKY GRAVÍROVÁNÍ LASEREM	65
6.4	GRAVÍROVÁNÍ SKLA NA ROTAČNÍM ZAŘÍZENÍ.....	68
	ZÁVĚR	73
	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	74
	SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK	76
	SEZNAM OBRÁZKŮ	77
	SEZNAM TABULEK.....	82
	SEZNAM PŘÍLOH.....	83

ÚVOD

V současné době stále rostoucí požadavky na kvalitu, životnost a přesnost výrobků vyžadují pořád nové aplikace materiálů při výrobě, také samozřejmě roste technologická náročnost zpracování těchto materiálů. Proto přistupujeme k aplikaci nekonvenčních technologií obrábění. Nekonvenčními technologiemi rozumíme technologie, u kterých nedochází k mechanickému úběru materiálu, ale využívají fyzikálních, nebo chemických, popřípadě kombinaci těchto dvou principů. Jsou to moderní technologie, které jsou mnohdy elegantnější, ekonomičtější a rychlejší, než klasické metody obrábění. Do této kategorie obrábění zapadá také mimo jiné právě laser.

Laser – složenina z počátečních písmen anglických slov Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation, což přeloženo znamená: „zesílení elektro-magnetického záření (světla) pomocí vynucené (stimulované) emise“. S prvotní myšlenkou přišel již v roce 1917 Albert Einstein, který teoreticky odůvodnil existenci elementárního procesu, při kterém záření o určité frekvenci způsobí kvantový přechod elementárních částic jím prostupované látky, přičemž je vyzářeno nové kvantum energie, jehož frekvence, směr šíření a polarizace jsou souhlasné s frekvencí přichozího záření. Ovšem první laser čekal na svůj vznik až do roku 1960, kdy Theodore H. Maiman v USA poprvé úspěšně předvedl pulzní rubínový laser. Později po zdokonalení kvantového oscilátoru a vyřešení problému nepřetržitého výstupu tím, že použili více než dvě energetické hladiny, získali v roce 1964 Charles Townes, Nikolaj Basov a Alexandr Prochorov společně Nobelovu cenu za fyziku. Bezpochybně se jedná o jeden z největších objevů 20. století. [1]

Nyní své uplatnění nachází laser v široké škále oborů. Jsou to například: medicína, holografie, mikroelektronika a výpočetní technika, astronomie, metrologie, měřicí technika, průmysl, atd. V průmyslových aplikacích jde zejména o svařování, řezání, nebo také o v poslední době rozvíjející se mikroobrábění. Laserem je možno obrábět téměř všechny druhy materiálu. Jedna z možností mikroobrábění je laserové popisování materiálů a právě tímto se zabývá tato bakalářská práce.

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 LASER

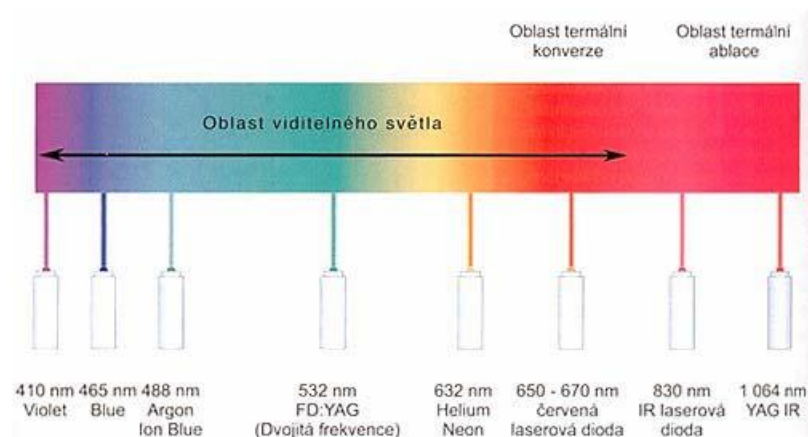
1.1 Princip laseru

Laser je kvantový generátor a zesilovač koherentního (vnitřně uspořádaného) optického záření, které vyniká extrémní monochromaticností (stejnobarevností), nízkou rozbíhavostí světelného svazku a vysokou hustotou přenášeného výkonu či energie. Žádné jiné záření než záření generované laserem tyto vlastnosti nemá. [2]



Obr. 1. Srovnání vyzařovaného světla laserem a žárovkou [3]

U laserů rozeznáváme tři základní parametry. Tím prvním je vlnová délka (udávaná v nanometrech). Vlnová délka určuje, v jaké části spektra se bude laserový paprsek pohybovat. Vlnová délka je navíc důležitá i pro velikost stopy laseru a také se podle ní dělí lasery na termální (IR), u kterých je vlnová délka vyšší než 630 nm, lasery pracující ve viditelném světle (380 - 630 nm) a lasery pracující v UV oblasti (pod 380 nm). Platí zde, že čím menší je vlnová délka záření, tím větší je energie fotonu a hmotnost (hybnost) fotonu. Dalšími dvěma parametry určujícími kvalitu laseru jsou pak výkon a v neposlední řadě životnost. [8]

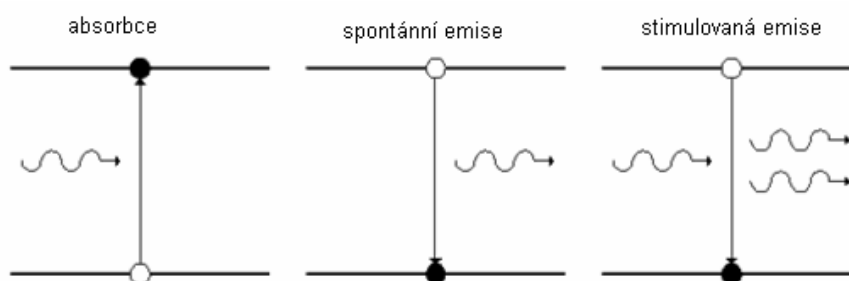


Obr. 2. Vlnové délky různých typů laserů [7]

Podstata funkce laseru vychází z kvantové fyziky. Elektronů obíhajících na kvantových drahách mohou absorbovat energii, která má původ v jiném elektromagnetickém záření. Záleží na energii fotonu budícího záření. Čím je počáteční energie větší, tím větší energii předá elektronu a ten se skokově dostane na vyšší kvantovou dráhu. Pokud má dostatečně vysokou energii, může dojít až k ionizaci - oddělení elektronu od atomu. Na horní kvantové dráze setrvává elektron jen velmi krátce. [3,4]

Přechod elektronu ze základní energetické hladiny E_0 na vyšší energetickou hladinu E_1 je doprovázen absorpcí a zpětný přechod z hladiny vyšší na hladinu nižší je naopak doprovázen emisí přesně určené hodnoty energie. Tato hodnota energie, která je nazývána kvantem, je rovna rozdílu mezi energiemi sousedních hladin. [5]

Absorpce energie je doprovázena vznikem spontánní a stimulované emise. U spontánní emise se elektron sám dostane na spodní dráhy (bez jakéhokoli signálu). Naopak u stimulované emise se elektron dostane do horní dráhy, tam čeká na budící foton, který do elektronu narazí a předá energii uvolněnému fotonu za předpokladu, že elektron sestoupí do nižší kvantové dráhy. Tyto dva fotony budící a stimulovaný emitovaný jsou v časové koherenci.



Obr. 3. Absorpce, spontánní a stimulovaná emise [3]

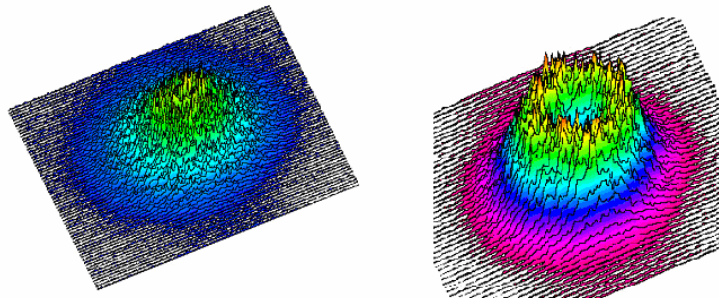
Výsledné záření (vlnění) je nazýváno koherentní (fotony obou vlnění jsou, ve svazku paprsků téměř rovnoměrně rozprostřeny a šíří se stejným směrem) a monochromatické (má jednu přesně definovanou vlnovou délku) což nám umožňuje, soustředit světelný paprsek do velice malé oblasti, vzhledem k relativně velké vzdálenosti jeho dopadu. Právě stimulovaná emise záření nám zajišťuje dostatečnou „sílu“ paprsku laseru potřebnou například k obrobení různorodých materiálů. Abychom dosáhli maximální účinnosti laseru, je zapotřebí dosáhnout tzv. populační inverze nebo, chcete-li,

inverze populace částic aktivního prostředí. Tento jev je nutnou podmínkou pro praktické využití stimulované emise. [6]

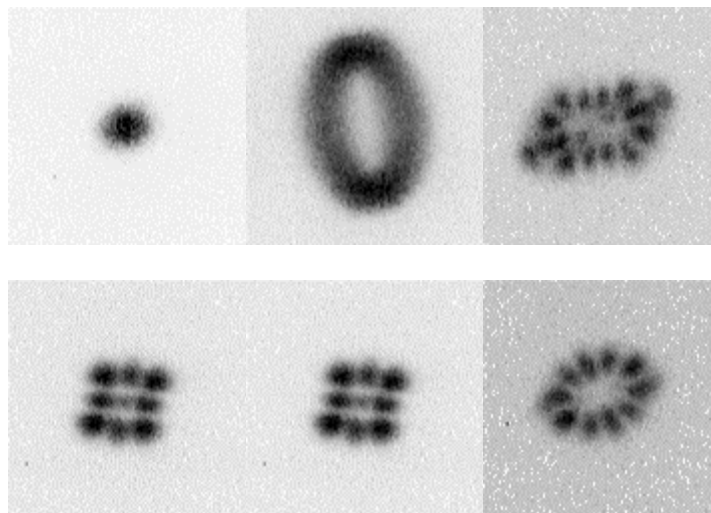
Inverze populace: Situace, při které je na vybuzené hladině více elektronů než na hladině základní. Toto se může docílit vhodným čerpáním aktivní látky. Toto čerpání může být optické (výbojka nebo dioda), elektrické (výboj nebo proud procházející p-n přechodem), chemické (chemické reakce vytvářející vhodné molekuly nebo ionty), čerpání jadernými reakcemi aj. [7]

1.1.1 Tvar průřezu laserového svazku

Laserové záření, které opustí rezonátor, má určitou hustotu energie. Tato energie je nesená paprskem v podobě různých druhů operačních módů. Nejvyšší kvalita je TEM₀₀, který distribuuje energii v **Gaussovském tvaru**. Další druhy módů pak mají různě formované distribuce energie. A každý druh má jiné možnosti využití. [3]



Obr. 4. Laserový mód TEM_{00} a TEM_{01} [7]

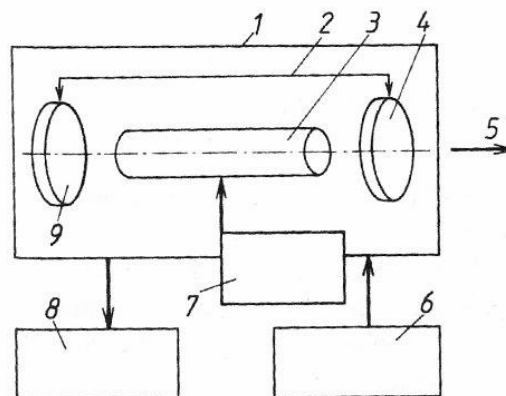


Obr. 5. Další operační módy zachycené CCD kamerou [7]

průřez A v rovině kolmé na směr paprsku	průřez B kolmý na A	půdorys	označení TEM
			TEM ₀₀ . Gauss (řezání)
			TEM ₀₁ (svařování, kalení)
			TEM ₂₁
			TEM ₃₂
			multimód (řezání)
			multimód

Obr. 6. Vybrané módy s jejich označením a vhodností použití [5]

1.2 Základní konstrukce laseru



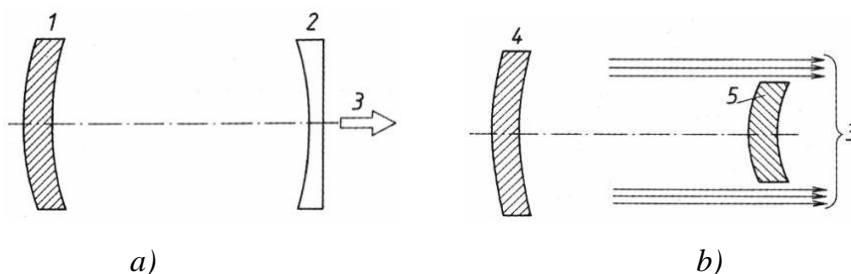
Obr. 7. Schéma zařízení pro obrábění laserem [6]

Pozn. Obr. 7.: 1) Laserová hlavice, 2) Rezonátor, 3) Laserové médium, 4) Polopropustné zrcadlo, 5) Výstup paprsku, 6) Zdroj energie buzení, 7) Budicí zařízení, 8) Chladicí systém, 9) Nепropustné zrcadlo

- 1) **Laserová hlavice:** je rám zařízení laseru, který obsahuje jeho aktivní prvky.
- 2) **Optický rezonátor:** tvoří ho dvě zrcadla, nejčastěji sférická, v konfokálním stabilním, či konfokálním nestabilním uspořádání. V prvním případě je jedno ze zrcadel zcela odrazivé a druhé polopropustné (častější). V druhém případě jsou nepropustná obě. Tato zrcadla jsou laserovým médiem vzájemně propojenými oscilátory, což má za následek vázané kmity, kde v důsledku zákona zachování energie přechází energie buzení z jednoho oscilátoru na druhý a naopak. Takto se částice dodané budícím zařízením odrážejí, dokud nemají dostatek energie na průnik polopropustným zrcadlem.

Konstrukční uspořádání rezonátoru určuje vlastnosti paprsku (koherenci, intenzitu záření, jeho pravidelnost, spektrální a prostorové charakteristiky). Průměr a zakřivení zrcadel určují rozdělení intenzity záření a energetickou rozbíhavost laserového záření, tj. divergenci paprsku, která je dána rovinným nebo prostorovým úhlem, ve kterém se šíří.

Lasery u kterých stačí jediný průchod laserovým médiem k získání potřebné energie, se nazývají Superradiační a nepotřebují rezonátor. [6]



Obr. 8. Uspořádání zrcadel optického rezonátoru [6]:

a) konfokální stabilní: 1) nepropustné zrcadlo, 2) polopropustné zrcadlo, 3) výstupní záření

b) konfokální nestabilní: 3) výstupní záření, 4) zadní zrcadlo, 5) přední zrcadlo

- 3) **Laserové médium:** směs materiálů s vhodnými energetickými hodnotami, ve vhodném nosném materiálu, který je průhledný a dokáže odvádět teplo (např. skleněná trubice).

Toto **aktivní prostředí** je látka, ve které se elektrony nebo molekuly dají vhodným čerpáním vybudit na požadovanou pracovní hladinu, ze které pak můžou emitovat záření. Pracovní látkou může být plyn (HeNe laser, oxid uhličitý), kapalina (Rhodamin-barvivo), krystal (rubín, Nd:YAG, Er:YAG), polovodič (GaAs, GaAsN), molekuly (XeCl, XeF) nebo plazma (C5+). [7]

- 4) **Polopropustné zrcadlo:** tabule skla pokryta velmi tenkou vrstvou kovu. Část světelného paprsku propustí a část odrazí.
- 5) **Výstup paprsku:** svazek světla, který získal potřebnou energii, působením rezonátoru a aktivního prostředí, aby prošel polopropustným zrcadlem.
- 6) **Zdroj energie buzení:** speciální druh síťového napáječe dodávající do soustavy energii.
- 7) **Budící zařízení:** způsob buzení je dán laserovým médiem. Plynné médium je buzeno téměř vždy elektrickým výbojem, stejnosměrným nebo střídavým proudem. Pevné laserové médium je nejčastěji buzeno výbojkami nebo diodami. [8]
- 8) **Chladicí systém:** část energie která se přemění na teplo musí být vhodným způsobem ze soustavy odváděna, abychom prodloužili životnost laseru. U výkonných laserů se používá k chlazení deionizovaná voda. Ty méně výkonné lasery bývají chlazeny vzduchem. [6]
- 9) **Nepropustné zrcadlo:** zcela odrazivé zrcadlo.

1.3 Rozdělení Laseru

- **Dle způsobu buzení:** opticky, chemicky, elektricky, termodynamicky, jadernou energií
- **Dle pracovního režimu:** kontinuální, pulzní, Q-režim
- **Dle vlnové délky a barevného spektra:** submilimetrové, infračervené (IR), lasery viditelného světelného spektra, ultrafialové (UV), rentgenové (X-ray)
- **Dle způsobu použití:** výzkumné, měřicí, lékařské, technologické, energetické, vojenské
- **Dle výkonu:** nízkovýkonové, vysokovýkonné
- **Dle použitého aktivního prostředí:** viz následující kapitola
- **Dle konstrukce**

Typ laseru	Vlnová délka [nm]	Barva/spektrální oblast	Poznámky
CO ₂	9300-10600	IR	výkon až 15 000W
Nd:YAG	1 060	IR	kontinuální, výkon až 1200W
Nd:YAG - (s dvojitou frekvencí pulzů)	530	zelená	
Nd:YAG - (s trojitou frekvencí pulzů)	350 - 260	UV	
Vláknový:	1 064	IR	výkon 10 až 100W
Diodový:	800	červená	střední výkon 1W
Excimerový:	351 (XeF)	UV	pulsní, výkon 20 až 250W
	308 (XeCl)	UV	
	248 (KrF)	UV	
	193 (ArF)	UV	

Tab. 1. Vybrané typy laserů (základní informace), pozn.: UV - ultraviolet (ultrafialová), IR - infrared (infračervená)

1.3.1 Dělení laserů podle aktivního prostředí

Podle skupenství látky aktivního prostředí se lasery dělí následovně:

- **pevnolátkové** – (vláknové)
- **plynové** - (atomární, molekulové, iontové), excimerové
- **kapalinové**
- **polovodičové**

Lasery pracující v pulsním nebo kontinuálním provozu

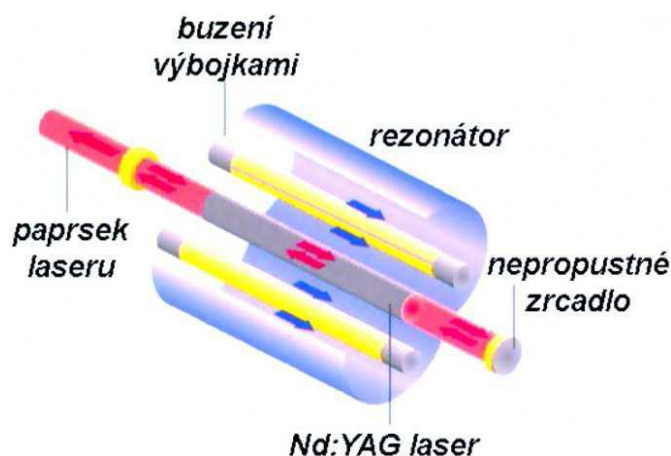
U pulsního provozu se velikost a tvar pulzu řídí světelným modulátorem. Modulátor bývá umístěn v dutině rezonátoru. Obvykle je frekvence pulsů od desítek až do stovek kHz. Přerušení trvá až stomiliontinu sekundy. Výsledkem těchto přerušení je výstupní výkon o vysoké hustotě energie. Většinou se jedná o pevnolátkové lasery. [4]

Naopak v kontinuálním režimu většinou pracují plynové lasery. Kontinuální záření je v plynu vyvoláno pomocí srážek s elektrony. Nejsnáze se toto buzení realizuje elektrickým výbojem v plynu, při kterém vznikají ionty a volné elektrony. Volné elektrony přebírají energii ze zdroje a předávají ji atomům při srážkách. U pevnolátkových laserů je kontinuální provoz obtížně realizovatelný a je k tomu potřeba velmi silný zdroj energie.[4]

▪ Pevnolátkové lasery

Aktivním prostředím těchto laserů jsou pevné krystalické, nebo amorfní látky (sklo, keramika, rubín) tvořící skelet, který je dopován příměsí vhodných iontů. K vlastnímu optickému zesilování dochází na elektronových přechodech iontů příměsí.

