

Porovnání řezných podmínek technologie laserového obrábění a obrábění CNC

Bc. Tomáš Chovanec

Diplomová práce
2015

 Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně

Fakulta technologická

Ústav výrobního inženýrství

akademický rok: 2014/2015

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Tomáš Chovanec**

Osobní číslo: **T13996**

Studijní program: **N3909 Procesní inženýrství**

Studijní obor: **Řízení jakosti**

Forma studia: **kombinovaná**

Téma práce: **Porovnání řezných podmínek technologie laserového obrábění a obrábění CNC**

Zásady pro vypracování:

1. Vypracujte studii na dané téma
2. Vypracujte návrh výrobní dokumentace
3. Provedte výrobu vzorků
4. Provedte porovnání a vyhodnocení pracovních podmínek

Rozsah diplomové práce:

Rozsah příloh:

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

Seznam odborné literatury:

Dle doporučení vedoucího diplomové práce.

Vedoucí diplomové práce:

Ing. Jana Knedlová

Ústav výrobního inženýrství

Datum zadání diplomové práce:

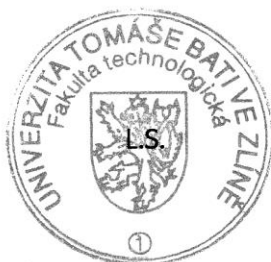
30. ledna 2015

Termín odevzdání diplomové práce:

13. května 2015

Ve Zlíně dne 30. ledna 2015


doc. Ing. Roman Čermák, Ph.D.
děkan




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

Příjmení a jméno: CHOVANEC TOMÁŠ

Obor: ZÍZENÍ JAKOSTI

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 obhajoby ¹⁾;
- 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. 3 ²⁾;
- beru na vědomí, že podle § 60 ³⁾ 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 § 60 ³⁾ odst. 2 a 3 mohu užit 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 7.5.2015



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 nevydělečně 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 chybějícího 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 přihlédne k výši výdělku dosaženého školou nebo školským či vzdělávacím zařízením z užití školního díla podle odstavce 1.*

ABSTRAKT

Táto práca sa zaoberá porovnávaním rezných podmienok a to technológie laserového obrábania a obrábania na CNC stroji. V teoretickej časti sú predstavené základné druhy gravírovania na frézke a laseri. V praktickej časti je uvedená príprava a výroba výrobku.

Kľúčové slová: CNC, programovanie, laser.

ABSTRACT

This work deals with comparison of the cutting conditions of laser machining technology and machining on CNC machines. In the theoretical part we presented the basic types of engraving with milling machines and laser. In the practical part we presented the preparation and production of the product.

Keywords: CNC, programming, laser.

Ďakujem vedúcemu mojej diplomovej práce pani Ing. Jane Knedlovej, za poskytnutie pomoci a vedenie pri spracovaní diplomovej práce a samotnej výrobe gravírovaním na laseri. Ďalej firme HS - Tec Trenčín s.r.o. za poskytnutie priestoru pre mechanické dokončenie výrobku.

Prehlasujem, že odovzdaná verzia diplomovej práce a verzia elektronická nahraná do IS / STAG sú totožné.

OBSAH

ÚVOD	9
1 FRÉZOVANIE	10
1.1 FRÉZOVANIE VALCOVOU FRÉZOU	11
1.2 FRÉZOVANIE VALCOVOU ČELNOU FRÉZOU	12
1.3 ZÁSADY FRÉZOVANIA ROVINNÝCH PLÔCH.....	13
1.4 NÁSTROJE PRE GRAVÍROVANIE.....	14
1.5 UPÍNANIE POLOTOVAROV	15
1.6 ZÁSADY MERANIA	17
1.7 REZNÉ KVPALINY	17
1.8 TRVANLIVOSŤ GRAVÍROVACÍHO NÁSTROJA.....	22
1.9 MERANIE TEPLoty	26
1.10 POVLAKY NÁSTROJOV	29
1.11 OCELE PRE REZNÉ NÁSTROJE.....	30
2 LASEROVE OBRÁBANIE	32
2.1 PRINCÍP LASERU	33
2.2 ÚČINOK LASEROVÉHO LÚČA.....	34
2.3 ROZDELENIE LASEROV	36
2.4 ZNAČENIE A POPIS LASEROM	40
1 PRAKTICKÁ ČASŤ	49
3 CIELE DIPLOMOVEJ PRÁCE	50
4 NÁVRH VÝROBNEJ DOKUMENTÁCIE	51
4.1 TVORBA SÚBORU PRE VÝROBU SÚČIASKY POMOCOU CAD SOFTWARE.....	51
4.2 DEFINÍCIA PRÁCE NA FRÉZKE HAAS EC-400	54
4.3 DEFINÍCIA PRÁCE NA LASERI ILS 3NM	62
5 POROVNANIE A VYHODNOTENIE PRACOVNÝCH PODMIENOK	76
ZÁVER	80
SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	81
SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK	83
SEZNAM OBRÁZKŮ	84
SEZNAM TABULEK	86
SEZNAM PŘÍLOH	87

ÚVOD

Už od začiatku si ľudstvo zjednodušovalo prácu pomocou fyzikálnych zákonov. Snažilo sa im porozumieť a využiť ich vo svoj prospech.

Frézka - v strojárskvej výrobe je v poslednej dobe zaznamenaný obrovský rozmach nových technológií, kedy klasické stroje s manuálnou obsluhou sú nahradzované výkonnými automatizovanými obrábacími centrami. Rozvoj je tak v úrovni automatizácie procesu, ako aj v úrovni konštrukčných materiálov a riadiacich systémov. To má za následok zrýchlenie výroby, výrobné náklady.