Nejrozšířenějším a také nejznámějším je Nd-YAG laser (neodymový). Může se vyrábět téměř v neomezených velikostech. Vyzařuje infračervený paprsek o velké energii. Vyznačuje se velkou účinností. V průmyslu se využívá při vrtání, sváření, řezání a žíhání materiálu. Také našel uplatnění v lékařství jako skalpel, nebo v oční mikrochirurgii. Dále v radarové technice a ve spektroskopii. [5]



Obr. 9. Konstrukce Nd:YAG laseru [12]

Vláknové lasery – v poslední době se velmi rozšiřujícím typem laseru. Nahrazují lasery Nd-YAG. Optické vlákno dopované prvkem Ytterbia, které tvoří aktivní prostředí laseru, je čerpáno pomocí laserové svítivé diody. Mohou pracovat v kontinuálním i pulsním provozu. Tyto lasery mají vysoký výkon (kontinuální 10-100W, pulzní 10-50W), vysokou účinnost, malé rozměry, dlouhou životnost, nejnižší provozní náklady, excelentní kvalitu laserového paprsku. Jsou hojně využívány v průmyslu např. k řezání, svařování, žihání a velmi se hodí k mikroobrábění a také laserovému popisování a texturování povrchů. [9]

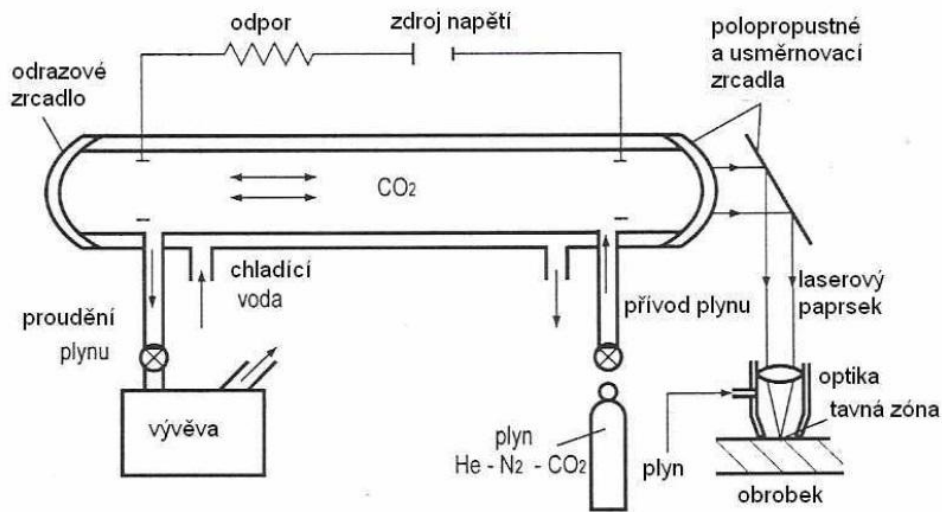
▪ Plynové lasery

Aktivní prostředí může být tvořeno atomy (He-Ne laser), ionty (Ar laser), molekulami (CO₂ laser), či jejich směsmi v plynné fázi. Nejčastěji je buzen vysokofrekvenčním elektrickým nábojem. Inverze obsazení nastává mezi energetickými hladinami některé ze složek. U plynových laserů je široká škála vlnových délek a tím i jejich využití.

Nejpoužívanější v průmyslu je CO₂ laser. Má vysokou účinnost – 50%, velký kontinuální výkon záření - až 1 MW, možnost vyzařování v širokém pásmu - 5 až 700 μm. Podle uspořádání CO₂ laserů je lze dělit na čtyři základní typy, které se liší zejména možnostmi dosahovaných výkonů:

- lasery s výbojkou,
- lasery s pomalým průtokem plynu,
- lasery s rychlým průtokem plynu,
- TEA CO₂ laser. [12]

CO₂ lasery se používají zejména pro řezání, svařování, vrtání, popisování součástí, nanášení povlaků a tepelné zpracování. Nevýhodou tohoto laseru jsou jeho rozměry a náročnější údržba.



Obr. 10. Princip CO₂ laseru [12]

Excimerové lasery- speciální skupina plynových pulzních laserů, jako aktivní prostředí využívají směsi excitovaných dimerů vzácných plynů (Ar_2), halogenidů vzácných plynů (KrF) a oxidů vzácných plynů (XeO). Využívají se pro krátké vlnové délky výsledného záření (157nm, 193nm, 248nm). Své uplatnění nachází v přesném obrábění, fotolitografii a mikroobrábění. Jsou složité na údržbu a také je jejich nevýhodou nákladný provoz a vysoká pořizovací cena. [3]

▪ **Kapalinové lasery**

Jako aktivní prostředí bývají opticky buzené roztoky organických barviv. Typickým představitelem je Rhodamonový laser generující pulzní záření od zelené až po červenou oblast spektra. Právě výhodou těchto laserů je široké fluorescenční spektrum umožňující spojitě měnit vlnovou délku záření (300 – 1500nm). Naopak nevýhodou těchto laserů je toxicita a krátká životnost fluorescenčního prostředí. [3]

▪ **Polovodičové lasery**

Neboli diodové, jsou poměrně rozšířeným typem laserů. Vyznačují se malými rozměry, vysokou účinností (běžně až 50%) a vysokými výstupními výkony. Jsou velmi citlivé na změnu teploty. Laserový paprsek lze snadno modulovat změnou budícího elektrického proudu. Pracují jak v kontinuálním, tak pulzním režimu. Hlavně se používají v elektrotechnice, ale také jako součásti pevnolátkových laserů, vznikají takto miniaturní, flexibilní a vysoce výkonné laserové generátory. [3]

2 LASEROVÉ MIKROOBRÁBĚNÍ

Laserové mikroobrábění je možno dále dělit do více kategorií.

2.1 Značení a popis laserem

Značení laserem je založeno na místním odpaření materiálu (ablace) nebo na změně barvy jeho povrchu. Laser vytváří na povrchu materiálu s vysokou přesností stálý, mechanicky odolný, velmi kontrastní a jinak nenapodobitelný popis. Vše probíhá v jediné krátké operaci bez použití chemických přísad a inkoustů nebo mechanických zásahů do struktury materiálu. Výška znaků je obvykle zlomky až jednotky milimetrů, tloušťka odpařené vrstvy materiálu je v řádu mikrometrů. [5,8]

Laserem je možné označovat všechny materiály, jako kalené i nekalené oceli a litiny, titan, mosaz, bronz, hliník a jeho slitiny, slinutý karbid, zlato, keramiku, drahé kameny, plasty, dřevo, sklo, gumu, papír, kůži atd. Popisovaný povrch může být broušený, pískovaný, lakovaný, černěný, smaltovaný, opatřený povlakem chromu, zinku, titankarbidu, titannitridu, keramickým povlakem apod. Laserem lze popisovat rovinné, válcové i jinak zakřivené plochy, a to i na málo přístupných místech.

Metody popisování laserem:			
	Gravírování a úběr materiálu	Žihání	Zbarvení a zpění
Materiály	Všechny mat., především: kovy umělé hmoty laky keramika folie pro popisování laserem	železné kovy titan	umělé hmoty

Tab. 2. Přehled metod laserového popisování

Výhody a nevýhody laserového popisování

Tato technologie se vyznačuje vlastnostmi, jež ji kvalitativně odlišují od dosud používaných postupů (sítotisk, tampónový tisk, mechanické rytí a ražení), a která řeší nevýhody těchto konvenčních technologií. [7]

Výhody laserového popisu:

- vysoká kvalita popisu a extrémní reprodukovatelnost, variabilita popisu (záležitost software)
- trvanlivost vůči působení tepla, chemikálií, působení UV záření
- bezkontaktní značení (žádné znečištění výrobku, nebezpeční deformace, opotřebení nástrojů)
- bez použití barev, rozpouštědel (ekologické hledisko)
- lze popisovat širokou škálu materiálů (veškeré kovy včetně kovů s povrchovou úpravou, plasty, kompozitní materiály, vícevrstvé materiály) i materiály s vysokou tvrdostí (diamant, speciální oceli)
- výrobky mohou být značeny bez předchozí povrchové úpravy
- vysoké rozlišení značících symbolů, rychlost a přesnost značení
- možnost popisu nerovného povrchu a rotačních součástí po celém jejich obvodu
- jednoduché začlenění do výrobního procesu (buď jako samostatné pracoviště, nebo součást výrobní linky)
- ekonomičnost
- minimální údržba zařízení
- vhodné pro výrobu štočků pro tampónový tisk a pro kombinaci s tampónovým tiskem

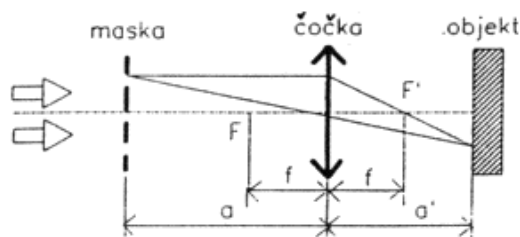
Nevýhody laserového popisu: ne všechny materiály mohou být značeny ve stejné kvalitě (CO₂ laserem nelze značit kovy bez povrchové vrstvy, Nd:YAG laserem nelze značit sklo a transparentní materiály), omezená barevnost popisu, vysoké pořizovací náklady laserového zařízení. [7]

2.1.1 Princip popisování součástí přes masku

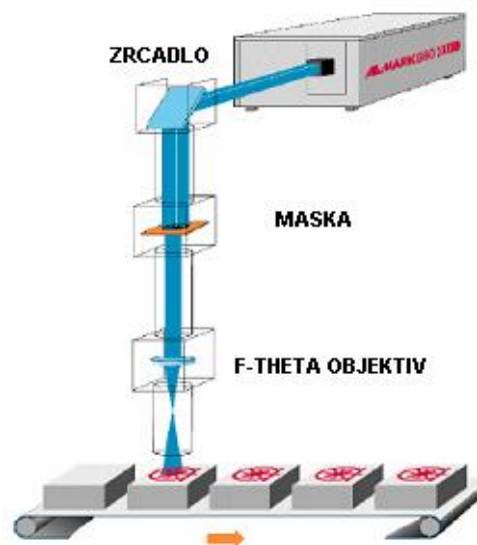
U této metody se používá masky (obsahující kopii popisu, který má být proveden). Hlavní částí značkovacího optického ramene je maska a zobrazovací element (čočka, objektiv, zrcadlo). Maska je tvořena z mosazi, bronzu nebo ušlechtilé oceli, ve které je vyříznut potřebný znak nebo kód. Paprsek laseru osvítlí najednou nebo po řádcích masku, a

tím je popis přenesen na výrobek či obal. Místa zakrytá maskou zůstávají nepopsána. Používají se lasery CO₂, Nd:YAG i excimerové. [7,8]

Mezi výhody této metody patří jednoduchý popisovací systém, relativně malé pořizovací náklady a vysoká rychlost popisování (až 3 000 znaků za minutu). Hlavními nevýhodami jsou malé popisovací pole (10 až 40 mm²), poměrně horší kvalita popisu, malá flexibilita a vyšší náklady spojené se změnou popisu, neboť je nutné vždy vyrobit a vyměnit celou masku. Metoda je vhodná především pro velké série popisovaných součástí.



Obr. 11. Hlavní části značkovacího optického ramene [7]

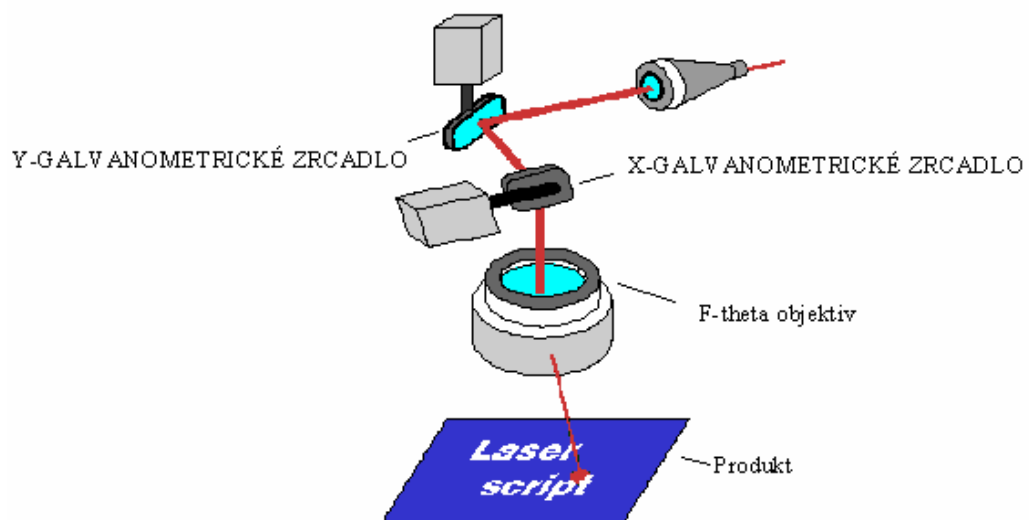


Obr. 12. Schéma laserové optiky u maskovací metody [7]

2.1.2 Princip popisování součástí vychylováním paprsku laseru

V kontrolním softwaru se vytvoří požadovaný symbol popisu, obvykle se navrhne v programech Corel Draw, CAD/CAM, které nabízí široké možnosti pro tvorbu grafiky, textu, log, čísel a podobně. Následně se nastaví vhodné procesní parametry obrábění. [4]

Paprsek vycházející z laseru je vychylován dvěma vzájemně kolmými zrcadly, jejichž pohyby řídí počítač (můžeme si představit vedení laserového svazku jako „psaní perem“). Upevnění zrcátek a princip jejich vychylování je stejný jako u galvanoměru. Používají se CO₂ lasery o výstupním výkonu 8 až 20 W nebo Nd:YAG lasery o výstupním výkonu 50 až 100 W nebo také vláknové lasery. U CO₂ laserů má popisovací pole většinou rozměr 60 x 60 mm a rychlost popisování je maximálně 1 mm/s. U pevnolátkových Nd:YAG laserů má popisovací pole velikost až 260 x 260 mm, rychlost značení je až 4 m/s. Pro přenos paprsku lze použít vláknovou optiku, což umožňuje popisovat součásti také na málo přístupných místech. Při této metodě se dosahuje vysoká kvalita popisu s ohledem na jeho dokonalou čitelnost a kontrast. Významnou předností je vysoká operativnost a rychlost změny psaného textu, neboť jde pouze o provedení změny řídicího programu prostřednictvím počítače, čímž odpadá výroba a výměna masky. [7,8]



Obr. 13. Schéma laserové optiky u popisovací metody vychylováním svazku [7]

2.1.3 Laserový popis polymerních materiálů

Výsledek laserového popisu u polymerních materiálů nezáleží jen na polymerní matici, ale i na přísadách, které se obvykle přidávají při výrobě polymerního materiálu a významně tak ovlivňují jeho vlastnost. Patří mezi ně retardéry hoření, plniva, pigmenty, stabilizátory, změkčovadla i speciální přísady pro laserový popis (laserové pigmenty). Ne všechny druhy polymerů lze popisovat se stejnou výslednou kvalitou. Jakost popisu polymeru v přirozeném stavu je často nedostatečná, proto se polymery vybarvují na světlé či

tmavé odstíny. Laserové přísady nejen zvyšují kontrast značení, ale pozitivně ovlivňují i kvalitu popsané plochy a zvyšují rychlost značení. [7]

- Vhodné polymery k popisování: ABS, PC, PVA, ...
- Méně vhodné polymery k popisování: PA, SAN, PP, POM, ...
- Polymery nevhodné k popisování: pryže, pryskyřice, ...

Popisovací efekty je možno dále dělit:

- **Sublimace (zpěnění)**

Bílé znaky na černém podkladu jsou způsobeny sublimací materiálu. Je dosažen vysoký kontrast popisu. Jakmile se materiál zahřeje laserovým zářením, uvolní se z něho plyny, které vytvoří na povrchu materiálu světlou pěnu. Pěna vystoupí na povrch v tloušťce přibližně 40 μ m. Tento typ popisu může být méně odolný vůči mechanickému opotřebení. [7]



Obr. 14. Laserový popis sublimací [7]

- **Karbonizace**

Energie laseru se mění na tepelnou a ta způsobí lokální zahřátí materiálu a následnou karbonizaci, vznikají tak tmavé nebo černé značky na světlém podkladu. U tohoto efektu je dosaženo největšího kontrastu na barevných materiálech. [7]



Obr. 15. Laserový popis karbonizací [7]

- **Bělení**

Tento efekt laserového záření vytváří bílou značku na černém povrchu. S laserovým zářením reaguje pigment, ne samotný polymer. Výrazný efekt a kontrast popisu je dosažen přidávkem speciálních laserových pigmentů. Obecně je ale kontrast nižší než při aplikaci jiných technik. [7]

- **Odstranění vrstvy materiálu**

Značka se vytváří v důsledku odstranění povrchové vrstvy materiálu působením výkonové špičky laserového impulsu fokusovaného infračerveného záření. Nejčastěji dochází k odstranění tenké vrstvy barvy z povrchu papíru, kovu nebo plastu, čímž se odhalí kontrastující základní povrch. Vhodným příkladem je ovládací tlačítko v automobilu. Laserem se odstraní vrchní vrstva tmavého laku na transparentní polymer, který je pak možno podsvítit. [7]



Obr. 16. Příklad popisu odstraněním vrstvy materiálu [7]

- **UV (studené) značení**

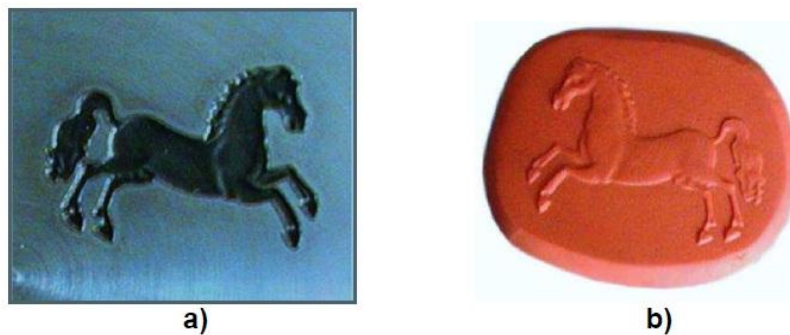
Popisování UV lasery otevírá nové dimenze v popisování plastů. U mnoha materiálů dosahují UV lasery výrazně kontrastního, čistšího a jemnějšího popisu s vyššími rychlostmi obrábění. Energie krátkovlnného UV světla vede k fotochemické reakci, která umožňuje studené obrábění materiálů. Na některých plastových materiálech nedochází vůbec k narušení povrchu. Studené značení tedy umožňuje popis zcela bez typické tepelné destrukce okolo značené oblasti a bez opálení okolí značení. Nemusí zde docházet k fenoménu hloubkové tepelné penetrace, umožňujícímu odstranění materiálu odpařením. Tímto způsobem lze obzvláště dobře popisovat plasty chráněné proti vzplanutí, které se používají například v elektronickém průmyslu jako materiály na kryty. [10,11]



Obr. 17. UV popisování naslouchadla [10]

2.2 Gravírování laserem

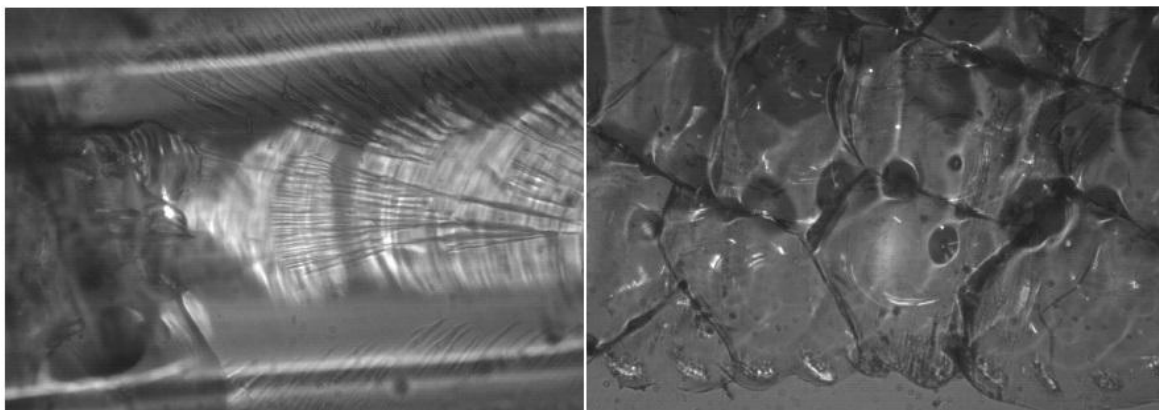
Změnou parametrů laseru lze spojitě přecházet od povrchového popisu v několika-mikronové hloubce materiálu až po laserové gravírování do větší hloubky. Gravírování se používá pro vytváření jednoduchých i velmi složitých 3D reliéfů, především do kalených ocelí (např. do forem pro vstřikování plastů, zápustek apod.), keramických materiálů, dřeva, gumy apod. Podstatou metody je odpařování materiálu v místě, kde působí paprsek laseru. Pro gravírování do kovových a keramických materiálů se používají především Nd:YAG lasery nebo vláknové lasery, pro gravírování do dřeva a gumy jsou vhodné CO₂ lasery. [8]



Obr. 18. 3D Gravírování laserem [6]: a) Dutina obrazce, b) Obtisk obrazce

2.2.1 Gravírování skla

Dekorace skla laserem je jistou modifikací laserového řezání. V místě dopadu fokusovaného záření laseru na povrch skla dojde k částečnému odpaření skloviny a k jejímu povrchovému popraskání. Na vzniklých trhlinách dochází k rozptylu světla, a tím se docílí zářivého vzhledu dekoru. Pro dekoraci skla se využívá laserů, jejichž záření je sklem dobře absorbováno, např. CO₂ laseru. Novinkou v dekoraci skla laserem je prostorový popis do skla. Vysoce efektní trojrozměrné objekty se ve skle vytváří, za pomoci pulzních Nd:YAG laserů o výkonu v pulzu až 1 MW. 3D laserové gravírování je speciální metoda, která nám umožňuje vytvářet různé typy obrázků ve třech dimenzích do křišťálových kostek. Laserový paprsek proniká stěnou kostky a v určeném místě mění strukturu křišťálu vytvořením tisíců drobných rytin, ze kterých se hotový obraz skládá. Předlohy se navrhují pomocí modelovacího 3D programu. [8,13]



Obr. 19. Popraskání a natavení povrchu, po dopadu laserového záření [13]



Obr. 20. Ukázka 3D laserového gravírování [18]

2.2.2 Laserové texturování

Tímto způsobem se texturují povrchy válců na zdršňování povrchů ocelových plechů. Používá se například u tiskařských válců, k dekoraci předmětů nebo u ohýbadel s cílem zvýšení jejich životnosti. Vzorů může být celá řada. Tato aplikace je další odnož laserového gravírování. [6]

2.3 Laserové žíhání

Některé kovy mají při zahřátí barvu žíhání. Barva značně závisí na teplotě, na kterou je zahřívána. Barevné žíhané popisy lze vytvořit tak, že laserový paprsek zahřeje obrobek tam, kde má vzniknout označení, na určitou teplotu. Při tom vzniknou na povrchu oxidační vrstvy, jejichž vlastnosti určují barevný dojem. [10]

3 SHRNU TÍ POZNATKŮ A STANOVENÍ CÍLE BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Z prostudované literatury je zřejmé, že oprávněnost použití paprskových metod k popisování materiálů je značně závislá na požadavcích kladených na takto zhotovované součásti. S ohledem na dosavadní praxi s laserovým popisováním byly zvoleny následující cíle praktické části této bakalářské práce:

1. Popis laserového zařízení a jeho přídavných částí.
2. Zpracujte studii pro práci na laserovém rotačním zařízení za účelem využívání studenty ve výuce.
3. Proveďte návrhy a experimentální obrábění na daném zařízení.