Laser - zloženina z počiatočných písmen anglických slov Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation, čo preložené znamená: "zosilnenie elektro-magnetického žiarenia (svetla) pomocou vynútenej (stimulovanej) emisie". S prvotnou myšlienkou prišiel už v roku 1917 Albert Einstein, ktorý teoreticky odôvodnil existenciu elementárneho procesu, pri ktorom žiarenie o určitej frekvencii spôsobí kvantový prechod elementárnych častíc ním prestupovanie látky, pričom je vyžiarené nové kvantum energie, ktorého frekvencia, smer šírenia a polarizácie sú súhlasné s frekvenciou prichádzajúceho žiarenia. Avšak prvý laser čakal na svoj vznik až do roku 1960, kedy Theodore H. Maiman v USA prvýkrát úspešne predviedol pulzný rubínový laser. Neskôr po zdokonalení kvantového oscilátora a vyriešenie problému nepretržitého výstupe tým, že použili viac ako dve energetickej hladiny, získali v roku 1964 Charles Townes, Nikolaj Basov a Alexander Prochorov spoločne Nobelovu cenu za fyziku. Bezpochybne sa jedná o jeden z najväčších objavov 20. storočia.

Práca má za účel opis základných technologických procesov gravírovania na frézke a na laseri. Ekonomické vyhodnotenie a rezné podmienky.

1 FRÉZOVANIE

Gravírovanie je technológia, ktorá nahrádza ručné rytie, a možno povedať, že vytvára nápis, logo, či ornament odobratím materiálu (obr.1). Pôvodní rytci pracovali s rôzne tvarovanými rydlami a nápisy boli zvýraznené rôznymi kovmi, napríklad cínom, zlatom, striebrom alebo meďou. Kedysi rytci, okrem nápisov napríklad na náhrobné kamene, vytvárali ornamentey a erby, ozdobné predmety. Neskôr bola práca rytcov smerovaná na výrobu informačných a reklamných tabúľ. V týchto odboroch nachádza uplatnenie aj moderné gravírovanie a pomaly tradičné spôsoby výroby vytláča a nahrádza. [1]



Obr. 1 Gravírovanie frézou [2]

Podstatou frézovania je postupné odoberanie materiálu obrobku viacklinovým nástrojom vo forme triesky, pričom hlavný pohyb je otáčavý a koná ho nástroj. Posuv koná obrobok alebo nástroj spravidla v smere kolmom k osi nástroja. Rezná rýchlosť je dráha, ktorú rezný klin opíše po dráhe za časovú jednotku. Hĺbka frézovania je vrstva materiálu odobieraného frézou v milimetroch. [2]

Časti rezného nástroja

Rezná časť - je predstavovaná rezným klinom, pričom jeho tvar je charakterizovaný tvoriacimi plochami (čelnou a chrbtovou). Po čelnej ploche kľže trieska. Chrbtová plocha sa dotýka s reznou plochou alebo je obrátená smerom k obrobenej ploche. Niekedy má rezný klin na čele alebo na chrbte úzku plôšku, ktorú nazývame fazetka.

Rezná hrana - je priesečnicou čelnej a chrbtovej plochy môže byť priamka alebo krivka, prechádza do hrotu. Závisia od spôsobu jeho výroby. Z hľadiska styku nástroja s obrobkom treba brať do úvahy reálny tvar reznej hrany, mikrogeometriu chrbtovej a čelných plôch a oblasti. Prechodu chrbtovej a čelnej plochy, ktoré sa vyjadrujú reznou hranou. Rezná hrana nikdy nie je ideálne ostrá. Mikrogeometrické charakteristiky nástroja závisia od spôsobu jeho výroby. [2]

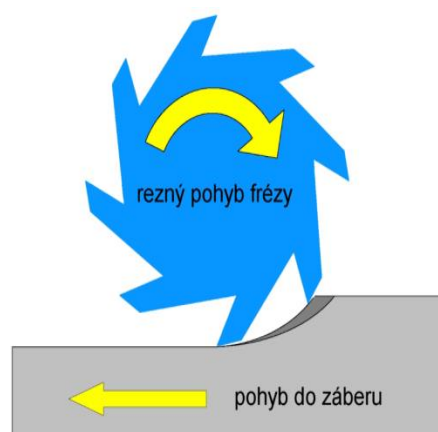
Frézovanie rozdeľujeme:

- Frézovanie valcovou frézou
- Frézovanie valcovou čelnou frézou

1.1 Frézovanie valcovou frézou

Pri frézovaní je os frézy rovnobežne s obrábanou plochou obrobku. Triesky sú oddeľované brity na valcovom obvode. Triesky majú tvar ohnutého trojuholníka. Podľa zmyslu otáčania frézy a posuvu obrobku ich delíme na dva druhy frézovania:

Frézovanie súbežné (zdola) - obrobok sa posúva proti smeru otáčania nástroja. Trieska sa začína oddeľovať v mieste nulového prierezu (obr.2). Zuby najskôr po ploche klžu. Tým vzniká veľké trenie a teplo v mieste rezu to má za následok rýchlejšie otupenie nástroja. Používa sa pri frézovaní výkovkov, odliatkov, obrobkov s tvrdou povrchovou kúrou. Práca frézy je pokojná, bez rázov. Obrobok musí byť pevne upnutý, pretože rezná sila ho snaží nadvihnúť.