II. PRAKTICKÁ ČÁST

4 POPIS LASEROVÉHO ZAŘÍZENÍ A MĚŘÍCÍCH PŘÍSTROJŮ

4.1 LASER ILS 3NM

Kompaktní laserový systém ILS 3 NM je vhodné zařízení pro gravírování a řezání široké škály materiálů jako jsou: kov, dřevo, sklo, akryl, guma, kůže, mramor / kámen, tkaniny a především také plasty a plastové fólie. Zdrojem laserového záření je CO₂. Propojení s počítačem je řešeno obdobně jako u běžné tiskárny (USB, paralelní port, LAN), zařízení je plně kompatibilní s Microsoft Windows. Laser zvládá většinu rastrové i vektorové grafiky, jako je obrázek, logo nebo text, což zaručuje velmi kvalitní značení, které může být použito například k popisování suvenýrů, různých dárkových předmětů, štítků na trofejích, nebo pro běžné průmyslové značení. Výhodou tohoto zařízení je již připevněný pojezdový stůl a otevírací čelní dvířka. Ty slouží pro značení nekonečně dlouhých desek. Pracovní plocha má rozměr 660 x 495 mm (formát A3-A0). Toto zařízení se na trhu objevuje v několika výkonových variantách. My máme k dispozici ILS 3NM o výkonu 100W. Podrobnější technické údaje jsou uvedeny v Tab. 3. [12,14]



Obr. 21. Laser ILS 3 NM [14]

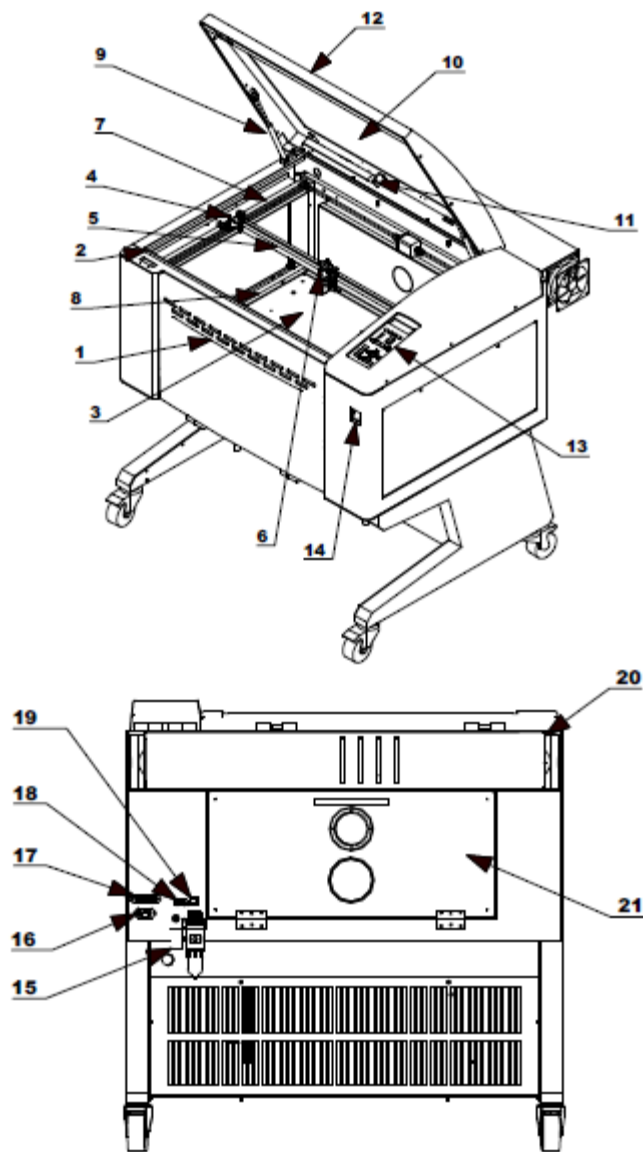
Technické parametry laseru ILS 3NM

V níže uvedené tabulce, jsou přesné technické parametry laserového zařízení a také možnosti volby přídatných zařízení.

ILS 3NM	
Výkon	100W
Aktivní prostředí	plyn - CO ₂
Pracovní režim	kontinuální, pulzní
Chlazení	vzduchové
Pracovní pole (největší rozměr materiálu)	660mm(D) x 495mm(Š) x 200mm(V)
Osa Z	210mm
Rozlišení	1000DPI, 500DPI, 333DPI, 250DPI, 200DPI, 166DPI
Vlnová délka	10,6μm
Řízení rychlosti posuvu	nastavitelné od 1mm/s do 1524mm/s
Řízení výkonu laseru	nastavitelné od 0% do 100%
Nastavení ohniskové vzdálenosti	automatické, manuální
Operační módy	rastrové gravírování, vektorové řezání
Komunikační rozhraní	USB, LPT1, LAN
Software	kompatibilní se software pro Microsoft Windows (AutoCAD, Corel)
Integrovaná paměť (buffer)	64 MB – max. 99 souborů
Displej zobrazuje	seznam vzorů, síla laseru, gravírovací rychlost, čas průběhu, načtené soubory, nastavení a diagnostiku stroje
Napájení	110/220V AC, 20/10A, 50/60 Hz
Vnější rozměry	970mm(D) x 865mm(Š) x 990mm(V)
Hmotnost	230Kg
Bezpečnostní standard	Třída 1
Příslušenství	odsávání zplodin, kompresor, rotační zařízení, deska pro řezání (s odsáváním / bez odsávání), přípravek pro tvorbu razítek

Tab. 3. Technické parametry laserového zařízení

Pro názornější seznámení s laserovým zařízením ILS 3NM jsou v následujícím obrázku (Obr. 23.) číselně označeny jednotlivé části zařízení.

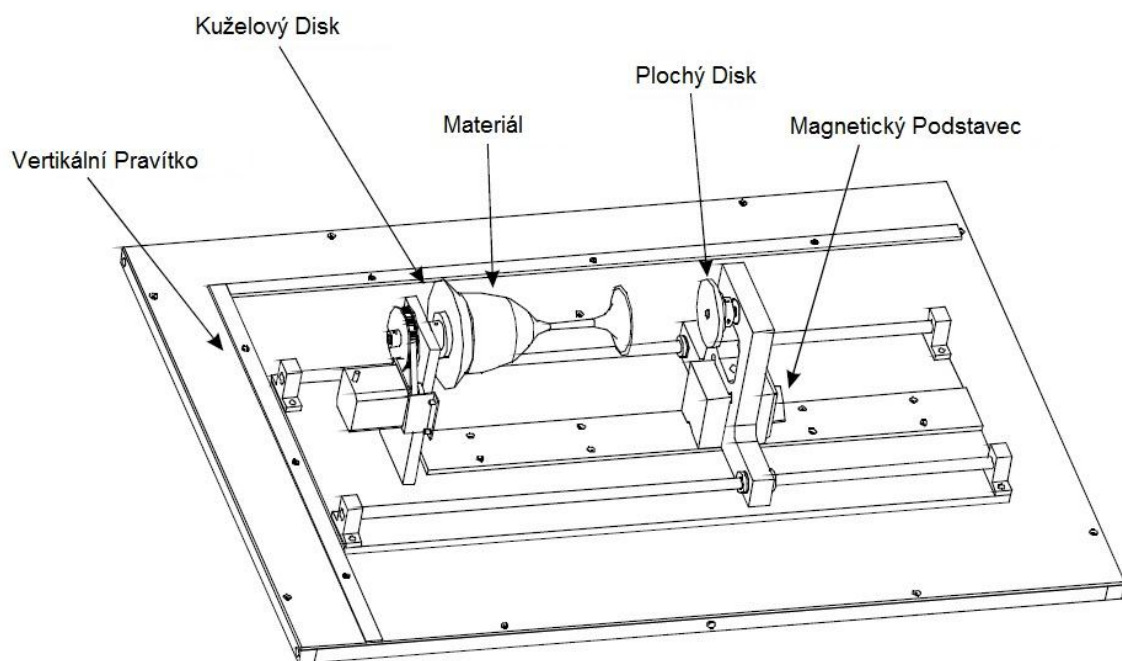


Obr. 22. Popis laserového zařízení [14]

1-přední dvířka, 2-zámek, 3-pracovní stůl, 4-reflektor, 5-rameno osy X, 6-zaměření čočky, 7-rameno osy Y, 8-pravítko, 9-držení dvířek, 10-okno dvířek, 11-osvětlení, 12-horní dvířka, 13-ovládací panel, 14-hlavní vypínač, 15-pojistka, 16-vstupní napájení, 17-paralelní port, 18-sériový port, 19-port LAN, 20-chladicí ventilátor, 21-zadní dvířka.

4.1.1 Přídavné rotační zařízení

Přídavné rotační zařízení slouží k popisování a gravírování rotačních dílů a především skleněných lahví. Zařízení se umístí a připevní na místo voštinové pracovní desky. Pomocí konektoru, který ovládá rotaci obráběného materiálu, je zařízení připojeno k laserovému stroji. Materiál je vložen mezi kuželový disk, který je poháněn a plochý disk, který je možno magneticky zajistit, tím dosáhneme dostatečného kontaktu k rotaci obráběného materiálu. [14]



Obr. 23. Popis rotačního zařízení [14]

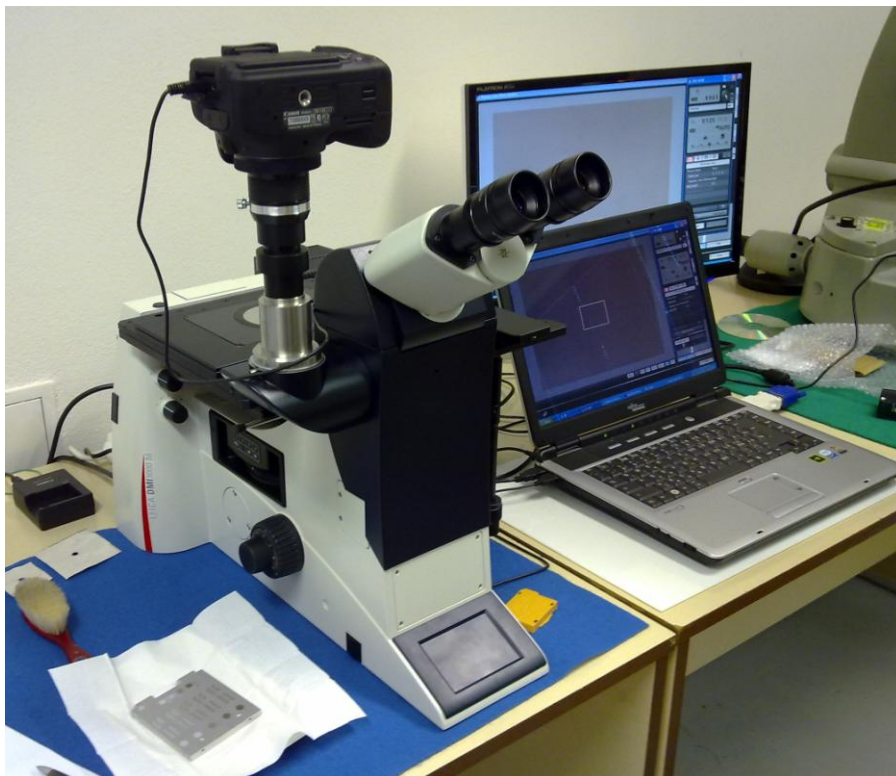
4.2 Měřicí přístroje

Měřicí přístroje použité během výzkumu experimentálních vzorků.

4.2.1 Leica DMI3000 M

Inverzní, manuální mikroskop pro vědecké účely. Vzhledem ke svým intuitivně rozmístěným ovládacím prvkům, je snadno ovladatelný. Univerzální systém Leica DMI3000 M nabízí řadu možností konfigurace, které poskytují dokonale přizpůsobení pro potřeby specifických uživatelů a specifických aplikací jako jsou kontrola jakosti a zabezpečování jakosti, analýza materiálů, nebo výzkum a vývoj nových materiálů.

Přístroj disponuje pěti objektivy se zvětšením 5x, 10x, 20x, 50x, 100x a okulárem se zvětšením 10x. Pro pozorování jsou k dispozici různé osvity a filtry. Možnost záznamu je na digitální fotoaparát a do PC. [15]



Obr. 24. Leica DMI3000 M

4.2.2 Fischer DUALSCOPE MP 20ES

Přístroj pro měření tloušťky povrchové vrstvy. Sonda využívá elektromagnetické indukce, nebo vířivých proudů, ale jsou k dispozici i jiné sondy. Je možno měřit vrstvy nanesené na feromagnetickém povrchu např. zinek, chrom, měď, cín, syntetický, smaltovaný lak na oceli, ale i elektricky nevodivé povlaky na neželezných kovech, práškové lakování, lak nebo umělé hmoty na hliníku, mosaz nebo zinek, jakožto i eloxované vrstvy na hliníku. Měřitelný rozsah tloušťky vrstvy je asi do 20mm v závislosti na použité sondě a ve zvláštních případech až do 300mm. Přístroj je možno připojit rovnou k počítači nebo tiskárně, pro lepší zpracování dat. [16]



Obr. 25. Fischer DUALSCOPE MP 20ES

5 PRACOVNÍ POSTUP NA LASEROVÉM ZAŘÍZENÍ

Pro práci s laserem ILS 3NM je třeba dodržovat následující sled operací v daném pořadí:

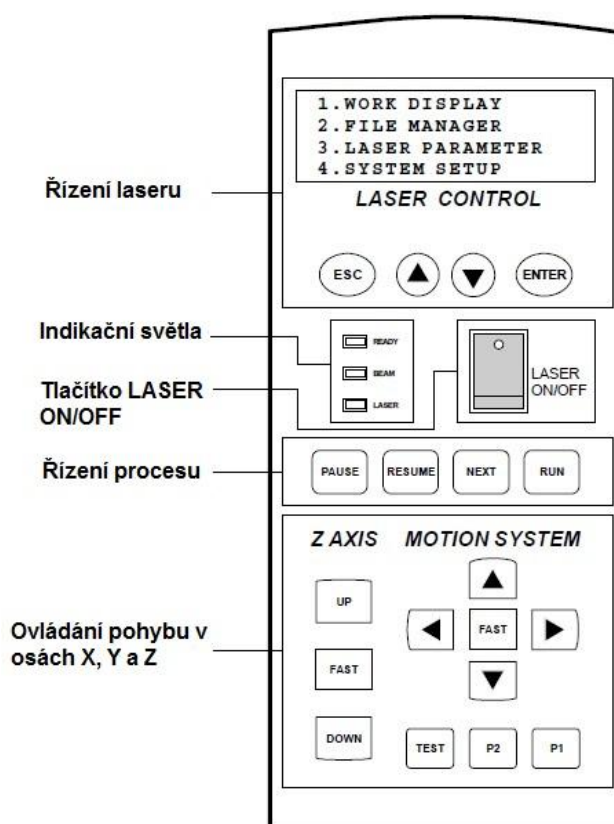
1. Aktivace hlavního vypínače
2. Zapnutí interního počítače
3. Umístění materiálu na pracovní plochu
4. Fokusace pomocí tělíska (nebo autofokusace)
5. Příprava souboru v programu CorelDRAW
6. Nastavení síly, rychlosti, PPI a dalších parametrů
7. Odeslání souboru do zařízení ILS 3NM
8. Zapnutí odsávání zplodin
9. Zapnutí chlazení
10. Ujistění se, zda je soubor přenesen do paměti zařízení
11. Aktivace laseru tlačítkem Laser ON
12. Zpracování pomocí tlačítka RUN
13. Vypnutí laseru tlačítkem Laser OFF
14. Vypnutí odsávání zplodin
15. Vypnutí chlazení
16. Vypnutí hlavního vypínače
17. Vypnutí interního počítače

Před samotným procesem lze odeslaný soubor vyzkoušet tlačítkem RUN, za předpokladu, že bude tlačítko v režimu Laser OFF. Můžeme tak někdy předejít různým potížím. [12]

5.1 Ovládací panel

Ovládací panel laseru ILS 3NM se nachází v pravé části vedle horních dveřík. Tento panel obsahuje LCD displej, světelné indikátory, spínač Laser ON/OFF a tlačítka k řízení procesů a pohybu (Obr. 26). Displej na panelu umožňuje zobrazení informací o souboru, o parametrech laseru či nastavení pracovního stolu. [12]

V řádku displeje WORK DISPLAY najdeme aktuální zvolený soubor ke zpracování spolu s informacemi o něm a také dalšími soubory, které byly odeslány z počítače.



Obr. 26. Ovládací panel laseru ILS 3NM [14]

Pokud se naskytne problém a chceme ukončit práci, můžeme tlačítkem PAUSE pozastavit proces, to však nezastaví práci ihned, ale najde vhodné místo k zastavení. **Pro okamžité zastavení procesu, je lepší použít vypínač Laser OFF.** Vypnutím paprsku nepřijdeme o nastavení fokusace.

5.1.1 Indikační světla

- Zelená kontrolka READY - systém je připraven k provozu,
- Červená kontrolka BEAM - bliká, je-li laserový paprsek v provozu,
- Oranžová kontrolka LASER - indikuje, zda je zapnuto tlačítko Laser ON.

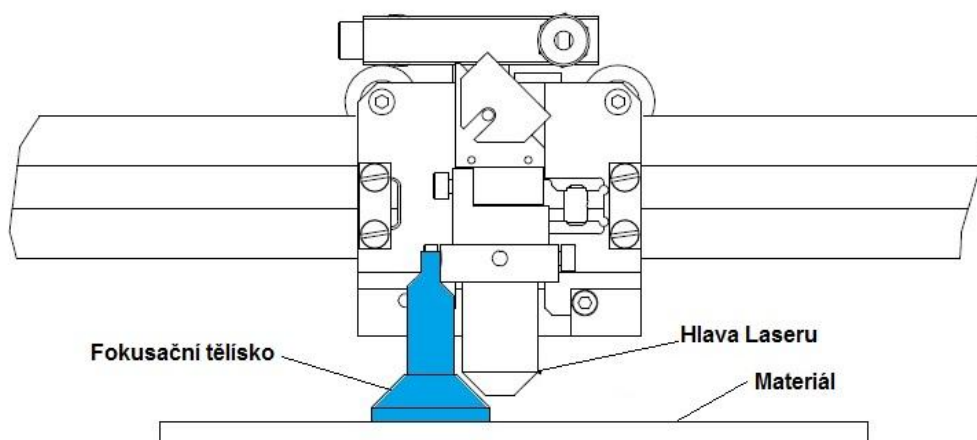


Obr. 27. Indikační světla [12]

5.2 Fokusace laseru (zaostřování)

S použitím různé tloušťky materiálu se liší výška pracovního stolu a tím i zaostření laseru. Je tedy třeba, při každé změně materiálu, provést fokusaci zařízení. Změna ohniskové vzdálenosti se nachází na displeji v nabídce SYSTEM SETUP – Position setup – Focus Length.

Manuální fokusaci provedeme tak, že fokusační tělísko položíme na materiál a nižší ryska se musí dotýkat s hranou hlavy laseru (Obr. 27). Výšku stolu ve směru osy Z nastavíme nahoru pomocí tlačítka UP a dolů pomocí tlačítka DOWN. Polohu laserové hlavy ve směru os X a Y udáváme pomocí šipek na ovládacím panelu (Obr. 26). [12]



Obr. 28. Zaostřování laseru [14]

5.3 Příprava pracovního souboru

Pro přípravu souboru k vyhotovení používáme program CorelDRAW. Jedná se o program pro práci s vektorovými i rastrovými obrázky. Nejenže v něm lze grafiku vytvářet, ale i již hotová díla upravovat. Po spuštění programu CorelDRAW máme hned několik možností pro tvorbu:

1. Vytvořit nový soubor
2. Otevřít již dříve vytvořený soubor
3. Import z programu CAD
4. Import obrázků

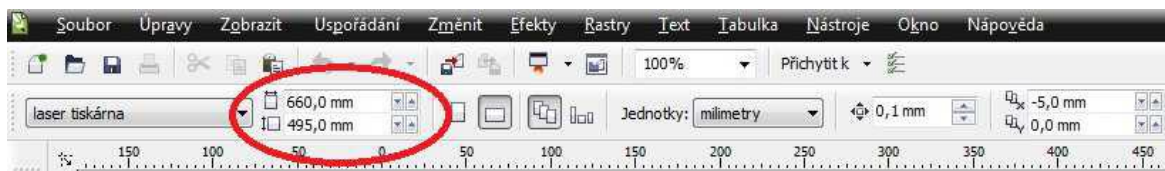
V případě volby importu souboru z programu CAD ve formátu DXF, je potřeba použít funkci **Převést na křivky**, což umožňuje další úpravy souboru.

Velice důležité také je, aby obrázek byl v dobrém rozlišení (větší než 96 dpi) a v barvách palety **RGB**, jenž laser dokáže přečíst. [12]

Ať už vytváříme nový soubor, nebo pouze upravujeme starší obrázek, vždy je potřeba zadat velikost pracovní plochy, nadefinovat počátek pracovní plochy a nastavit polohu a rozměr obrazce, který má být zpracován.

5.3.1 Nastavení velikosti pracovní plochy

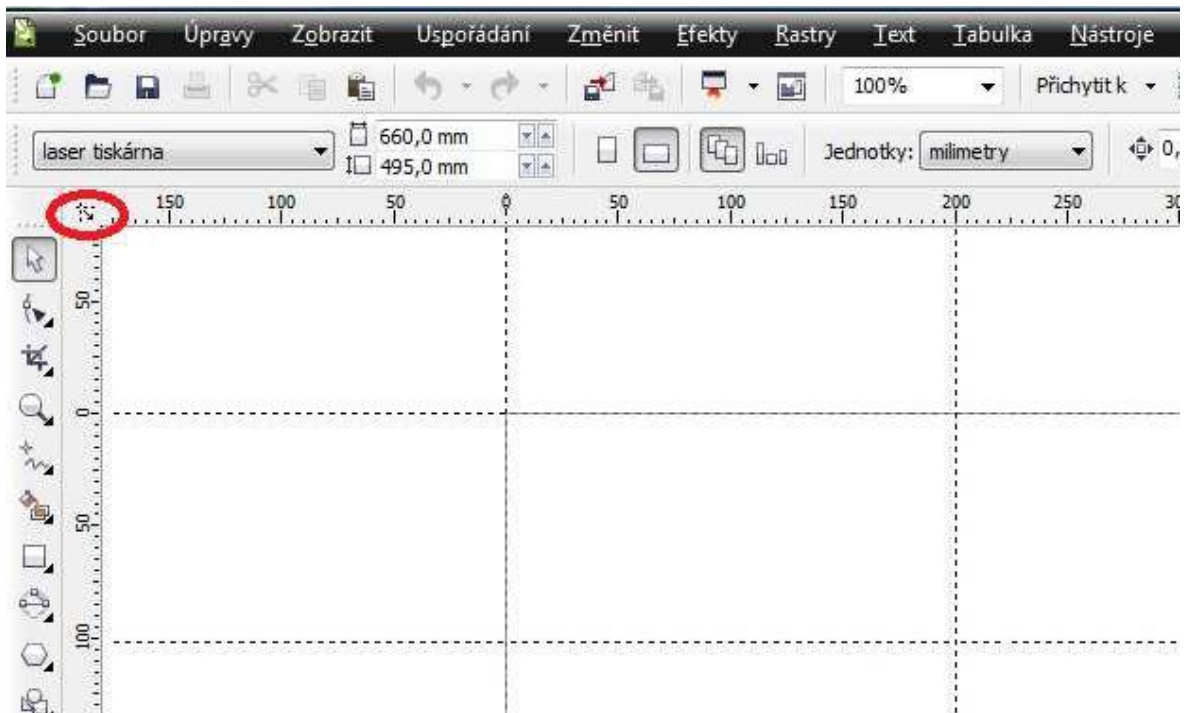
Pokud jsme nezadali rozměry při vytváření nového dokumentu, tak je doplníme do kolonek viditelných na (Obr. 28). V našem případě je velikost pracovního stolu 660 mm x 495 mm.



Obr. 29. Nastavení velikosti pracovní plochy [12]

5.3.2 Definování počátku pracovní plochy

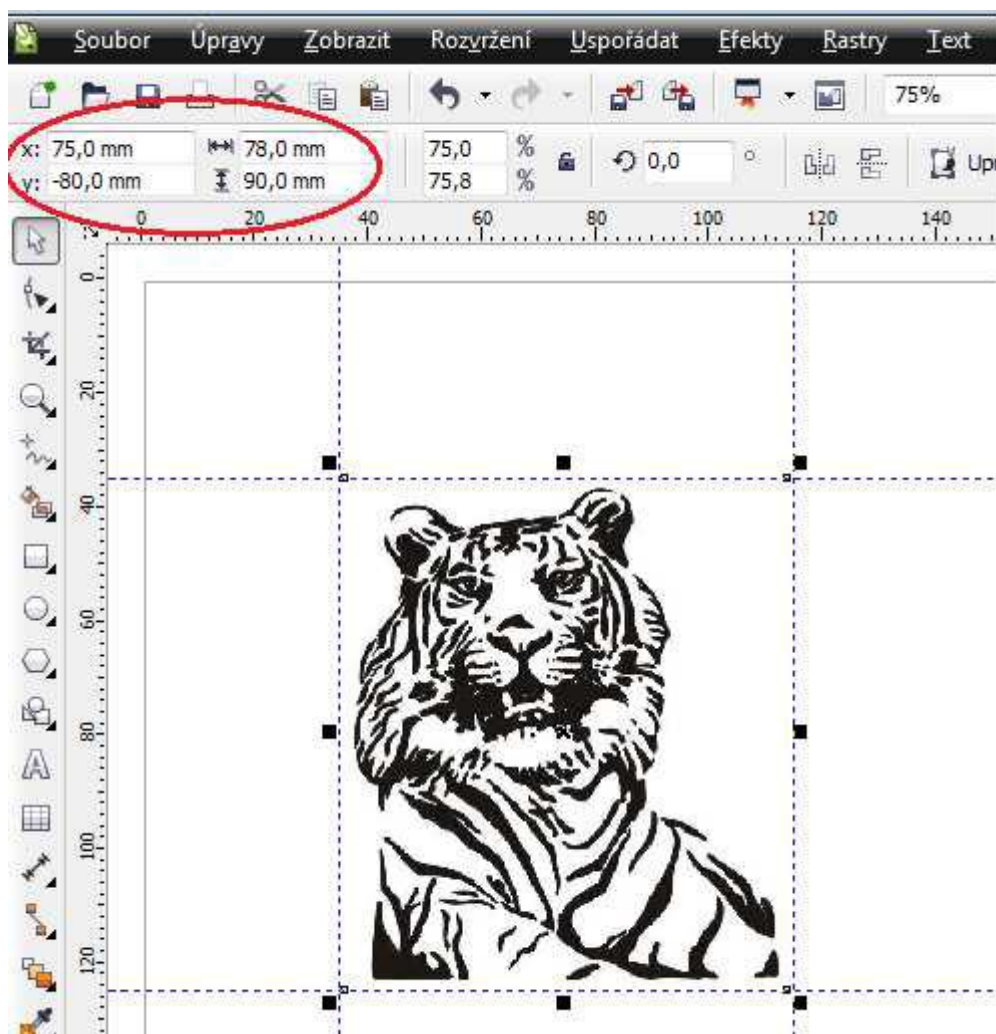
Pro lepší přehlednost a přesnost je vhodné zadat počátek pracovní plochy. Souřadnice bodu [0,0] vytvoříme přetažením ikonky na požadované místo pracovní plochy (Obr. 29). Přetažením svislého a vodorovného pravítka můžeme vytvořit pomocné čáry, které nám pomohou při práci a nadefinování polohy a rozměrů polotovaru. [12]



Obr. 30. Nastavení počátku pracovní plochy [12]

5.3.3 Nastavení polohy a rozměru objektu

Polohu a rozměr obrázku lze v osách X a Y nadefinovat zadáním hodnot do jednotlivých řádků (Obr. 30).



Obr. 31. Nastavení polohy a rozměrů obrázku [12]

5.4 Nastavení pro laserový tisk

Laserový tisk je proveditelný ve dvou režimech:

- rastrový
- vektorový

Rastrový režim

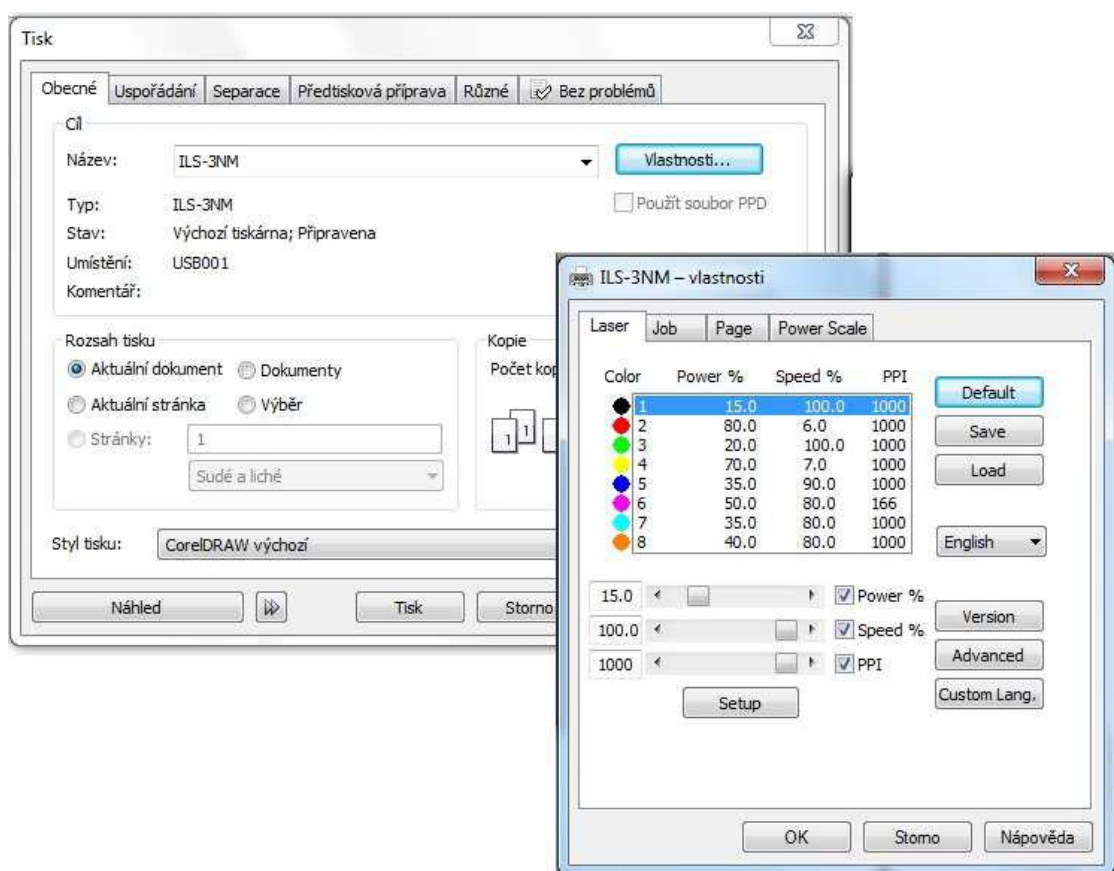
V tomto režimu se laser pohybuje sem a tam po pracovní ploše. Sepíná pouze pokud je přítomna grafická oblast. Používá se pro gravírování. Při vytváření nového objektu v programu CorelDRAW definujeme příkazem **Jednotná výplň** z nabídky nástroje Výplň. [12]

Vektorový režim

V tomto režimu laser pálí konkrétní cestu nadefinovanou grafickým programem. Používá se hlavně pro vektorové řezání a vypalování. Vektorový režim je mnohem rychlejší než rastrový. Při vytváření nového objektu v programu CorelDRAW definujeme příkazem **Vlasový obrys** z nabídky nástroje Obrysové pero. [12]

5.4.1 Nadefinování řezných podmínek

Připravený soubor odešleme k tisku kliknutím na panelu nabídky **Soubor** → **Tisk** otevře se nám okno, kde můžeme dále, pod tlačítkem **Vlastnosti**, nastavit parametry tisku.



Obr. 32. Nadefinování řezných podmínek [12]

V okně **Vlastnosti** se nabízí hned osm barev k nadefinování. Ke každé z těchto barev může být přiřazen odlišný výkon (power), řezná rychlost (speed) a PPI (puls na palec). V případě laserového řezání a gravírování změna PPI upravuje hustotu, s jakou se obraz vypaluje. Barvy se tisknou v předdefinovaném pořadí, tak jak jsou vypsány. Použijeme-li jinou barvu než z osmi předdefinovaných, laser si zvolí sám automaticky nejbližší možný odstín. V tomto případě však nemůžeme očekávat přesné výsledky. [12]

Jsou-li všechny parametry nastaveny správně, kliknutím na tlačítko **Tisk** odešleme soubor do paměti laseru ILS 3NM, kde bude čekat na zpracování.

6 MATERIÁLY A EXPERIMENTÁLNÍ OBRÁBĚNÍ

6.1 Materiály

Při styku laserového paprsku s materiálem dochází k vzájemné interakci, která je závislá na vlastnostech materiálu, na jeho schopnosti pohlcovat a odrážet laserové záření.

Faktory, důležité pro použití laserového paprsku:

- odrazivost
- absorpce – pohlcování laserového záření
- tepelná vodivost
- tavení povrchové vrstvy
- odpařování.

Při dopadu paprsku na materiál se část záření odrazí, část se absorbuje do materiálu a část projde materiálem. Obecně platí, že se zvyšováním vlnové délky světelného záření odrazivost kovů stoupá. Odrazivost se dá snížit např. zdrsněním povrchu, vytvořením krycí nekovové vrstvy, porušením oxidové vrstvy ozářením povrchu laserovým paprskem s vysokou energií, zahřáním materiálu na teplotu blízkou teplotě tavení. [2]

Odrazivost R [%]		
Kov	Vlnová délka [μm]	
	0,9 - 1,1	9 - 11
Zlato	94,7	97,7
Stříbro	96,4	99
Hliník	73,3	96,9
Měď	90,1	98,9
Železo	65	93,8
Nikl	72	95,6
Zinek	49	98,1
Chrom	57	93
Křemík	28	28
Ocel (1% uhlíku)	63,1	93-96
Uhlík (grafit)	26,8	59

Tab. 4. Odrazivost vybraných materiálů

Pro experimentální obrábění bylo použito několik materiálů. Přičemž jsme se nejvíce zaměřili na hliník s povrchovou úpravou anodickou oxidací (tzv. Elox). Pro názornost dalších aplikací laserového popisování bylo provedeno několik obrábění na plastové díly z PC/ABS s povrchovou úpravou metalickým lakem, také na barevně lakované ocelové plechy a na plech z nerezové oceli. V poslední řadě bylo provedeno obrábění, za pomoci rotačního zařízení, na čiré i barevné, skleněné láhve.

6.1.1 Anodická oxidace (Elox)

Eloxování (anglicky anodizing) patří mezi druh povrchové úpravy kovů a některých slitin. Jedná se o elektrochemický proces, kdy na povrchu kovu (hliníku, titanu, niobu), který je v elektrolytické lázni zapojen jako anoda, dochází ke tvorbě rovnoměrné kompaktní vrstvy oxidu, který je výrazně tvrdší a chemicky odolnější než kov sám a zlepšuje tak mechanické a chemické vlastnosti eloxovaných výrobků. Nespornou výhodou je také možnost vybarvování této vrstvy průmyslovými barvivy do prakticky libovolného odstínu, což má důvod jak estetický, tak i praktický (např. černění hliníkových součástí optických přístrojů, nebo ploch chladičů). Navíc na rozdíl od organických barviv nanášených pouze na povrch kovu, nemá eloxová vrstva při správném provedení tendenci k odlupování a barvivo je v této vrstvě uzavřeno. Asi nejznámější a nejrozšířenější je eloxování hliníku, kdy na jeho povrchu vzniká vrstva oxidu hlinitého se strukturou korundu (důvod tvrdosti vrstvy) a běžnou tloušťkou 5 – 25 μm (u speciálních druhů této metody: Tvrdá anodizace – tloušťka vrstvy 25 – 200 μm a naopak Pásová anodizace 0,2 - 25 μm). Eloxování hliníku je poměrně jednoduchá operace proveditelná i v domácích podmínkách. Při dodržování určitých pravidel lze docílit efektního vzhledu hliníkových dílů. Tato metoda se používá nejvíce v odvětvích strojírenství, stavebnictví a bytové architektury, automobilovém a leteckém průmyslu. [17]

Výhody Anodické oxidace:

- zbarvení jsou velmi světlostálá a odolná povětrnostním vlivům
- zbarvení mají dobrou tepelnou odolnost
- reprodukovatelnost definovaných barevných odstínů
- není nutno používat speciální slitinu - barvení je možno provést se všemi dekoračně anodicky oxidovatelnými slitinami

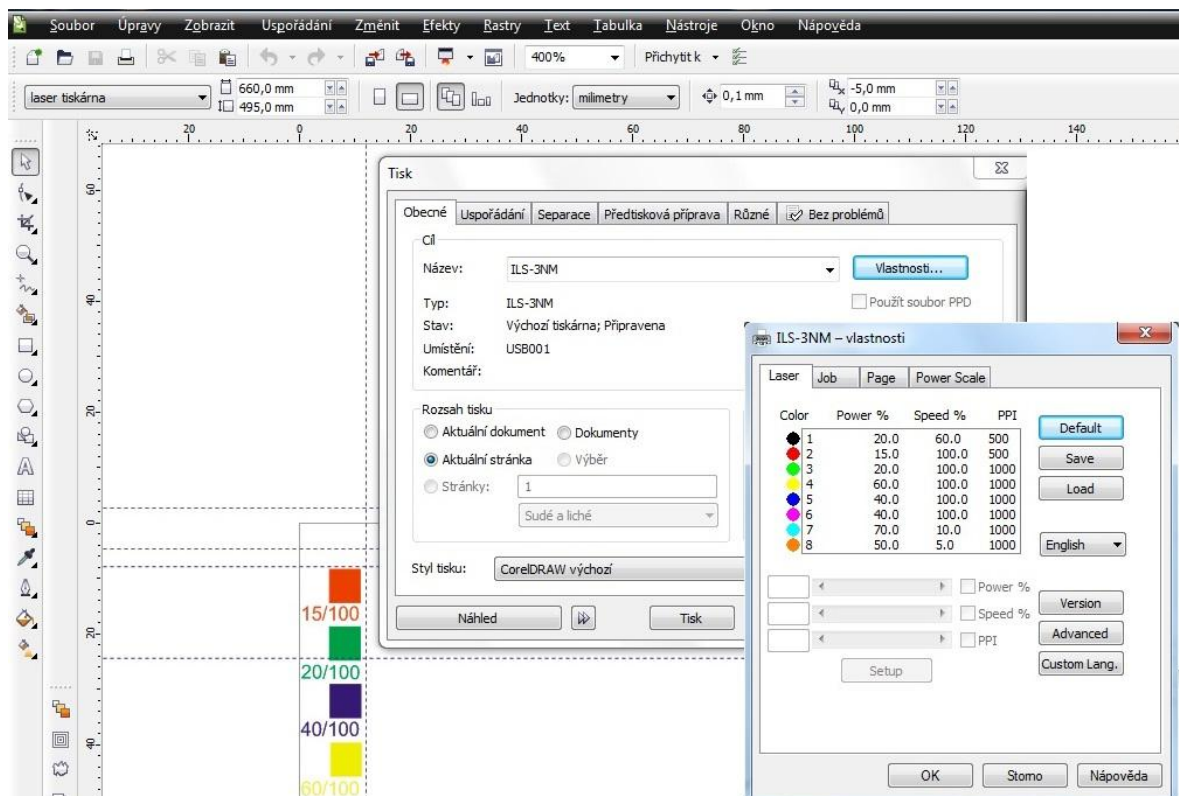
6.2 Experimentální obrábění

6.2.1 Vzorek A

Hliníkový vzorek s povrchovou úpravou bezbarvou (konvenční) anodickou oxidací v kyselině sírové.

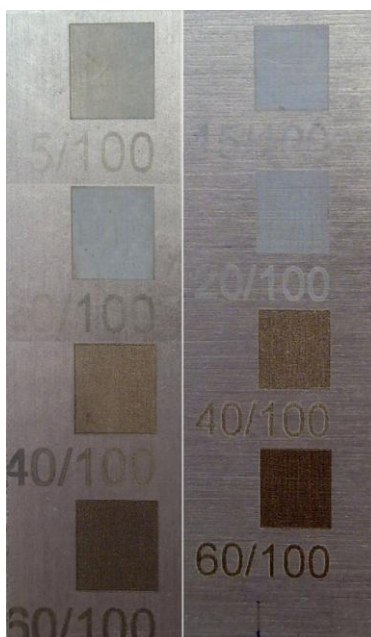
Měření	Tloušťka [μm]
1	15,9
2	16,8
3	15
4	17,4
5	15,2
Průměr	16,1

Tab. 5. *Tloušťka povrchové vrstvy vzorku A*



Obr. 33. *Návrh experimentálního obrábění v programu CorelDraw*

U vzorku A bylo provedeno experimentální obrábění za následujících podmínek: výkon laseru 15%, 20%, 40%, 60% a za stálé rychlosti posuvu 100%. Viz. Obr. 34. a) Směr obrábění ve směru vzoru textury povrchu, b) Směr obrábění kolmý na vzor textury povrchu. Jak je níže patrné, tak lepších výsledků jsme docílili u shodného směru obrábění se vzorem textury povrchu a jako optimální výkon laseru se jeví rozmezí 20% až 40%. U vyšších hodnot výkonů laseru (80% a 100%) už nebyly znatelné rozdíly oproti povrchu po gravírování při výkonu 60%.