Obr. 2 Súbežné frézovanie [2]

Frézovanie protibežné (zhora) - obrobok sa posúva v zmysle otáčania frézy. Brity začínajú odoberať triesku v mieste jej maximálneho prierezu (obr.3). Práca frézy je nepokojná, rázovitá, brity po materiáli nešmýkajú. Tým vzniká menej tepla, preto je trvanlivosť ostria dlhšia. Môžeme frézovať väčšou reznou rýchlosťou i väčším posuvom. Rezná sila pritláča obrobok do upínača. Používame pre frézovanie obrobkov malé hrúbky alebo pre hodnoty veľkých hrúbok rezu. Nevýhodou je, že fréza musí mať vymedzené vôle medzi posuvovým skrutkou a maticou aj vo vodiacich plochách.[2]



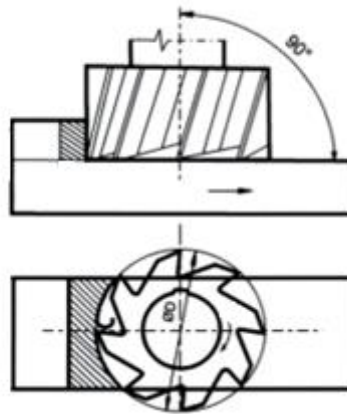
Obr. 3 Protibežné frézovanie [2]

1.2 Frézovanie valcovou čelnou frézou

Pri čelnom frézovaní je os čelnej frézy kolmá na obrábanej ploche (obr.4). Každý brit odrezáva triesku takmer stáleho prierezu, a preto je stroj aj nástroj zaťažovaný rovnomerne, celkové chvenie je veľmi malé. Trieska je odrezávaná prevažne brity na valcovom obvode frézy, zatiaľ čo brity na čelnej ploche frézy obrobenej plochy začisťujú a vyhladzujú. Drsnosť, a rovinnosť plôch je kvalitnejšia. Pre väčšie rovinné plochy obrábame čelnými frézovacími hlavami. Pri frézovaní rovinných plôch, pokiaľ je to možné, volíme priemer čelnej valcovej frézy alebo dĺžku valcovej frézy väčšiu, než je šírka frézovanej plochy.

Podľa hrúbky uberanie vrstvy materiálu delíme frézovanie:

- Na obrusovanie, obrobenej plocha je hrubá a drsná, veľký posuv a malé rezné rýchlosti (otáčky)
- na čistý (hladenie), obrobenej povrch čistý a hladký, menší posuv a veľké rezné rýchlosti (otáčky) [3]

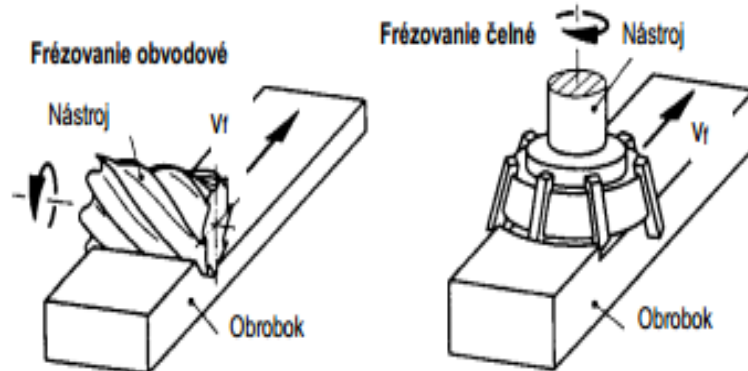


Obr. 4 Frézovanie čelnou valcovou frézou[3]

1.3 Zásady frézovania rovinných plôch

- Pre každý prípad frézovania volíme čo najvhodnejší stroj, nástroj na upínacie pomôcky.
- Upínacie plochy stola, upínacie časti fréz, upínacích trňov aj všetkých používaných prostriedkov musia byť vždy starostlivo očistené.
- Na dorazenie upínaných obrobkov na dosadaciu (základovú) plochu, napr. na podložky alebo horné plochy stola, nikdy nepoužívame maticové kľúče alebo kľuky.
- Pri upínaní obrobkov používame vždy ochranné plechy, čeľuste alebo podložky.
- Na uťahovanie matic a skrutiek používame vždy kľúče správnych rozmerov, aby sa nemohli vyšmyknúť a neporanili obsluhu.
- Všetky druhy podložiek, ktoré sa používajú na podkladanie obrobkov, musia byť čisté, hladké a rovné (protiľahlé dosadacie plochy musia byť rovnobežné).
- Obrobky menšieho prierezu (napr. tenkostenné puzdrá) upíname primeranou silou, aby sa nedeformovali.
- Pri pozdĺžnom, priečnom a zvislom pohybe treba vopred uvoľniť zabezpečovacie skrutky stola, saní alebo konzoly.
- Pri frézovaní s pozdĺžnym pohybom stola treba zabezpečiť konzolu a priečne sane. Pri priečnom frézovacom pohybe, t. j. konzolu. Po výškovom nastavení (napr. po nastavení hĺbky frézovania) konzolu zaistíme skrutkami.
- Pohyb obrobku pod frézou musí byť opatrný, aby sa prudkým nárazom nepoškodila fréza.
- Otupenú frézu treba ihneď vymeniť, aby nevznikal drsný povrch.

- Frézu neberieme nikdy do holej ruky, lebo ostrými reznými klinmi by sme sa mohli porezať.
- Pred meraním sa musí nástroj zastaviť, obrobok očistiť a odstrániť z neho ostriny.
- Pokiaľ možno používame čelné frézovanie, (obr.5) ktoré je výhodnejšie ako frézovanie valcovou frérou, pretože je výkonnejšie, pokojnejšie a opracované plochy sú akostnejšie.[2]



Obr. 5 Frézovanie rovinných plôch[2]

Upnutie obrobku musí byť rýchle, ľahké, presné a pevné. Len tak sa zlepši kvalita frézovacích prác, čím sa zvýši aj produktivita frézovania. Pri nastavovaní a upínaní polotovaru sa využívajú meradla, ako sú posuvné meradlá alebo šablóny. Tieto meradlá sa využívajú aj ako kontrola pri rozmeroch správnej miery. [3]

1.4 Nástroje pre gravírovanie



Obr. 6 Uhly rezného klina [2]

D– upínací priemer 3,175 mm

L– dĺžka špičky 15 mm

T – veľkosť plochy špičky 0,2 mm

A – uhol hrotu 15 st.