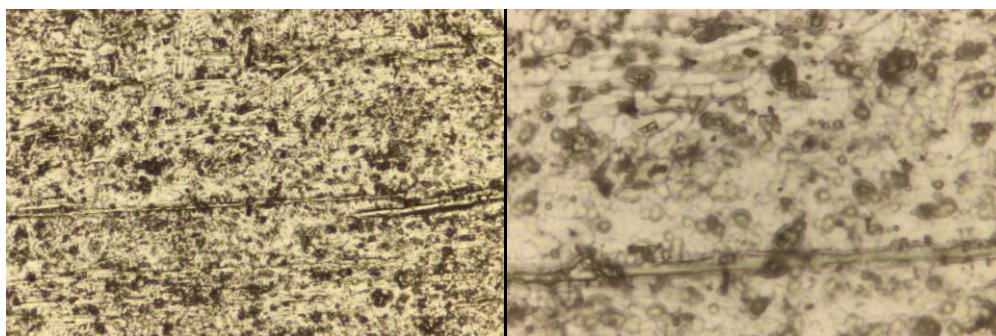


a)

b)

Obr. 34. Vzorek A experimentální obrábění

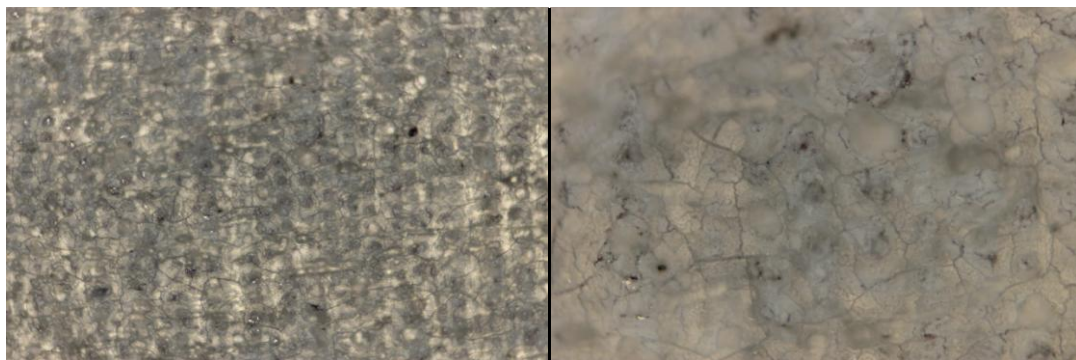
Mikroskopické snímky:



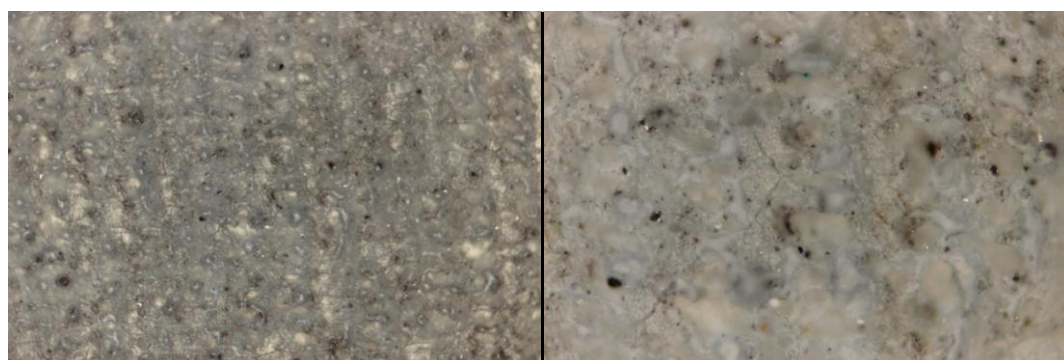
Zvětšení 200x

Zvětšení 500x

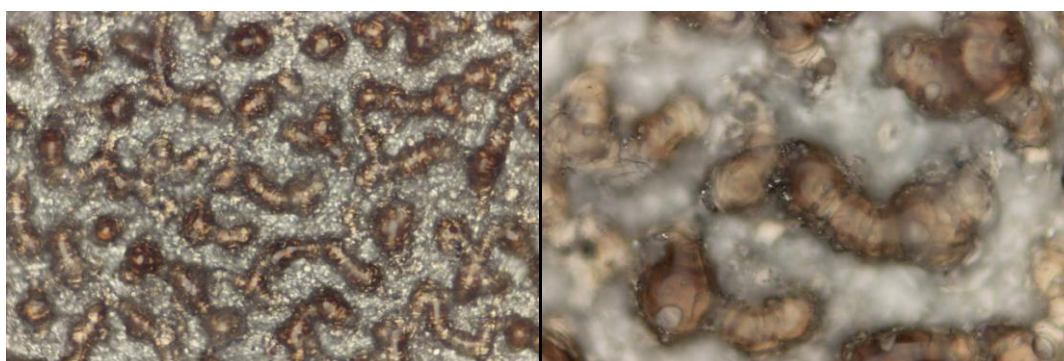
Obr. 35. Neobrobená plocha vzorku A

*Zvětšení 200x**Zvětšení 500x*

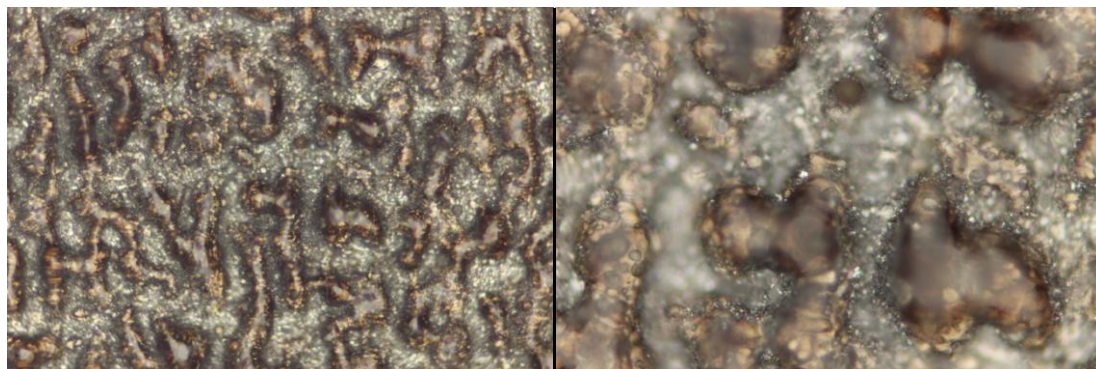
Obr. 36. Gravírovaná plocha vzorku A (směr obrábění kolmý na texturu povrchu, výkon laseru 15% a rychlost posuvu 100%)

*Zvětšení 200x**Zvětšení 500x*

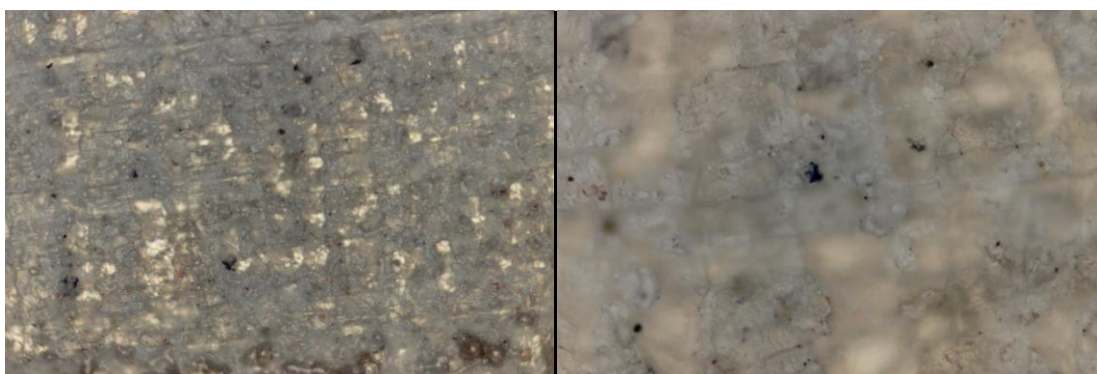
Obr. 37. Gravírovaná plocha vzorku A (směr obrábění kolmý na texturu povrchu, výkon laseru 20% a rychlost posuvu 100%)

*Zvětšení 200x**Zvětšení 500x*

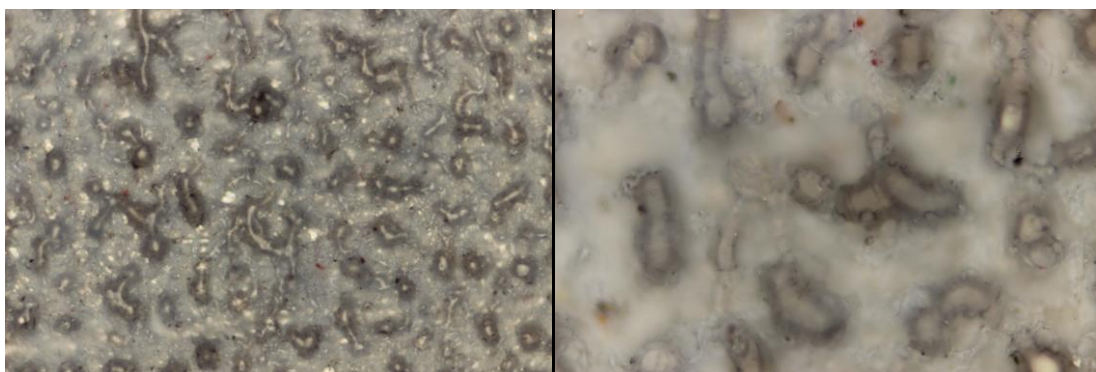
Obr. 38. Gravírovaná plocha vzorku A (směr obrábění kolmý na texturu povrchu, výkon laseru 40% a rychlost posuvu 100%)

*Zvětšení 200x**Zvětšení 500x*

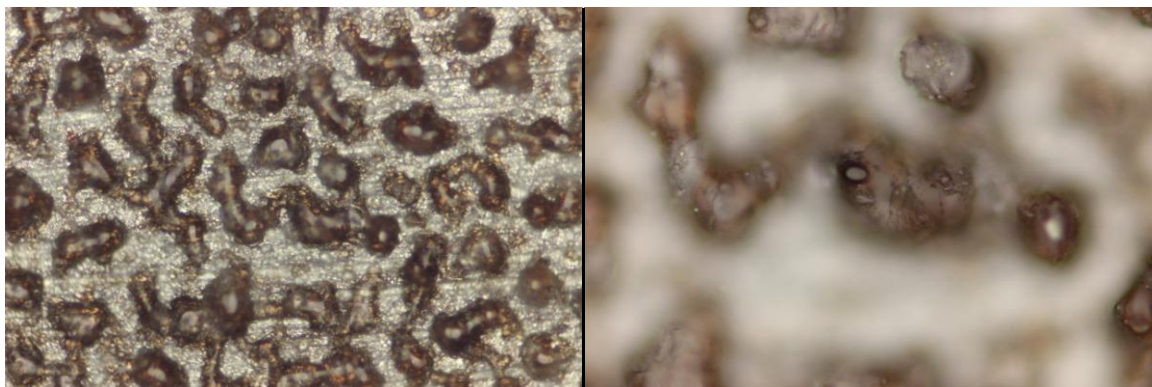
Obr. 39. Gravírovaná plocha vzorku A (směr obrábění kolmý na texturu povrchu, výkon laseru 60% a rychlost posuvu 100%)

*Zvětšení 200x**Zvětšení 500x*

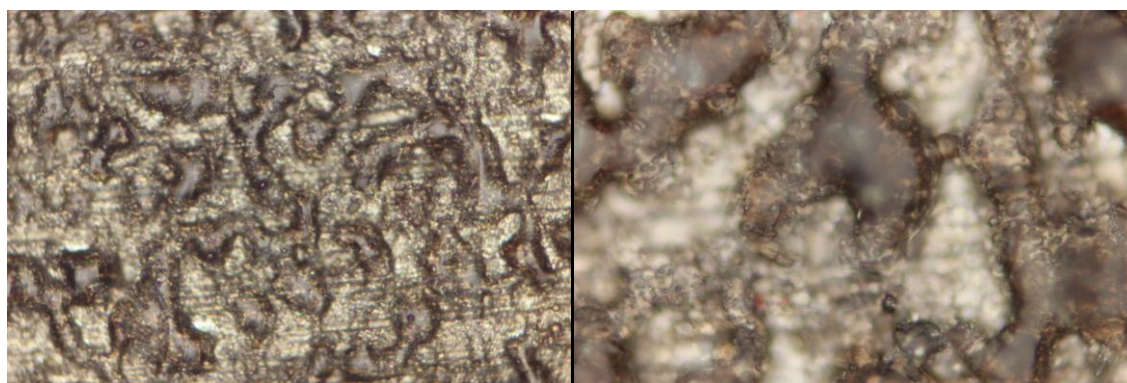
Obr. 40. Gravírovaná plocha vzorku A (směr obrábění ve směru textury povrchu, výkon laseru 15% a rychlost posuvu 100%)

*Zvětšení 200x**Zvětšení 500x*

Obr. 41. Gravírovaná plocha vzorku A (směr obrábění ve směru textury povrchu, výkon laseru 20% a rychlost posuvu 100%)

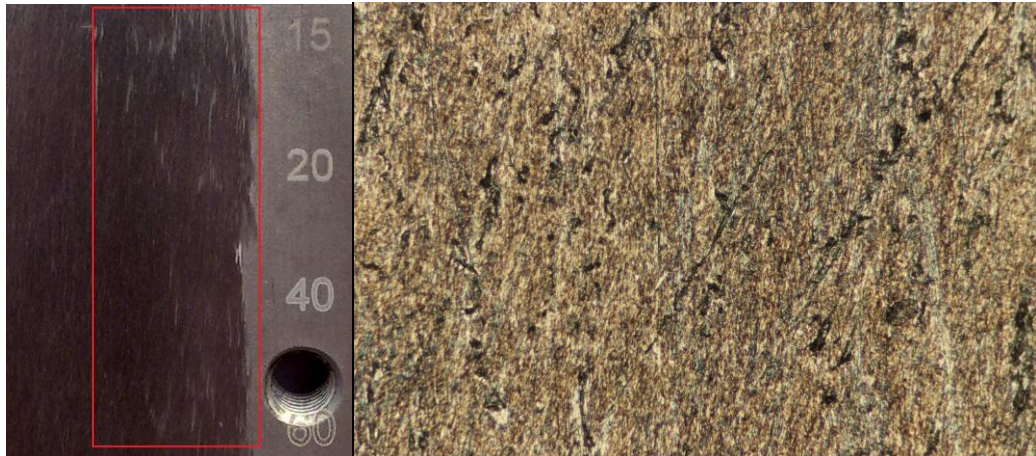
*Zvětšení 200x**Zvětšení 500x*

Obr. 42. Gravírovaná plocha vzorku A (směr obrábění ve směru textury povrchu, výkon laseru 40% a rychlost posuvu 100%)

*Zvětšení 200x**Zvětšení 500x*

Obr. 43. Gravírovaná plocha vzorku A (směr obrábění ve směru textury povrchu, výkon laseru 60% a rychlost posuvu 100%)

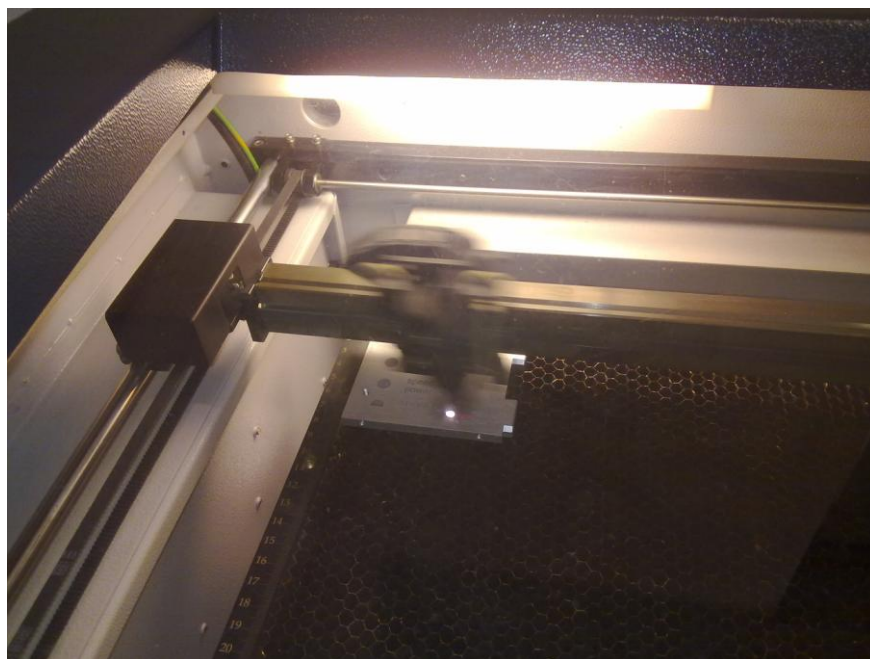
V důsledku zkoumání vypálených míst, po laserovém paprsku za vyšších hodnot výkonu, které jsou patrné na mikroskopických snímcích. Byl proveden pokus, kdy jsme odstranili vrstvu eloxu na základní hliníkový materiál a následně bylo provedeno laserové obrábění, jako u předchozích vzorků (tzn. výkon laseru 15%, 20%, 40%, 60% a stálá rychlost posuvu 100%). Na Obr. 44. nelze zpozorovat jakákoli stopa po laserovém obrábění, tudíž jsme dospěli k závěru, že u vypálených míst se nejedná o základní materiál, ale o spálené zbytky eloxu.



Obr. 44. Pokus - vzorek A (vyznačená oblast je na obrázku vpravo 200x zvětšena)



Obr. 45. Další ukázky obrábění vzorku A (vrchní obrázek - výkon/rychlost = 20/100%, spodní obrázek - 40/100%)



Obr. 46. Ukázka obrábění vzorku A přímo na stroji

6.2.2 Vzorek B

Hliníkový vzorek s povrchovou úpravou bezbarvou (konvenční) anodickou oxidací v kyselině sírové.

Měření	Tloušťka [μm]
1	24,9
2	22,2
3	25,7
4	23,9
5	24,3
Průměr	24,2

Tab. 6. Tloušťka povrchové vrstvy vzorku B

U vzorku B bylo provedeno experimentální obrábění za následujících podmínek: výkon laseru 15%, 20%, 40%, 60% a stálá rychlost posuvu 100%. a) Směr obrábění ve směru vzoru textury povrchu, b) Směr obrábění kolmý na vzor textury povrchu. Ač má tento vzorek větší vrstvu eloxu oproti vzorku A, tak experimentální obrábění přineslo horší výsledky, které jsou patrné na Obr. 47.



Obr. 47. Vzorek B experimentální obrábění

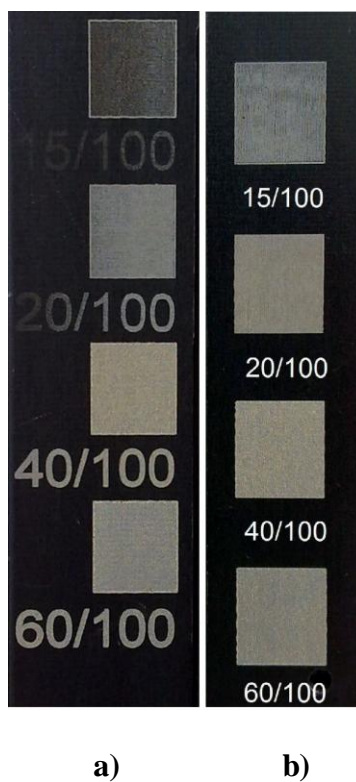
6.2.3 Vzorek C

Hliníkový vzorek s povrchovou úpravou černou, anodickou oxidací v kyselině sírové.

Měření	Tloušťka [μm]
1	13,2
2	14
3	15,1
4	16,4
5	13,7
Průměr	14,5

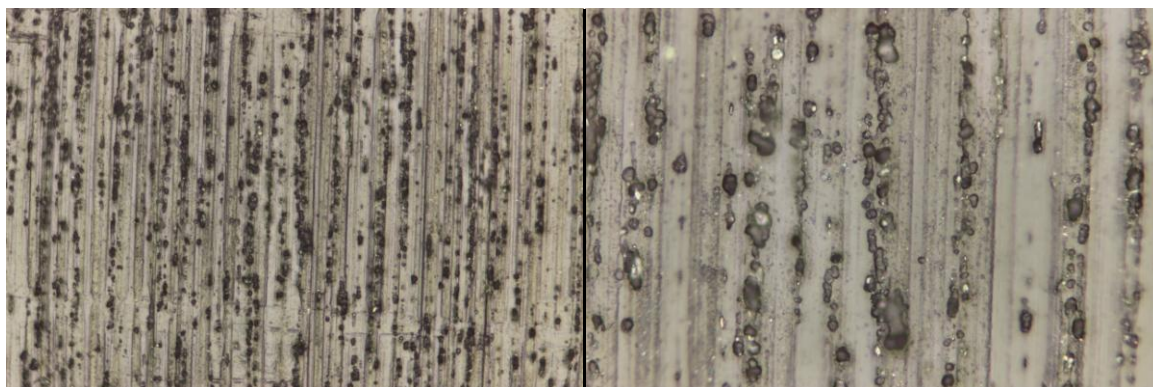
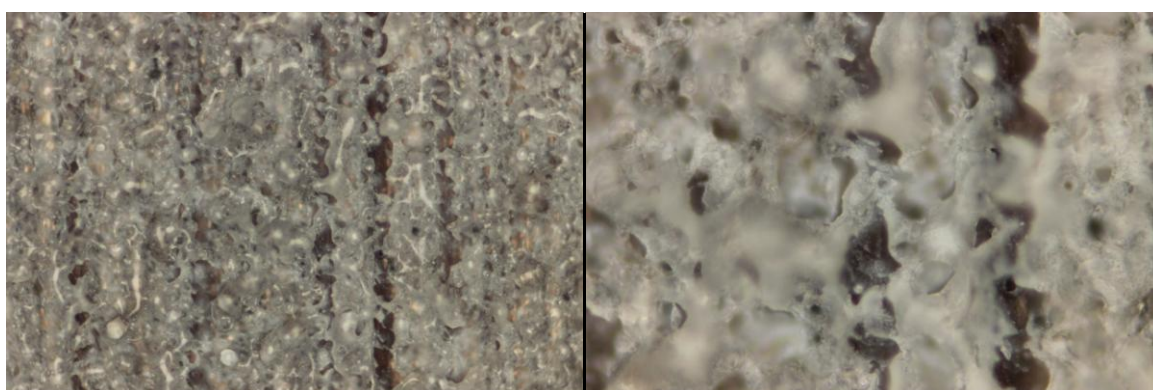
Tab. 7. Tloušťka povrchové vrstvy vzorku C

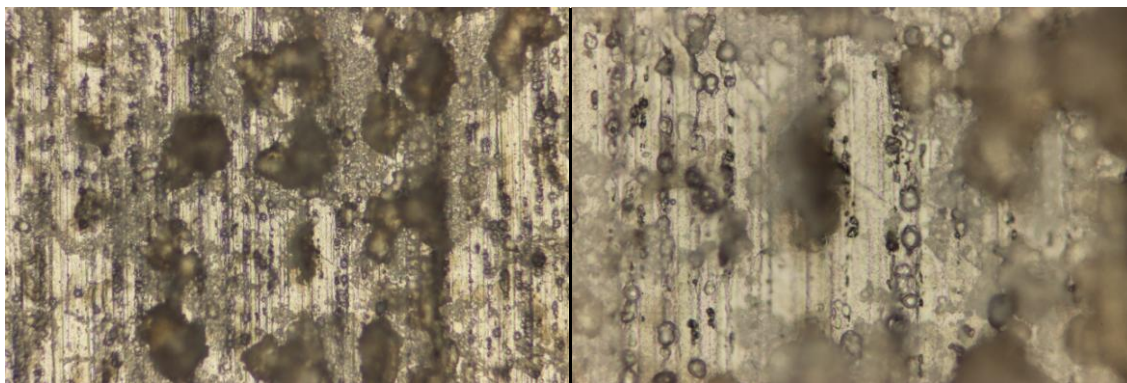
U vzorku C bylo provedeno experimentální obrábění za následujících podmínek: výkon laseru 15%, 20%, 40%, 60% a stálá rychlost posuvu 100%. Viz. Obr. 48. a) Směr obrábění ve směru vzoru textury povrchu, b) Směr obrábění kolmý na vzor textury povrchu. Gravírování do černého eloxu bylo lepší z hlediska kontrastu mezi obrobenou a neobrobenou plochou povrchu vzorku.



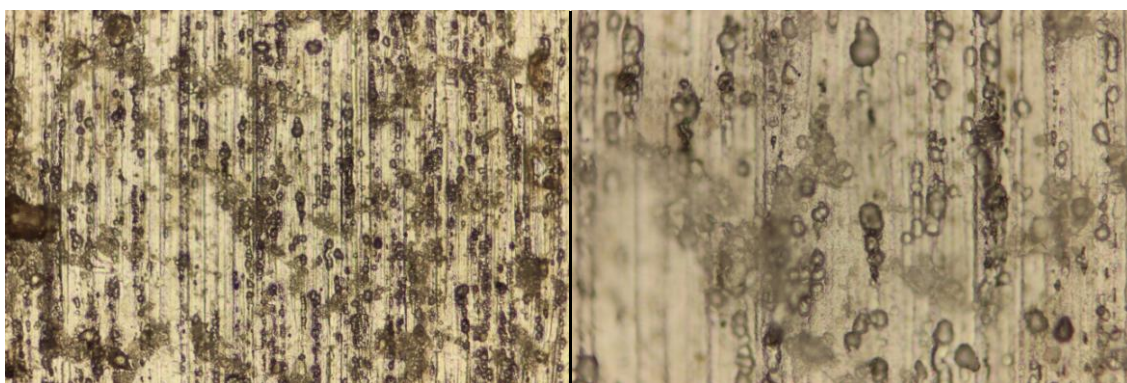
Obr. 48. Vzorek C experimentální obrábění

Mikroskopické snímky:

*Zvětšení 200x**Zvětšení 500x**Obr. 49. Neobrobená plocha vzorku C**Zvětšení 200x**Zvětšení 500x**Obr. 50. Gravírovaná plocha vzorku C (směr obrábění kolmý na texturu povrchu, výkon laseru 15% a rychlost posuvu 100%)**Zvětšení 200x**Zvětšení 500x**Obr. 51. Gravírovaná plocha vzorku C (směr obrábění kolmý na texturu povrchu, výkon laseru 20% a rychlost posuvu 100%)*

*Zvětšení 200x**Zvětšení 500x*

Obr. 52. Gravírovaná plocha vzorku C (směr obrábění kolmý na texturu povrchu, výkon laseru 40% a rychlost posuvu 100%)

*Zvětšení 200x**Zvětšení 500x*

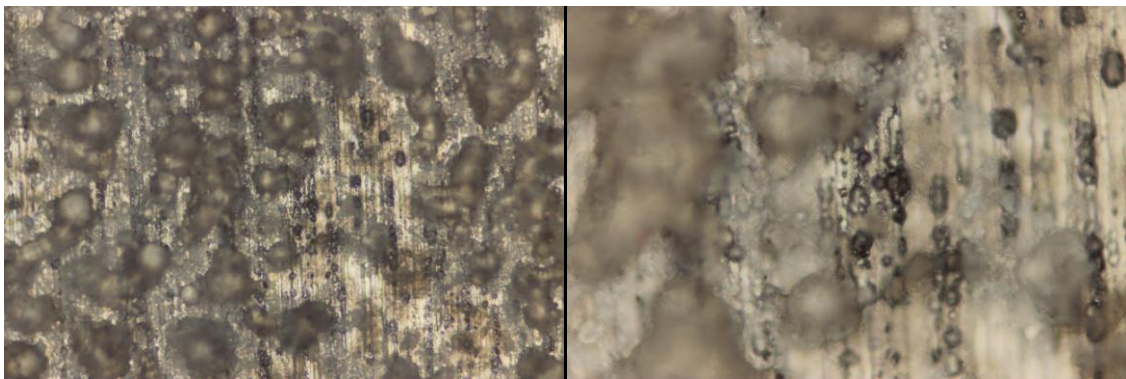
Obr. 53. Gravírovaná plocha vzorku C (směr obrábění kolmý na texturu povrchu, výkon laseru 60% a rychlost posuvu 100%)

*Zvětšení 200x**Zvětšení 500x*

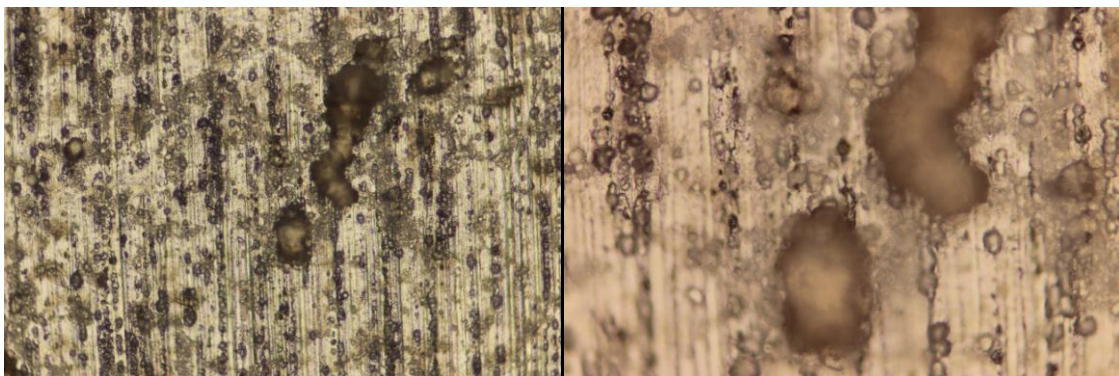
Obr. 54. Gravírovaná plocha vzorku C (směr obrábění ve směru textury povrchu, výkon laseru 15% a rychlost posuvu 100%)

*Zvětšení 200x**Zvětšení 500x*

Obr. 55. Gravírovaná plocha vzorku C (směr obrábění ve směru textury povrchu, výkon laseru 20% a rychlost posuvu 100%)

*Zvětšení 200x**Zvětšení 500x*

Obr. 56. Gravírovaná plocha vzorku C (směr obrábění ve směru textury povrchu, výkon laseru 40% a rychlost posuvu 100%)

*Zvětšení 200x**Zvětšení 500x*

Obr. 57. Gravírovaná plocha vzorku C (směr obrábění ve směru textury povrchu, výkon laseru 60% a rychlost posuvu 100%)

6.2.4 Vzorek D

Hliníkový vzorek s povrchovou úpravou černou, anodickou oxidací v kyselině sírové.

Měření	Tloušťka [μm]
1	5,5
2	5,4
3	4
4	6,2
5	4,7
Průměr	5,2

Tab. 8. Tloušťka povrchové vrstvy vzorku D

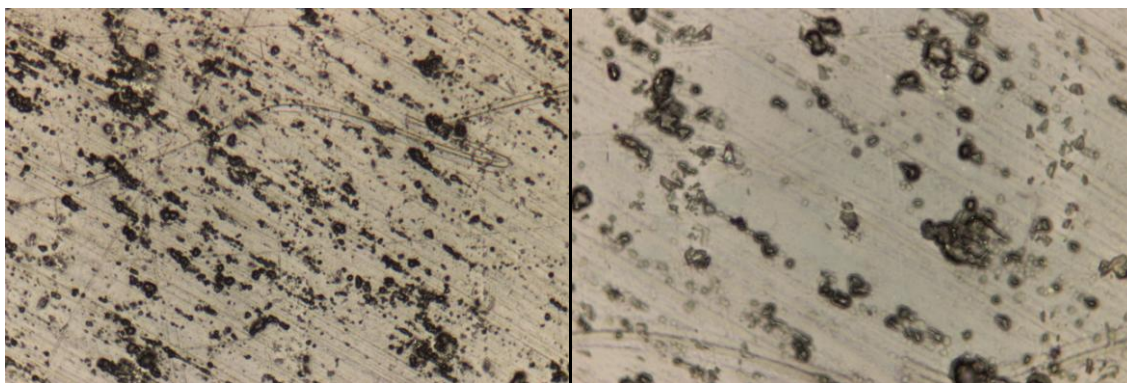
U vzorku D bylo provedeno experimentální obrábění za následujících podmínek: výkon laseru 15%, 20%, 40%, 60% a stálá rychlost posuvu 100%. Viz. Obr. 58. a) Směr obrábění ve směru vzoru textury povrchu, b) Směr obrábění kolmý na vzor textury povrchu.



a) b)

Obr. 58. Vzorek D experimentální obrábění

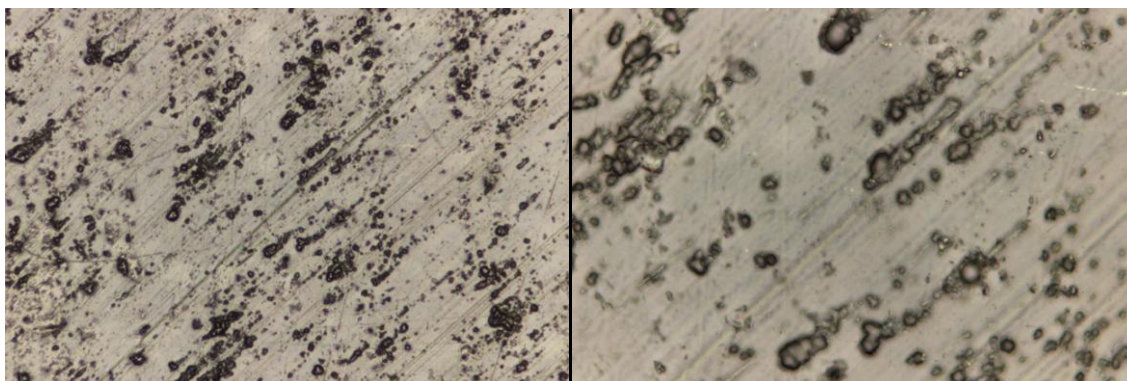
Mikroskopické snímky:



Zvětšení 200x

Zvětšení 500x

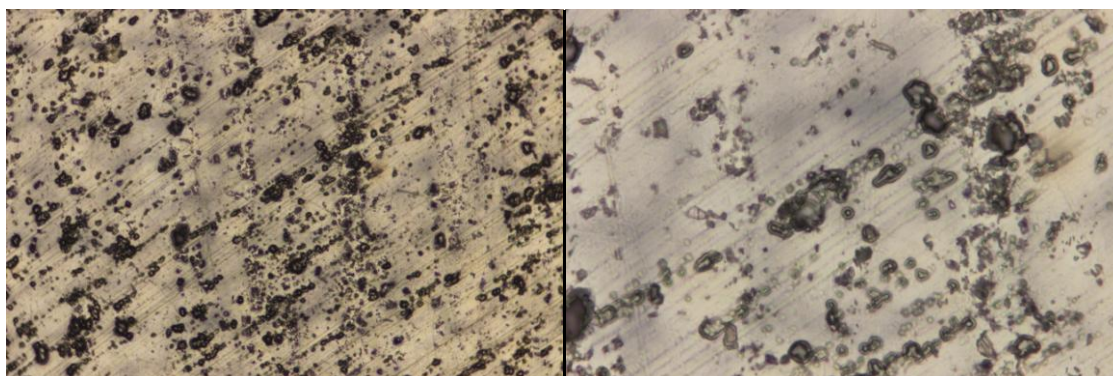
Obr. 59. Neobrobená plocha vzorku D



Zvětšení 200x

Zvětšení 500x

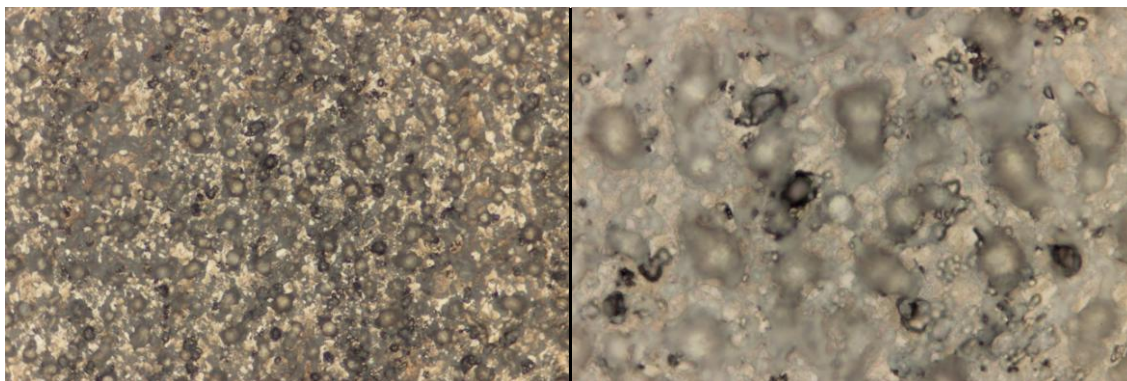
Obr. 60. Gravírovaná plocha vzorku D (směr obrábění kolmý na texturu povrchu, výkon laseru 15% a rychlost posuvu 100%)



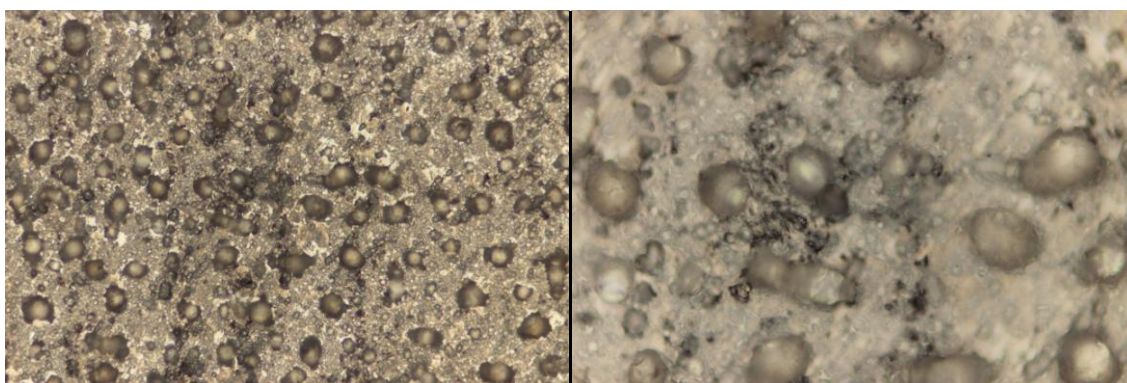
Zvětšení 200x

Zvětšení 500x

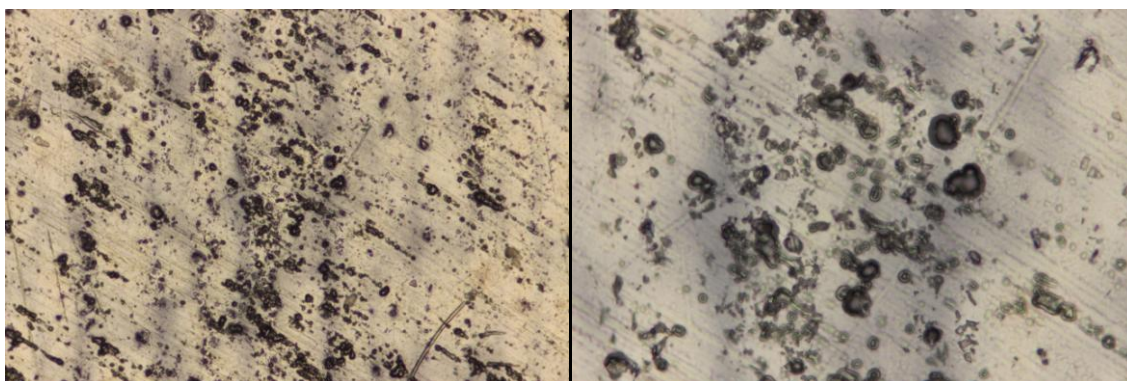
Obr. 61. Gravírovaná plocha vzorku D (směr obrábění kolmý na texturu povrchu, výkon laseru 20% a rychlost posuvu 100%)

*Zvětšení 200x**Zvětšení 500x*

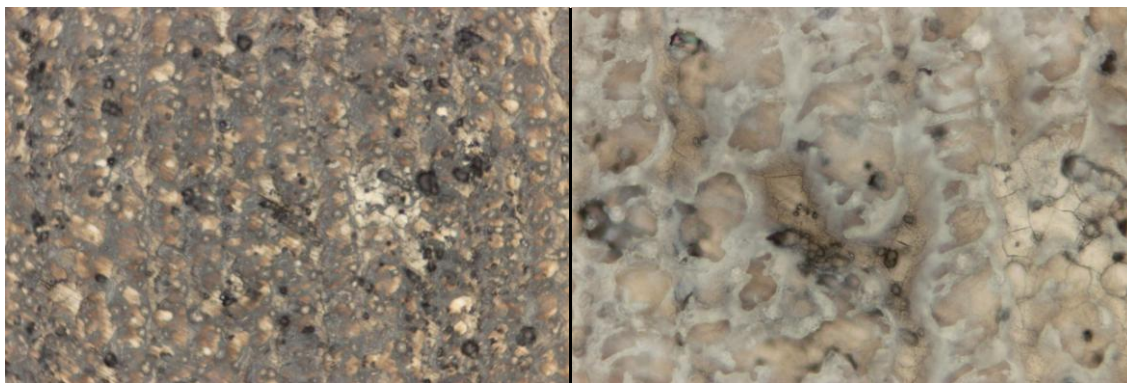
Obr. 62. Gravírovaná plocha vzorku D (směr obrábění kolmý na texturu povrchu, výkon laseru 40% a rychlost posuvu 100%)

*Zvětšení 200x**Zvětšení 500x*

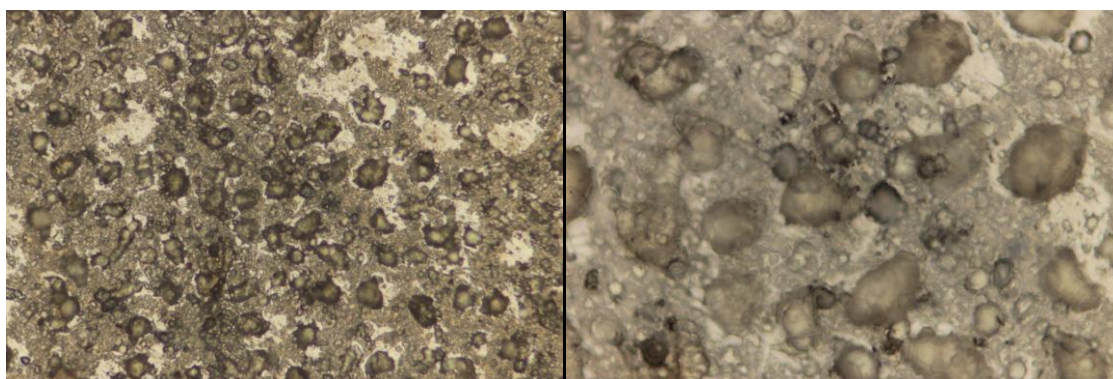
Obr. 63. Gravírovaná plocha vzorku D (směr obrábění kolmý na texturu povrchu, výkon laseru 60% a rychlost posuvu 100%)

*Zvětšení 200x**Zvětšení 500x*

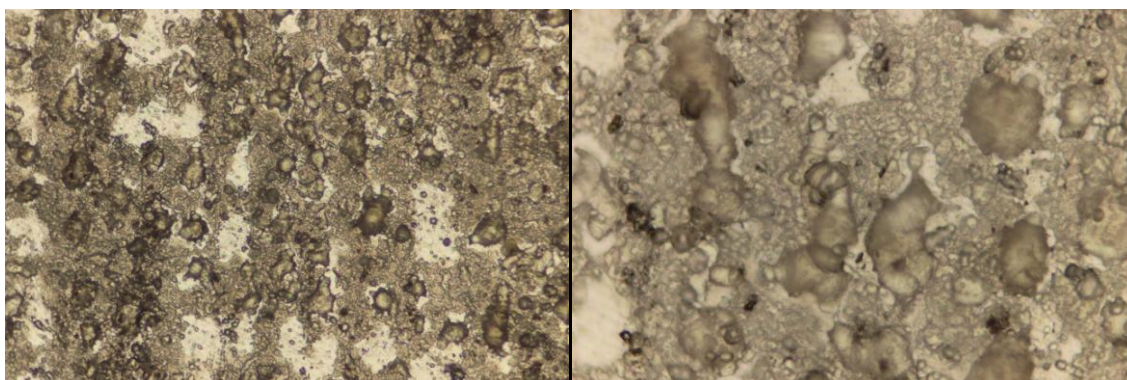
Obr. 64. Gravírovaná plocha vzorku D (směr obrábění ve směru textury povrchu, výkon laseru 15% a rychlost posuvu 100%)

*Zvětšení 200x**Zvětšení 500x*

Obr. 65. Gravírovaná plocha vzorku D (směr obrábění ve směru textury povrchu, výkon laseru 20% a rychlost posuvu 100%)

*Zvětšení 200x**Zvětšení 500x*

Obr. 66. Gravírovaná plocha vzorku D (směr obrábění ve směru textury povrchu, výkon laseru 40% a rychlost posuvu 100%)

*Zvětšení 200x**Zvětšení 500x*

Obr. 67. Gravírovaná plocha vzorku D (směr obrábění ve směru textury povrchu, výkon laseru 60% a rychlost posuvu 100%)

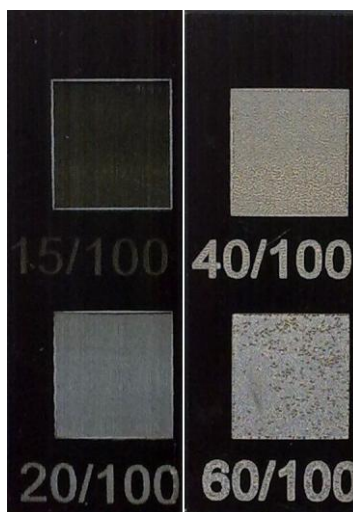
6.2.5 Vzorek E

Hliníkový vzorek s povrchovou úpravou černou, anodickou oxidací v kyselině sírové.