Vhodná pre akryl, plast, hliník a oceľ. [2]

Rezná rychlost' v_c

$$v_c = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{1000} \quad [m \cdot min^{-1}] \quad (1)$$

V_c – rezná rychlost'

D – priemer nástroja

n – otáčky

1.5 Upínanie polotovarov

Dostatočne pevné, tuhé a spoľahlivé upnutie obrobku je dôležité pri každom druhu obrábania. Správne upnutie obrábaných predmetov je obzvlášť dôležité tam, kde práca nástroja má nárazovitý charakter.

Na upínanie obrobkov na frézovačkách používame rôzne upínacie prostriedky, ako sú strojové zveráky (obr.7), upínacie uholníky, podložky, klíny, narážky, podpierky, úpinky (obr.8), hranoly, upínacie prípravky atď. Voľba určitého druhu upínacích prostriedkov a spôsobu upínania závisí od:

- veľkosti a tvaru upínaného obrobku,
- druhu a spôsobu frézovania,
- vyžadovanej presnosti,
- celkového počtu obrábaných kusov.

Menšie obrobky najčastejšie upíname do strojového zveráka, ktorý je pripevnený na hornej ploche pozdĺžneho stola frézovačky. Upínanie do strojového zveráka je najvhodnejšie a najviac sa používa. Strojový zverák má upínacie čeľuste priamobežné a na stôl frézovačky sa upevňuje skrutkami. Na stôl frézovačky ho upíname tak, aby jeho čeľuste boli s drážkami stola rovnobežné alebo na tieto drážky kolmé. Pred položením zveráka na stôl frézovačky treba hornú plochu stola aj základovú plochu zveráka začistiť.

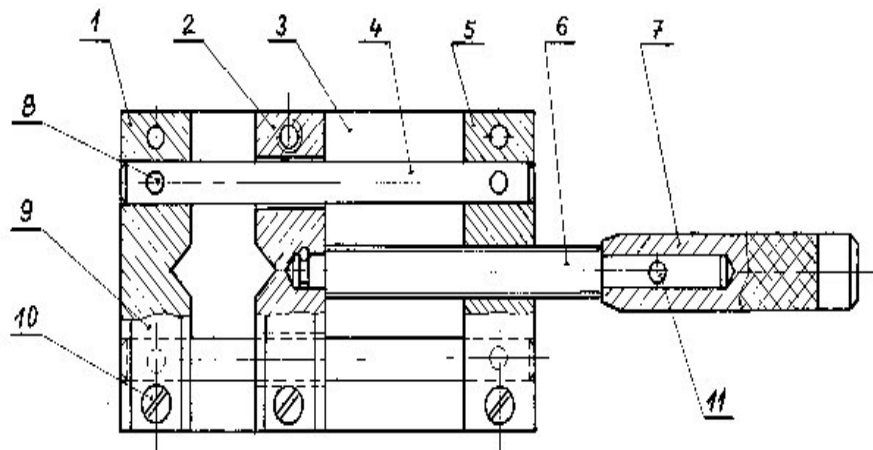
Polohu zveráka na hornej ploche stola frézovačky možno zabezpečiť a kontrolovať niekoľkými spôsobmi:

- vodiacimi perami alebo kalenými kameňmi,
- vyrovnávacími uholníkmi,
- číselníkovým odchýlkomerom

Vodiace perá alebo kalené kamene sú priskrutkované v priebežnej drážke na základovej ploche zveráka a pri vyrovnávaní zveráka potom zapadnú do pozdĺžnych drážok na hornej ploche stola. Nastavenie zveráka najčastejšie kontrolujeme dvoma uholníkmi, z ktorých

jeden upneme do zveráka a druhým odmeriavame podľa vodiacej plochy pre konzolu na prednej časti stojana.

Presnejšie skontrolujeme nastavenie zveráka číselníkovým odchýlkomerom, ktorý upevníme na trň vo vretene frézovačky. Dotykový odchýlkomer nastavíme na čel'usť zveráka a pohybom priečneho, alebo pozdĺžneho stola (podľa toho, ako máme orientovaný zverák na stole) zisťujeme odchýlky v nastavení.[3]



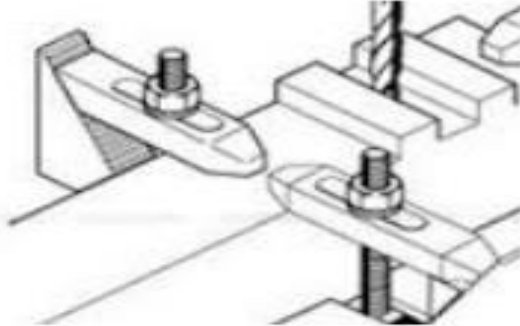
Obr. 7 Upínanie polotovaru pomocou zveráku [3]

Obr. 7: 1) Pevná časť, 2) Pohyblivá čel'usť, 3) Základová doska, 4) Vodiaca tyč, 5) Teleso matice, 6) Posuvná skrutka, 7) Rukoväť, 8) Kolík, 9) Kalená čel'usť, 10) Skrutka, 11) kolík

Pred vloženíím obrobku do zveráka musíme čel'uste i vnútorné dosadacie plochy zveráka dobre očistiť. Na podloženie obrobku vo zveráku používame presne opracované podložky. Upnutý obrobok dorazíme na podložky údermi kladiva (ak má neobrobené plochy), alebo údermi medenou, hliníkovou, gumenou, prípadne drevenou paličkou (ak má načisto obrobené plochy). Po dorazení a dosadnutí obrobku na podložky pevne dotiahneme čel'uste zveráka.