Měření	Tloušťka [μm]
1	29
2	28,8
3	28,5
4	30,2
5	29,4
Průměr	29,2

Tab. 9. Tloušťka povrchové vrstvy vzorku E

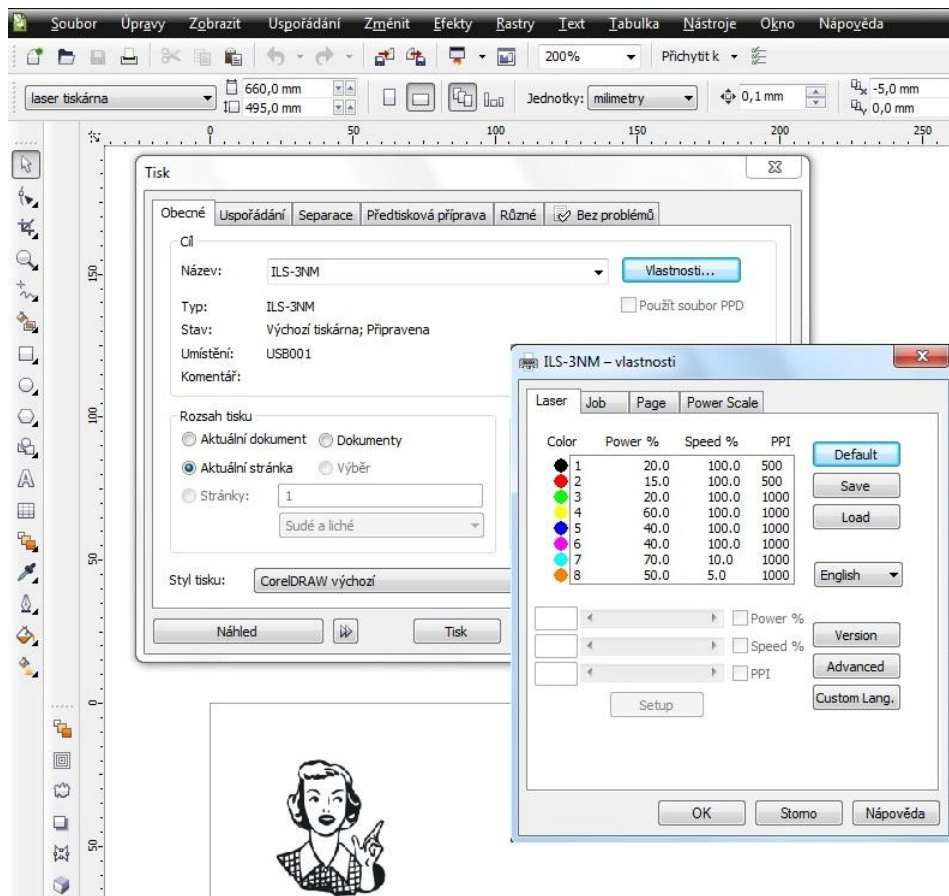
U vzorku E bylo provedeno experimentální obrábění za následujících podmínek: výkon laseru 15%, 20%, 40%, 60% a stálá rychlost posuvu 100%. Viz. Obr. 68. Obrábění bylo provedeno pouze v kolmém směru na vzor textury povrchu, jelikož se jedná o velmi malý vzorek.



Obr. 68. Vzorek E experimentální obrábění

6.3 Další ukázky gravírování laserem

- Gravírování laserem do ocelového plechu s povrchovou úpravou barevným lakem. Optimální podmínky obrábění byly stanoveny následovně: výkon 20%, rychlost posuvu 100%.

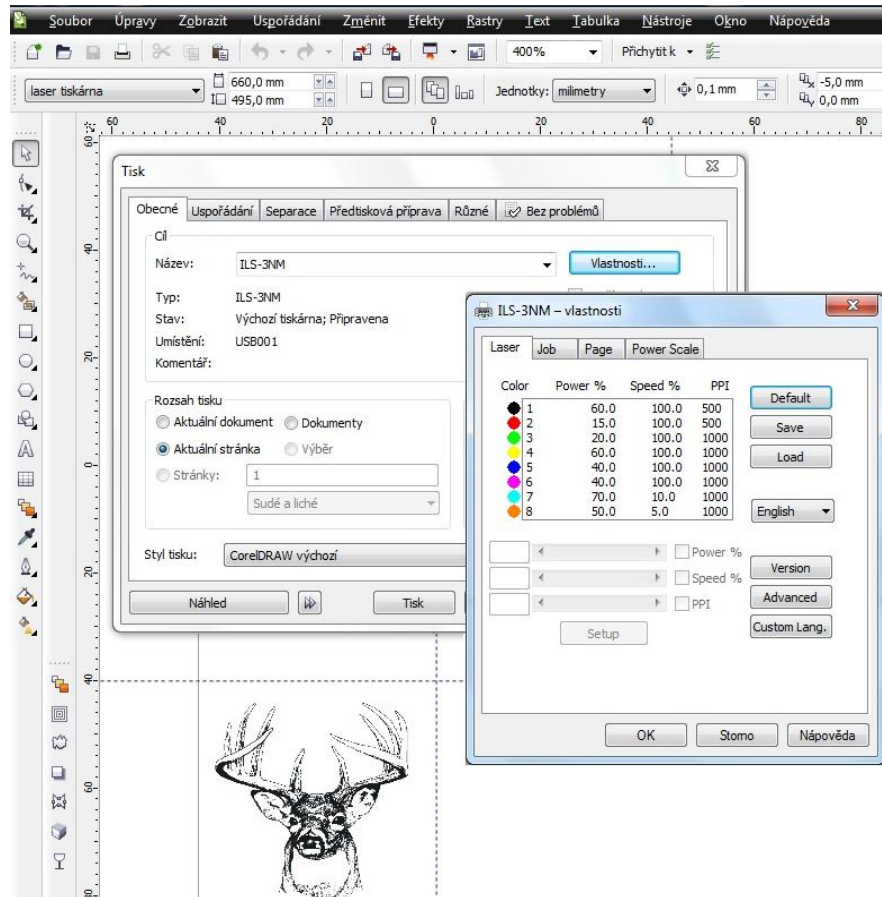


Obr. 69. Návrh obrábění v programu CorelDRAW



Obr. 70. Laserové gravírování do lakovaného plechu

- Gravírování laserem do nerezového plechu, za podmínek obrábění: výkon 80%, rychlost posuvu 100%. V důsledku přílišného odražení paprsků nerezovým plechem, nedošlo k plnohodnotnému vygravírování a proto je výsledek obrábění sotva viditelný.

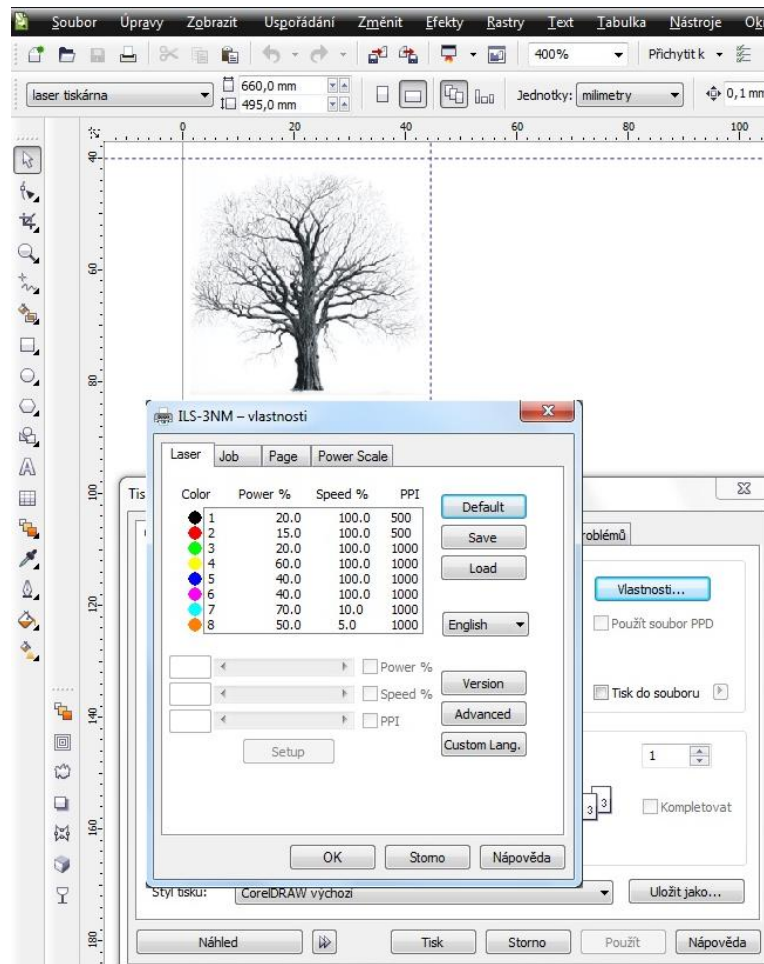


Obr. 71. Návrh obrábění v programu CorelDRAW



Obr. 72. Laserové gravírování do nerezového plechu

- Gravírování laserem do polymeru PC/ABS (polykarbonát/akrylonitril-butadién-styrén) s povrchovou úpravou metalickým lakem. Optimální podmínky obrábění byly stanoveny následovně: výkon 20%, rychlost posuvu 100%.



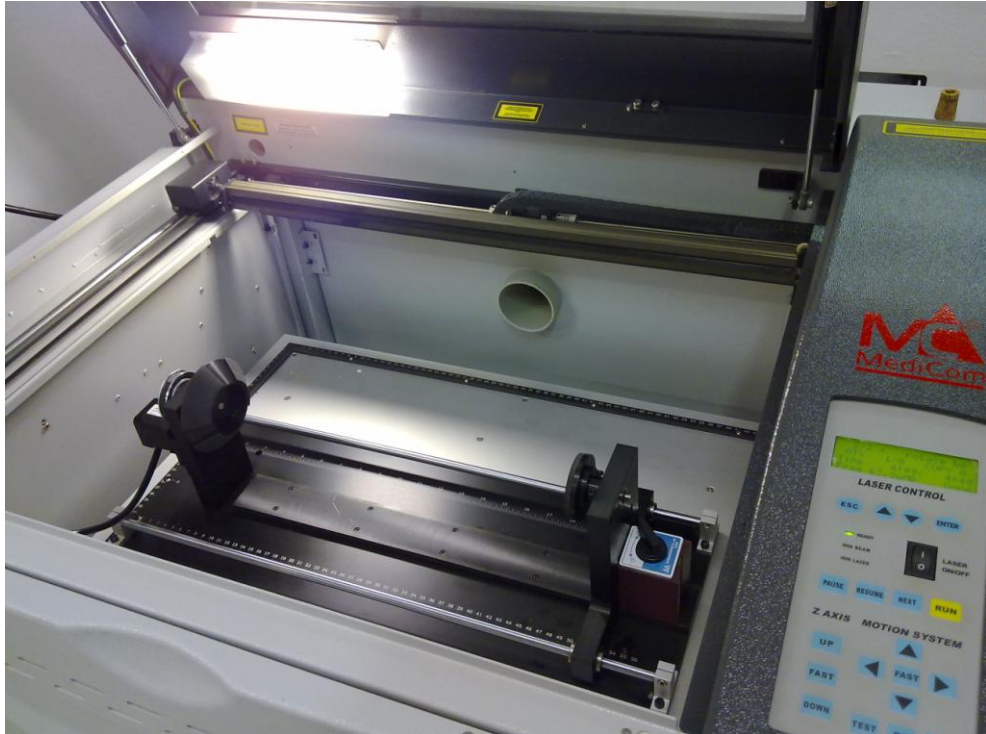
Obr. 73. Návrh obrábění v programu CorelDRAW



Obr. 74. Laserové gravírování do PC/ABS

6.4 Gravírování skla na rotačním zařízení

Po výměně pracovního stolu laserového zařízení za rotační osu, bylo provedeno několik zkušebních obrábění do skleněných lahví.



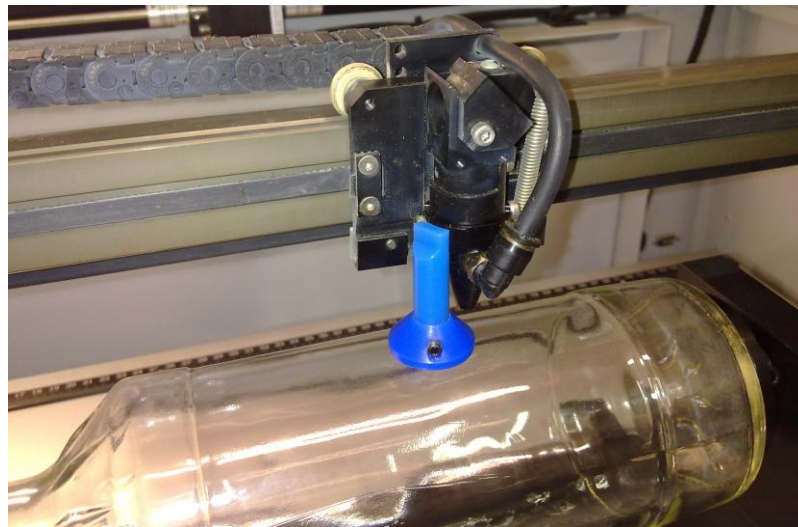
Obr. 75. Rotační zařízení

Upnutí láhve viditelné na Obr. 76. bylo zvoleno z důvodu velkého průměru kuželového disku rotačního zařízení.



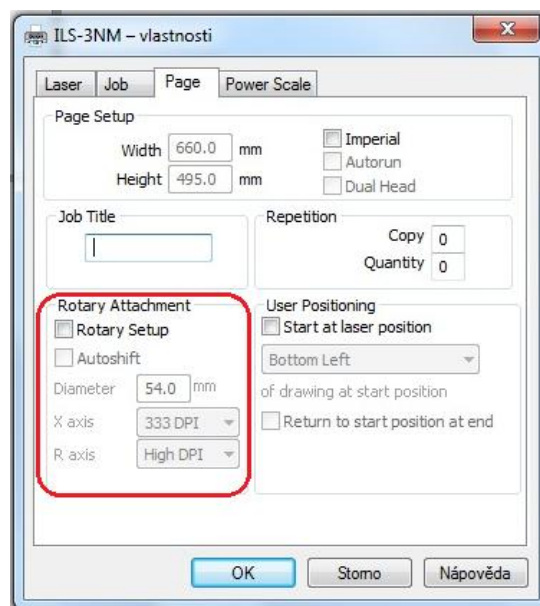
Obr. 76. Upnutí láhve do rotačního zařízení

Manuální fokusace u rotačního zařízení probíhala obdobně, jako u předchozích rovinných materiálů.

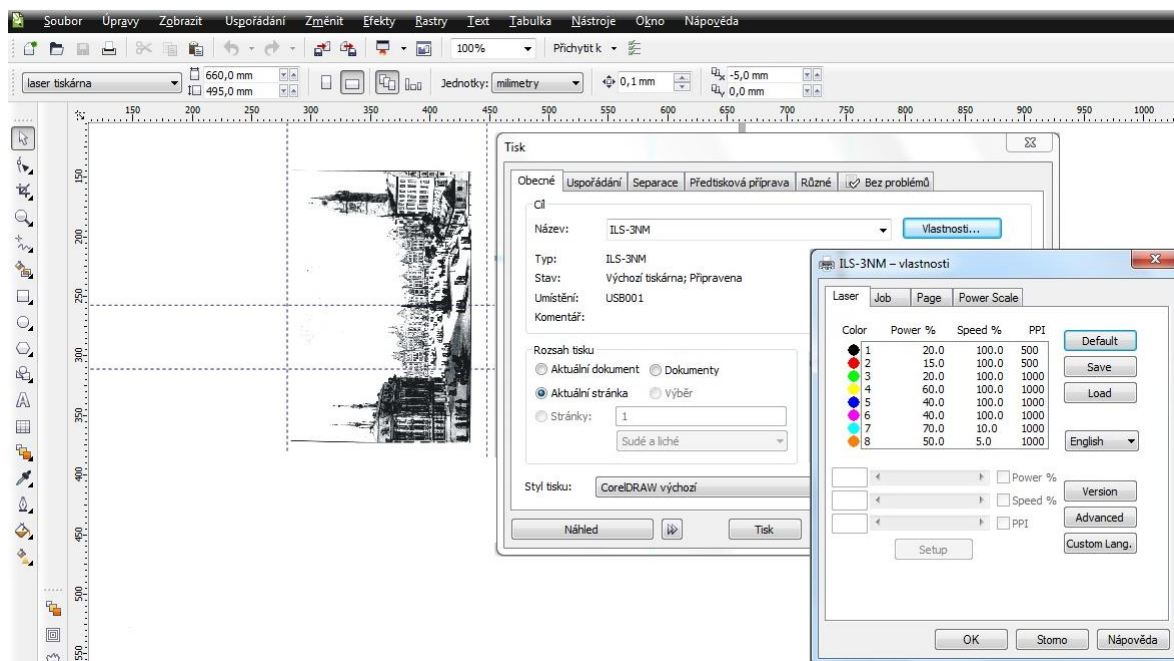


Obr. 77. Fokusace u rotačního zařízení

Rozdílné, oproti předchozím rovinným materiálům, bylo vytváření pracovního souboru, který měl posunutý počátek a obrázek byl otočen vertikálně. Při nastavování řezných podmínek bylo také důležité, mimo obvyklého zadání výkonu laseru a rychlosti posuvu v okně **Soubor** → **Tisk** → **Vlastnosti** (Obr.79.), ještě navíc v záložce **Page** zaškrtnout políčko Rotary Setup a vyplnit kolonku Diameter (průměr rotačního materiálu) (Obr.78.).