Obrobky, ktoré v priebehu frézovania treba nastavovať do rôznych polôh, upínajú sa spravidla do sklopných alebo otočných zverákov. Väčšie obrobky, výkovky, odliatky a polotovary sa väčšinou upínajú priamo na pracovnú plochu stola. Na toto upínanie používame úpinky rôznych tvarov a veľkostí, rôzne opierky, podpierky, upínacie lišty a pod. Úpinky, opierky, lišty atď. sa na stole frézovačky upevňujú skrutkami s hlavou tvaru T.

Nastavenie obrobku na stole frézovačky si uľahčíme narysovaním polohy plôch, ktoré budeme frézovať.[2]



Obr. 8 Upínanie polotovaru pomocou úpiniek [4]

1.6 Zásady merania

Často pretvárame rôzne druhy materiálu na výrobky, ktorých tvar býva veľmi odlišný od pôvodného tvaru. Aby obrobky (výrobky) mali predpísaný tvar a rozmery, musíme ich kontrolovať a premeriavať. Zisťujeme rovnobežnosť a kolmosť obrobených plôch, určujeme ich dĺžky, hrúbky a celkový tvar, kontrolujeme úkosy, uhly atď.

Na všetky tieto pracovné úkony používame rôzne druhy meradiel a meracích prístrojov. Konštrukcia, tvar, veľkosť a presnosť meradiel, ako aj meracích prístrojov je určená ich použitím. Na hrubé meranie používame oceľové meradlá, meter, hmatadlá a pod., na presnejšie meranie používame posuvné meradlá, hĺbkomery, mikrometrické meradlá, mikrometrické odpichy, šablóny, základné mierky, kalibre a pod. Na nastavenie a kontrolu polohy nástrojov, obrobkov, upínacieho zariadenia a obrobených plôch používame uholníky, uhloмеры, orysovače, mierky, šablóny, odchýlkomery, nožové pravítka a podobne. Pri obrábaní materiálov sa využíva chladiaca emulzia. Slúži nám na odstránenie deformácie a jej premazanie hotového výrobku a odvod triesok z miesta rezu.[1]

1.7 Rezné kvapaliny

Rezné kvapaliny zaujímajú významné miesto v procese obrábania. Pri intenzifikácii procesu vzniká v časovej jednotke väčšie množstvo tepla, ktoré nepriaznivo ovplyvňuje nielen nástroj, ale i obrábaný predmet a presnosť stroja. Fyzikálne a chemické vlastnosti prostredia, v ktorom prebieha rezanie, podstatne ovplyvňujú deformáciu obrábaného materiálu

a jeho trenie po reznom klíne, odvádzajú teplo z miesta rezania, vplyvajú na trvanlivosť reznej hrany, spotrebu energie a akosť obrobenej plochy. [3]

Vplyv rezných kvapalín na obrábanie a proces rezania.

Požiadavky kladené na vlastnosti rezných kvapalín sú rôznorodé a priamo v niektorých prípadoch protichodné, pretože lepšie splnenie vlastnosti jednej úmerne zhoršuje vlastnosť inú nie menej dôležitú a základnú. Vplyv prostredia na proces rezania je určený:

- chladiacim účinkom pre zníženie teplôt rezného klína nástroja, obrábaného predmetu i stroja,
- mazacím účinkom, predovšetkým pre docielenie nízkej drsnosti povrchu a zníženie trenia v oblasti obrábania,
- čistiacim účinkom pri odvode triesok z nástroja a miesta rezu a ďalej zabránenia zaprášenia pri obrábaní povrchov uvoľňujúcich drobné častice,
- rezným účinkom pri znížení rezných síl a zvýšení produktivity.

Prostredie, v ktorom sa uskutočňuje rezanie, vplyva na tvorenie triesky, na jej stlačenie, na stvrdnutie, na vznik nárastku, na rezné odpory, teplotu rezania a trvanlivosť nástroja. Použitie rezných kvapalín znižuje plastickú deformáciu obrábaného materiálu (Obr.č.9), podstatne znižuje oblasť druhotnej deformácie a znižuje výšku nárastku. Drsnosť obrobenej plochy sa znižuje a oblasť najväčšej drsnosti sa presunie smerom k vyšším rezným rýchlostiam. Pri dobrom mastiacom účinku reznej kvapaliny sa znižuje hĺbka a stupeň stvrdnutia povrchu a znižuje sa tvrdosť triesky. Stlačenie triesky sa znižuje a menej závisí od uhla čela a posuvu ako pri obrábaní na sucho. Pri obrábaní pevnejších materiálov, pri vyšších rezných rýchlostiach a posuvoch sú tieto javy menej výrazné. Súvisí to s horšími podmienkami vnikania reznej kvapaliny medzi obrábaný a rezný materiál. Rezné kvapaliny ovplyvňujú aj tvarovanie triesky. Rozhodujúcim faktorom je tu chladiaca schopnosť reznej kvapaliny, chladnejšia trieska je menej plastická. Pri chladení sa tvarovanie triesky zlepšuje a polomer zakrivenia triesky je menší ako pri práci za sucha. Pri menšej deformácii obrábaného materiálu sú menšie aj rezné odpory. Zníženie rezného odporu závisí od druhu použitej reznej kvapaliny. Obyčajné emulzie znižujú rezný odpor priemerne o 10 %, kým rastlinné oleje o 25 % . [3]



Obr. 9 Emulzne kvapaliny – chladenie pri obrábání [3]

A) Chladiaci účinok

Pod chladiacim účinkom sa rozumie schopnosť kvapaliny odvádzať teplo z miesta rezu (obr.9). Túto schopnosť má každá kvapalina, ktorá zmáča povrch kovu, pokiaľ existuje tepelný spád medzi povrchom a kvapalinou. Tento jav nastáva pri trieskovom obrábání kovov vždy. Čím väčšia teplota v mieste rezu (čím väčšia rezná rýchlosť, hrúbka triesky, húževnatosť materiálu) tým väčšie sú požiadavky na odvod tepla. Neodvážane teplo sa totiž môže akumulovať v obrobku a viesť k nepresnosti v obrábání. Odvod tepla vzniknutého pri rezaní sa dosahuje tým, že prúd kvapaliny oplachuje nástroj, triesku aj obrobok v oblasti rezu a prijíma odtiaľ vyvinuté teplo. Časť kvapaliny sa pri tom odparí vplyvom nadmerného miestneho zahriatia, zostatok prúdi späť do nádrže. Je zrejmé, že chladiaci účinok kvapalín bude závisieť na ich zmáčavej schopnosti (povrchovom napätí), na výparnom teple, na rýchlosti vyparovania pri určitej teplote, na tepelnej vodivosti a na mernom teple. Čím budú tieto veličiny väčšie, tým bude aj chladiaci účinok kvapaliny väčší. Rovnako dôležité je však aj prívádzané množstvo a jej penivosť.[1]

B) Mazací účinok

Mazací účinok je schopnosť kvapaliny vytvoriť na povrchu priľnavú tlaku vzdornú vrstvu, zabraňujúcu priamemu styku kovových povrchov a zaisťuje tak zmenšenie trenia (Obr.č.10), ku ktorému dochádza medzi trieskou a nástrojom aj medzi nástrojom a obrobkom. Vzhľadom k veľkosti tlakov, ktoré sa objavujú pri rezaní kovov, nemôže tu nikdy

dôjsť ku kvapalnému treniu s akým sa stretávame pri mazaní strojov. Medzné trenie však aj pri veľkých tlakoch môže byť zaistené, ak má kvapalina dostatočne veľkú afinitu (priľnavosť) ku kovu, alebo ešte lepšie, ak sa viaže s materiálom obrobku chemicky v mikroskopickú povrchovú medznú vrstvu s malým súčiniteľom trenia. Mazacia schopnosť kvapaliny má vplyv na zmenšenie trenia, čo má vplyv aj na veľkosť rezných odporov a spotrebovanej energie. Zmenšené trenie a rovnomernejšie rozloženie tlaku sa prejavuje taktiež v plynulejšom deformačnom pochode, lepším odchodom triesky a v kludnejšom chode stroja. Na mazací účinok je preto kladený doraz hlavne pri obrábaní na čisto. Mazacia schopnosť kvapaliny je závislá na jej viskozite a pevnosti medznej vrstvy. S rastúcou viskozitou sa však zhoršuje prenikanie kvapaliny medzi treciu plochu a jej prúdenie a tým aj odvod tepla. [3]



Obr. 10 Chladiaca zmes pri obrábaní polotovaru [17]

C) Čistiaci účinok

Dôležitou úlohou kvapaliny je odstraňovanie triesok, ktoré vznikajú pri obrábaní. Obrábateľne čiastočky sa spoločne s prachom z ovzdušia lepia a spôsobujú zhoršenie reznej schopnosti nástrojov, poškodenie funkčných plôch obrábacích strojov. Kvapalina má zamedziť zhlukovanie a zlepovanie čiastočiek a má ich odplavovať (obr.10). Ak má mať kvapalina dobrý čistiaci účinok, nesmie sa lepiť a musí dovoliť ľahké a rýchle usadzovanie nečistôt. Kvapaliny s malou viskozitou bez aktívnych prísad sú pre tento účel výhodnejšie. Rezné kvapaliny s veľkou viskozitou tvoria okrem toho na trieskach hrubšiu vrstvu a zväčšuje ich spotreba (odvodom v trieskach). Kvalita čistenia závisí aj na čistote kvapaliny, teda na odstraňovaní nečistôt, ktoré kvapalina odplavila. Väčšie, ťažšie nečistoty sa síce

usadia v nádrži, ale menšie, ľahšie môžu byť prúdom kvapaliny unášané späť do miesta rezu. Kaly, ktoré vznikajú pri starnutí kvapaliny v prevádzke a čiastočne v kvapaline rozpustné, tento jav ešte zhoršujú, pretože uľahčujú zhlukovanie a zlepovanie kovových častíc a brúsneho prachu. [4]

Voľbu reznej kvapaliny docielime

Rezné kvapaliny volíme podľa požiadaviek na ich funkčné a prevádzkové vlastnosti (obr.11). Zatiaľ čo prevádzkové vlastnosti reznej kvapaliny sú vcelku dobre známe, voľba podľa požiadavky na funkčné vlastnosti kvapaliny je podstatne ťažšia, najmä vzhľadom na značnú variabilitu pracovných podmienok obrábacieho procesu. Vplyv reznej kvapaliny na trvanlivosť ostria nástroja a akosť obrábaného povrchu možno zistiť len nákladnými a časovo náročnými obrábacími skúškami. Pri voľbe kvapaliny uvažujeme o týchto pracovných podmienkach:

1. druh obrábacej operácie,
2. obrábaný materiál.