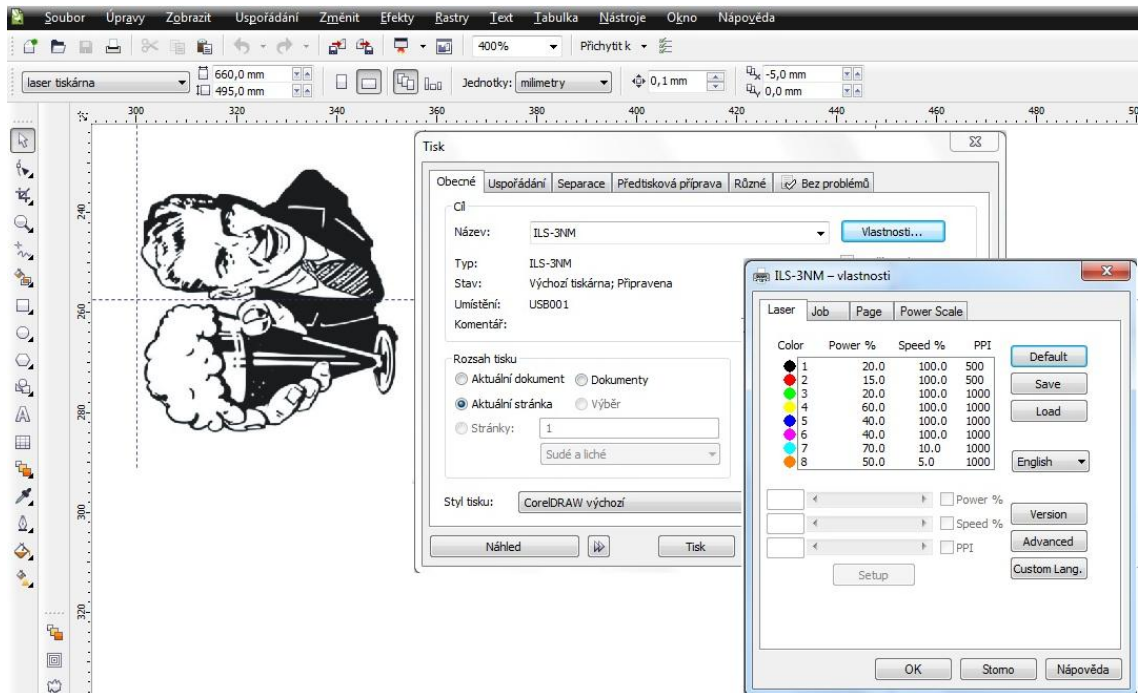
Obr. 78. Nastavení pracovních podmínek pro rotační zařízení



Obr. 79. Návrh obrábění v programu CorelDRAW



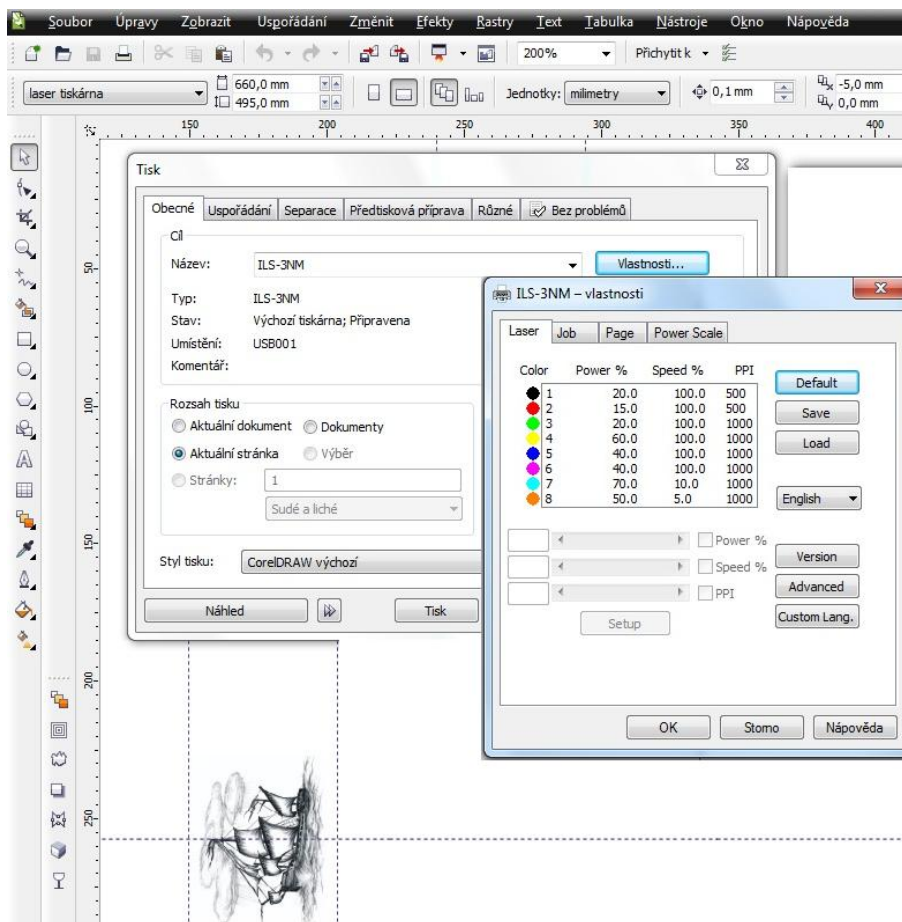
Obr. 80. Laserové gravírování skleněné láhve (výkon laseru 20% a rychlost posuvu 60%)



Obr. 81. Návrh obrábění v programu CorelDRAW



Obr. 82. Laserové gravírování skleněné láhve (vlevo: výkon laseru 20% a rychlost posuvu 60%, vpravo: výkon laseru 30% a rychlost posuvu 60%)



Obr. 83. Návrh obrábění v programu CorelDRAW



Obr. 84. Laserové gravírování skleněné láhve (výkon laseru 20% a rychlost posuvu 60%)

Závěr

V této bakalářské práci byla řešena problematika a technologie laserového popisování. Teoretická část byla věnována historii a popisu laserového paprsku. Dále jsou zde popsány základní typy laseru, jejich rozdělení a využití pro laserové značení. Podrobněji jsou pak rozebrány druhy a možnosti laserového popisu.

Praktická část obsahuje popis použitého laserového zařízení, měřících přístrojů a popis použitých experimentálních materiálů, které jsou dále zkoumány. Největší prostor byl věnován experimentálnímu obrábění hliníkových vzorků s povrchovou úpravou anodickou oxidací (tzv. elox), tato povrchová úprava je velmi rozšířená zejména v průmyslu. Experimentální obrábění bylo provedeno při výkonech laseru 15W, 20W, 40W, 60W a při stálé rychlosti posuvu 100%. Jako optimální se jevil výkon laseru mezi 20W až 40W. Obrábění probíhalo ve směru kolmém na směr textury povrchu a ve směru shodném se směrem textury povrchu, přičemž ten přinesl lepší výsledky. Eloxované vzorky byly k dispozici ve dvou barevných provedeních a to konkrétně natural (tzn. šedá) a černá, z hlediska kontrastu obrobených ploch byly vhodnější černé vzorky. K hlubšímu zkoumání byly pořízeny mikroskopické snímky obrobených ploch se zvětšením 200x a 500x. Dále bylo provedeno experimentální obrábění na ocelový plech s barevně lakovaným povrchem, na plast (PC/ABS) s povrchovou úpravou metalickým lakem a na nerezový plech, který se projevil jako nevhodný pro laserové obrábění, vzhledem k odrazivosti jeho povrchu.

Součástí praktické části bylo také rotační obrábění do skla. Byly vybrány vhodné předlohy a po testování technologických podmínek bylo provedeno gravírování barevného i čirého skla. Optimální výkon laseru byl volen mezi 20W a 30W a rychlost posuvu 60%. Při vyšších výkonech laseru by mohlo dojít k prasknutí skla. Dosažené výsledky se jeví jako zajímavé pro využití v reklamní činnosti.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] *Wikipedia: Laser* [online]. [cit. 2013-01-25]. Dostupné z: <<http://cs.wikipedia.org/wiki/Laser>>.
- [2] MAŇKOVÁ, I.: *Progresívne technológie*, 1. vyd. Košice: Viena, 2000, 275 s. ISBN 80-709-9430-4.
- [3] VOLEJNÍK, Jan. *Technologie laserového popisování polymerních materiálů* [online]. Zlín, 2010 [cit. 2013-01-25]. Dostupné z: <<http://dspace.k.utb.cz/handle/10563/14642>>. Bakalářská práce. UTB Zlín.
- [4] SUKUP, Marek. *Mikroobrábění polymerních materiálů na CO2 laseru - Mechanika Prostějov* [online]. Zlín, 2006 [cit. 2013-01-25]. Dostupné z: <<http://dspace.k.utb.cz/handle/10563/1684>>. Diplomová práce. UTB Zlín.
- [5] BRIMUS, Jan. *Vliv koncentrované energie laserového paprsku na různé polymerní materiály* [online]. Zlín, 2007 [cit. 2013-01-25]. Dostupné z: <<http://dspace.k.utb.cz/handle/10563/4374>>. Diplomová práce. UTB Zlín.
- [6] KAVAN, PETR. *Analýza a využití laseru při obrábění* [online]. Brno, 2009 [cit. 2013-01-25]. Dostupné z: <<http://hdl.handle.net/11012/12336>>. Bakalářská práce. VUT Brno.
- [7] DOSEDĚLOVÁ, Petra. *Výzkum procesu laserového popisování polymerních materiálů* [online]. Zlín, 2005 [cit. 2013-01-25]. Dostupné z: <<http://theses.cz/id/wcfwb0/>>. Diplomová práce. UTB Zlín.
- [8] ŘASA, Jaroslav, KEREČANINOVÁ, Zuzana. *Nekonvenční metody obrábění-5. díl* [online]. [cit. 2013-01-25]. Dostupný z: <<http://www.mmspektrum.com/clanek/nekonvencni-metody-obrabeni-5-dil.html>>
- [9] PETERKA, Pavel. *Vláknové lasery - jasné světlo ze skleněných nitek*. [online]. [cit. 2013-01-25]. Dostupné z: <<http://www.ufe.cz/~peterka/novehrady/vlaknovelasery.pdf>>.
- [10] *Trumpf Praha, s.r.o.: Popisování UV lasery* [online]. [cit. 2013-01-25]. Dostupné z: <<http://www.cz.trumpf.com/produkty/laserova-technika/reseni/reseni-v-jednotlivych-odvetvich/obrabeni-plastu.html/>>.

- [11] *UV laser* [online]. [cit. 2013-01-25]. Dostupné z: <<http://www.mega-blog.cz/lasery/zelene-a-uv-lasery/>>.
- [12] PLŠKOVÁ, Markéta. *Stanovení pracovních podmínek na laseru ILS 3NM* [online]. Zlín, 2011 [cit. 2013-01-25]. Dostupné z: <<http://dspace.k.utb.cz/handle/10563/16351>>. Bakalářská práce. UTB Zlín.
- [13] TOMAŠTÍK, Jiří. *Technologie laserového popisu skla* [online]. Zlín, 2011 [cit. 2013-01-25]. Dostupné z: <<http://dspace.k.utb.cz/handle/10563/15828/>>. Bakalářská práce. UTB Zlín.
- [14] *Intelligent Laser System III-NM - Operation Manual, version 1.6.*: Laser Tools &Technics Corp., 2007. 53 s. [cit. 2013-01-25].
- [15] *Leica DMI3000 M – Brochure*: Leica microsystems [online]. 2012. 6 s. [cit. 2013-01-25]. Dostupné z: <http://www.leicamicrosystems.com/fileadmin/downloads/Leica%20DMI3000%20M/Brochures/Leica_DMI3000_M_brochure_en.pdf>.
- [16] *DUALSCOPE MP20E-S*: Fischer [online]. 2004. 2 s. [cit. 2013-01-25]. Dostupné z: <http://www.helmut-fischer.com/globalfiles/DE_Dual_MP20E-S_EN.pdf>.
- [17] *Anodická oxidace – Elox* [online]. [cit. 2013-01-25]. Dostupné z: <<http://www.axelgroup.cz/CZ/produkty/typy-povrchovych-uprav/anodicka-oxidace-elox.aspx>>.
- [18] *3d laserové gravírování* [online]. [cit. 2013-01-25]. Dostupné z: <<http://www.enravingmachinesite.com/2011/04/25/3d-laser-engraved/>>.

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

W	Watt
J	Joule
%	Procento
μm	Mikrometr
mm	Milimetr
ABS	Akrylonitril-butadien-styren
PC	Polykarbonát
YAG	Ytrito-hlinitý granát
He	Helium
Ne	Neon
CO ₂	Oxid uhličitý
N ₂	Dusík
C ₃ H ₈ O	Iso-propyl-alkohol
Si	Křemík
P	Fosfor
PVC	Polyvinylchlorid
ILS	Inteligent laser system
USB	Universal Serial Bus
LAN	Local Area Network
PPI	Puls na palec
TEM ₀₀	Transverse Electromagnetic Mode (laserový operační mód)
UV	Ultrafialové záření

SEZNAM OBRÁZKŮ

<i>Obr. 1. Srovnání vyzařovaného světla laserem a žárovkou.....</i>	<i>12</i>
<i>Obr. 2. Vlnové délky různých typů laserů.....</i>	<i>12</i>
<i>Obr. 3. Absorpce, spontánní a stimulovaná emise.....</i>	<i>13</i>
<i>Obr. 4. Laserový mód TEM₀₀ a TEM₀₁.....</i>	<i>14</i>
<i>Obr. 5. Další operační módy zachycené CCD kamerou.....</i>	<i>14</i>
<i>Obr. 6. Vybrané módy s jejich označením a vhodností použití.....</i>	<i>15</i>
<i>Obr. 7. Schéma zařízení pro obrábění laserem.....</i>	<i>15</i>
<i>Obr. 8. Uspořádání zrcadel optického rezonátoru.....</i>	<i>16</i>
<i>Obr. 9. Konstrukce Nd:YAG laseru.....</i>	<i>19</i>
<i>Obr. 10. Princip CO₂ laseru.....</i>	<i>21</i>
<i>Obr. 11. Hlavní části značkovacího optického ramene.....</i>	<i>24</i>
<i>Obr. 12. Schéma laserové optiky u maskovací metody.....</i>	<i>24</i>
<i>Obr. 13. Schéma laserové optiky u popisovací metody vychylováním svazku.....</i>	<i>25</i>
<i>Obr. 14. Laserový popis sublimací.....</i>	<i>26</i>
<i>Obr. 15. Laserový popis karbonizací.....</i>	<i>26</i>
<i>Obr. 16. Příklad popisu odstraněním vrstvy materiálu.....</i>	<i>27</i>
<i>Obr. 17. UV popisování naslouchadla.....</i>	<i>28</i>
<i>Obr. 18. 3D Gravírování laserem.....</i>	<i>28</i>
<i>Obr. 19. Popraskání a natavení povrchu, po dopadu laserového záření.....</i>	<i>29</i>
<i>Obr. 20. Ukázka 3D laserového gravírování.....</i>	<i>30</i>
<i>Obr. 21. Laser ILS 3 NM.....</i>	<i>33</i>
<i>Obr. 22. Popis laserového zařízení.....</i>	<i>35</i>
<i>Obr. 23. Popis rotačního zařízení.....</i>	<i>36</i>
<i>Obr. 24. Leica DMI3000 M.....</i>	<i>37</i>

<i>Obr. 25. Fischer DUALSCOPE MP 20ES.....</i>	<i>38</i>
<i>Obr. 26. Ovládací panel laseru ILS 3NM.....</i>	<i>40</i>
<i>Obr. 27. Indikační světla.....</i>	<i>41</i>
<i>Obr. 28. Zaostrování laseru.....</i>	<i>41</i>
<i>Obr. 29. Nastavení velikosti pracovní plochy.....</i>	<i>42</i>
<i>Obr. 30. Nastavení počátku pracovní plochy.....</i>	<i>43</i>
<i>Obr. 31. Nastavení polohy a rozměrů obrázku.....</i>	<i>44</i>
<i>Obr. 32. Nadefinování řezných podmínek.....</i>	<i>45</i>
<i>Obr. 33. Návrh experimentálního obrábění v programu CorelDraw.....</i>	<i>49</i>
<i>Obr. 34. Vzorek A experimentální obrábění.....</i>	<i>50</i>
<i>Obr. 35. Neobrobená plocha vzorku A.....</i>	<i>50</i>
<i>Obr. 36. Gravírovaná plocha vzorku A (směr obrábění kolmý na texturu povrchu, výkon laseru 15% a rychlost posuvu 100%).....</i>	<i>51</i>
<i>Obr. 37. Gravírovaná plocha vzorku A (směr obrábění kolmý na texturu povrchu, výkon laseru 20% a rychlost posuvu 100%).....</i>	<i>51</i>
<i>Obr. 38. Gravírovaná plocha vzorku A (směr obrábění kolmý na texturu povrchu, výkon laseru 40% a rychlost posuvu 100%).....</i>	<i>51</i>
<i>Obr. 39. Gravírovaná plocha vzorku A (směr obrábění kolmý na texturu povrchu, výkon laseru 60% a rychlost posuvu 100%).....</i>	<i>52</i>
<i>Obr. 40. Gravírovaná plocha vzorku A (směr obrábění ve směru textury povrchu, výkon laseru 15% a rychlost posuvu 100%).....</i>	<i>52</i>
<i>Obr. 41. Gravírovaná plocha vzorku A (směr obrábění ve směru textury povrchu, výkon laseru 20% a rychlost posuvu 100%).....</i>	<i>52</i>
<i>Obr. 42. Gravírovaná plocha vzorku A (směr obrábění ve směru textury povrchu, výkon laseru 40% a rychlost posuvu 100%).....</i>	<i>53</i>
<i>Obr. 43. Gravírovaná plocha vzorku A (směr obrábění ve směru textury povrchu, výkon laseru 60% a rychlost posuvu 100%).....</i>	<i>53</i>

<i>Obr. 44. Pokus - vzorek A.....</i>	<i>54</i>
<i>Obr. 45. Další ukázky obrábění vzorku A.....</i>	<i>54</i>
<i>Obr. 46. Ukázka obrábění vzorku A přímo na stroji.....</i>	<i>54</i>
<i>Obr. 47. Vzorek B experimentální obrábění.....</i>	<i>55</i>
<i>Obr. 48. Vzorek C experimentální obrábění.....</i>	<i>56</i>
<i>Obr. 49. Neobrobená plocha vzorku C.....</i>	<i>57</i>
<i>Obr. 50. Gravírovaná plocha vzorku C (směr obrábění kolmý na texturu povrchu, výkon laseru 15% a rychlost posuvu 100%).....</i>	<i>57</i>
<i>Obr. 51. Gravírovaná plocha vzorku C (směr obrábění kolmý na texturu povrchu, výkon laseru 20% a rychlost posuvu 100%).....</i>	<i>57</i>
<i>Obr. 52. Gravírovaná plocha vzorku C (směr obrábění kolmý na texturu povrchu, výkon laseru 40% a rychlost posuvu 100%).....</i>	<i>58</i>
<i>Obr. 53. Gravírovaná plocha vzorku C (směr obrábění kolmý na texturu povrchu, výkon laseru 60% a rychlost posuvu 100%).....</i>	<i>58</i>
<i>Obr. 54. Gravírovaná plocha vzorku C (směr obrábění ve směru textury povrchu, výkon laseru 15% a rychlost posuvu 100%).....</i>	<i>58</i>
<i>Obr. 55. Gravírovaná plocha vzorku C (směr obrábění ve směru textury povrchu, výkon laseru 20% a rychlost posuvu 100%).....</i>	<i>59</i>
<i>Obr. 56. Gravírovaná plocha vzorku C (směr obrábění ve směru textury povrchu, výkon laseru 40% a rychlost posuvu 100%).....</i>	<i>59</i>
<i>Obr. 57. Gravírovaná plocha vzorku C (směr obrábění ve směru textury povrchu, výkon laseru 60% a rychlost posuvu 100%).....</i>	<i>59</i>
<i>Obr. 58. Vzorek D experimentální obrábění.....</i>	<i>60</i>
<i>Obr. 59. Neobrobená plocha vzorku D.....</i>	<i>61</i>
<i>Obr. 60. Gravírovaná plocha vzorku D (směr obrábění kolmý na texturu povrchu, výkon laseru 15% a rychlost posuvu 100%).....</i>	<i>61</i>
<i>Obr. 61. Gravírovaná plocha vzorku D (směr obrábění kolmý na texturu povrchu, výkon laseru 20% a rychlost posuvu 100%).....</i>	<i>61</i>

<i>Obr. 62. Gravírovaná plocha vzorku D (směr obrábění kolmý na texturu povrchu, výkon laseru 40% a rychlost posuvu 100%).....</i>	<i>62</i>
<i>Obr. 63. Gravírovaná plocha vzorku D (směr obrábění kolmý na texturu povrchu, výkon laseru 60% a rychlost posuvu 100%).....</i>	<i>62</i>
<i>Obr. 64. Gravírovaná plocha vzorku D (směr obrábění ve směru textury povrchu, výkon laseru 15% a rychlost posuvu 100%).....</i>	<i>62</i>
<i>Obr. 65. Gravírovaná plocha vzorku D (směr obrábění ve směru textury povrchu, výkon laseru 20% a rychlost posuvu 100%).....</i>	<i>63</i>
<i>Obr. 66. Gravírovaná plocha vzorku D (směr obrábění ve směru textury povrchu, výkon laseru 40% a rychlost posuvu 100%).....</i>	<i>63</i>
<i>Obr. 67. Gravírovaná plocha vzorku D (směr obrábění ve směru textury povrchu, výkon laseru 60% a rychlost posuvu 100%).....</i>	<i>63</i>
<i>Obr. 68. Vzorek E experimentální obrábění.....</i>	<i>64</i>
<i>Obr. 69. Návrh obrábění v programu CorelDRAW.....</i>	<i>65</i>
<i>Obr. 70. Laserové gravírování do lakovaného plechu.....</i>	<i>65</i>
<i>Obr. 71. Návrh obrábění v programu CorelDRAW.....</i>	<i>66</i>
<i>Obr. 72. Laserové gravírování do nerezového plechu.....</i>	<i>66</i>
<i>Obr. 73. Návrh obrábění v programu CorelDRAW.....</i>	<i>67</i>
<i>Obr. 74. Laserové gravírování do PC/ABS.....</i>	<i>67</i>
<i>Obr. 75. Rotační zařízení.....</i>	<i>68</i>
<i>Obr. 76. Upnutí láhve do rotačního zařízení.....</i>	<i>68</i>
<i>Obr. 77. Fokusace u rotačního zařízení.....</i>	<i>69</i>
<i>Obr. 78. Nastavení pracovních podmínek pro rotační zařízení.....</i>	<i>69</i>
<i>Obr. 79. Návrh obrábění v programu CorelDRAW.....</i>	<i>70</i>
<i>Obr. 80. Laserové gravírování skleněné láhve (výkon laseru 20% a rychlost posuvu 60%).....</i>	<i>70</i>
<i>Obr. 81. Návrh obrábění v programu CorelDRAW.....</i>	<i>71</i>

<i>Obr. 82. Laserové gravírování skleněné láhve (vlevo: výkon laseru 20% a rychlost posuvu 60%, vpravo: výkon laseru 30% a rychlost posuvu 60%).....</i>	<i>71</i>
<i>Obr. 83. Návrh obrábění v programu CorelDRAW.....</i>	<i>72</i>
<i>Obr. 84. Laserové gravírování skleněné láhve (výkon laseru 20% a rychlost posuvu 60%).....</i>	<i>72</i>

SEZNAM TABULEK

<i>Tab. 1. Vybrané typy laserů (základní informace).....</i>	<i>18</i>
<i>Tab. 2. Přehled metod laserového popisování.....</i>	<i>22</i>
<i>Tab. 3. Technické parametry laserového zařízení.....</i>	<i>34</i>
<i>Tab. 4. Odrazivost vybraných materiálů.....</i>	<i>47</i>
<i>Tab. 5. Tloušťka povrchové vrstvy vzorku A.....</i>	<i>49</i>
<i>Tab. 6. Tloušťka povrchové vrstvy vzorku B.....</i>	<i>55</i>
<i>Tab. 7. Tloušťka povrchové vrstvy vzorku C.....</i>	<i>56</i>
<i>Tab. 8. Tloušťka povrchové vrstvy vzorku D.....</i>	<i>60</i>
<i>Tab. 9. Tloušťka povrchové vrstvy vzorku E.....</i>	<i>64</i>

SEZNAM PŘÍLOH

PI CD ROM