Obrábacie operácie treba rozlišovať vzhľadom na voľbu kvapaliny podľa spôsobu odobrania triesky a množstva vyvinutého tepla. Obrábaný materiál rozlišujeme podľa chemického zloženia, mechanických vlastností a stupni obrábatelnosti. Rezné podmienky hodnotíme najmä podľa reznej rýchlosti a hrúbky triesky. Rezná rýchlosť má podstatný vplyv na množstvo vyvinutého tepla, a tým aj na tepelné namáhanie nástroja a zvýšenie teploty obrobku. Použitie kvapaliny je nutné, aby teplota nástroja, vznikajúca pri obrábaní, neprekročila teplotu, pri ktorej nastáva podstatný pokles tvrdosti a reznej schopnosti nástroja. V prípade veľkej hrúbky triesky sa vyvíja väčšie množstvo tepla ako pri odbere triesky malej hrúbky. Táto rezná kvapalina nám slúži aj pri životnosti nástrojov a pri lepšom manipulovaní polotovaru a obrábaním s vyššími reznými rýchlosťami, pretože nám odvádza teplo. [4]

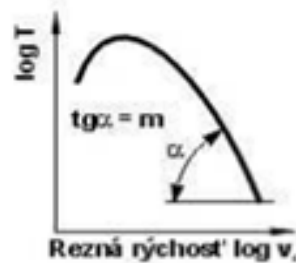


Obr. 11 Chladiace a mazacie roztoky [4]

1.8 Trvanlivosť gravírovacího nástroja

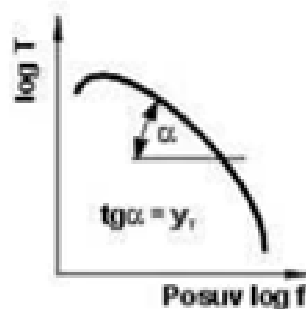
Intenzita opotrebovania rezného klina pri obrábaní daného materiálu závisí od nasledujúcich faktorov: mechanické namáhanie, únavové, difúzne, adhézne procesy (obr.12). Prvoradá má vplyv teplota rezania, nakoľko trvanlivosť je nepriamo úmerná intenzite opotrebovania, závislosť trvanlivosti od teploty rezania má opačný charakter ako závislosť intenzity opotrebovania.

Vplyv reznej rýchlosti – pri určitej teplote rezania a jej zodpovedajúcej reznej rýchlosti intenzita opotrebovania je najmenšia. Takejto reznej rýchlosti zodpovedá maximum závislosti $T - v$.



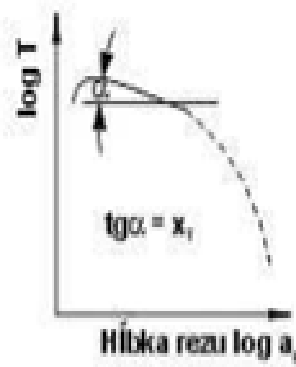
Obr. 12 Vplyv reznej rýchlosti [3]

Vplyv posuvu – celková tendencia závislosti je podobná ako pri vplyve reznej rýchlosti. Pri malých aj veľkých posuvoch trvanlivosť môže byť znížená vznikom chvenia. Pokles trvanlivosti s rastom posuvu je menší ako s rastom reznej rýchlosti, nakoľko posuv ovplyvňuje teplotu rezania menej ako rezná rýchlosť.



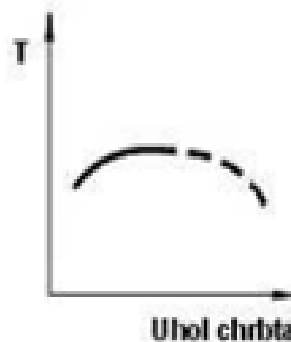
Obr. 13 Vplyv posuvu [3]

Vplyv hĺbky rezu – závislosť je opäť extrémom – maximum. Pri malých i veľkých hĺbkach rezu sa opäť môže prejavíť nepriaznivý vplyv chvenia na trvanlivosť. Pokles trvanlivosti s rastom hĺbky rezu je malý. Zodpovedá to malému vplyvu hĺbky rezu na teplotu rezania.



Obr. 14 Vplyv hĺbky rezu [3]

Vplyv uhla chrbta – rastom uhla chrbta sa zväčšuje objem opotrebovaného materiálu pre zvolenú mieru otupenia. Adekvátne s tým rastie aj trvanlivosť. Rastom uhla chrbta sa zhoršujú podmienky odvádzania tepla a znižuje sa mechanická pevnosť rezného klina. Rastie pravdepodobnosť vyštrbenia rezného klina. Preto ak sa prekročí určitá hodnota uhla chrbta trvanlivosť klesá.



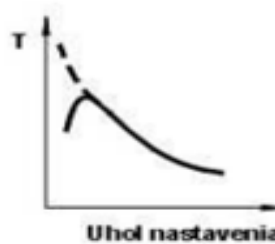
Obr. 15 Vplyv uhla chrbta [3]

Vplyv uhla čela – na závislosti trvanlivosti od uhla čela sa výrazne prejavuje vplyv uhla čela na teplotu rezania. Pri malých uhloch čela sa môže vyskytnúť i chvenie. Maximálna trvanlivosť zodpovedá minimu závislosti teploty rezania od uhla čela.



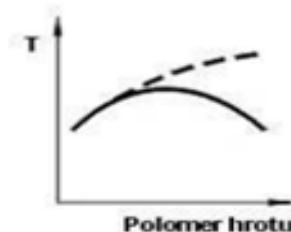
Obr. 16 Vplyv uhla čela [3]

Vplyv uhla nastavenia – s rastom uhla nastavenia rastie hrúbka odrezávanej vrstvy aj teplota rezania a trvanlivosť zákonite klesá. Pri malých uhloch nastavenia, pokiaľ vzniká chvenie, trvanlivosť je menšia ako pri väčších uhloch.



Obr. 17 Vplyv uhla nástroja [3]

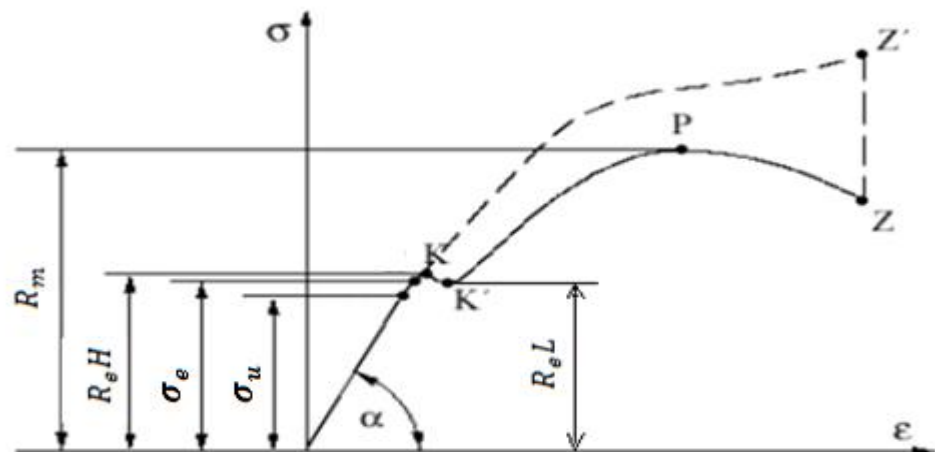
Vplyv polomeru hrotu – s nárastom polomeru hrotu klesá hrúbka odrezávanej vrstvy. Klesá tiež teplota rezania. Trvanlivosť reznej hrany preto s rastom polomeru hrotu rastie. Pri príliš veľkých polomeroch, ak vzniká chvenie, trvanlivosť klesá.[4]



Obr. 18 Vplyv polomeru hrotu [3]

Frézovanie je jedným zo základných spôsobov obrábania, ktorý je charakteristický prerušovaným rezom. Prerušovaný rez je hlavným faktorom ovplyvňujúcim trvanlivosť nástroja a podmienky obrábania ako sú voľba rezného materiálu, rezných podmienok a obrábacieho

stroja. Z prerušovaného rezu vyplýva aj meniaci sa prierez triesky, a mení sa aj rezná sila. Osobitným problémom je zabezpečenie vysokej trvanlivosti frézovacích nástrojov s reznými časťami zo spekaných karbidov. Opatrebenie takéhoto nástroja sa riadi odlišnými zákonitostami ako v podmienkach plynulého rezu. S znížením trvanlivosti krehkých materiálov je zapríčinené nárazovým účinkom reznej hrany na obrobok. V tejto súvislosti sa odporúčali používať záporné uhly čela a sklonu reznej hrany. Najnovšie výskumy však dokazujú zníženie trvanlivosti vplyvom tepelného namáhania rezného klina. Rezná hrana je periodicky tepelne namáhaná postupne ako vychádza a vchádza do záberu. V čase keď je rezná hrana mimo záberu, intenzívne sa ochladzuje v dôsledku čoho vznikajú v povrchových vrstvách ťahové a tlakové napätia. Tlakové napätia sú oveľa vyššie ako ťahové (obr.19), nastáva vyštrbovanie reznej hrany, čím klesá jej trvanlivosť. V súčasnosti sa preto používajú na zníženie opotrebovania spekané karbidy odolávajúce tepelným rázom.[3]



Obr. 19 Fyzikálna podstata plastickej deformácie [3]

Obr. 19.: σ_u – medza úmernosti σ_e – medza pružnosti K – horná medza klzu K' – dolná medza klzu P – medza pevnosti v ťahu Z – konečné porušenie ε – pomerné predĺženie.

E – konstanta úmernosti R_m – Napätie medza pevnosti R_eH – Napätové medzi ťahu horného kvartálu R_eL – Napätové medzi ťahu dolného kvartálu

Hookov zákon:

$$\sigma = E \cdot \varepsilon \quad [\text{MPa}] \quad (2)$$

1.9 Meranie teploty

Význam sledovania tepelných javov pri obrábaní je väčšina nástrojov a stráca časť svojej reznej schopnosti účinkom teploty (obr. 20), ktorá vzniká pri premene práce rezania na teplo. Táto teplota vplýva aj na presnosť obrábaných súčiastok a na akosť obrobeného povrchu. V povrchovej vrstve môže vyvolať zvyškové napätia a štrukturálne premeny. [4]

$$Q_c = F_c \cdot V_c \cdot t \quad [\text{J}] \quad (3)$$

Celá práca rezania sa mení na teplo, (F_c - rezná zložka sily obrábania, V_c - rezná rýchlosť, t - čas rezania).

Teplo sa šíri kondukciou a konvekciou z miest strojov do triesky, obrobku, nástroja a okolitého prostredia - vznik teplotného pola ustáleného až po istom čase rezania, v závislosti na:

1. Fyzikálnych vlastnostiach materiálu nástroja i obrobku,
2. rezných podmienkach,
3. spôsobe obrábania,
4. reznom prostredí.

Zdroje tepla

Q_1 - teplo uvoľnené v oblasti primárnej plastickej deformácie,

Q_2 - pri prechode triesky s čelom nástroja,

Q_3 - pri kontakte chrbta nástroja s reznou plochou.

Šírenie tepla

Q_1 - do triesky a obrobku,

Q_2 - triesky a nástroja,

Q_3 - nástroja a obrobku,

Q_t – teplo odoberané trieskou,

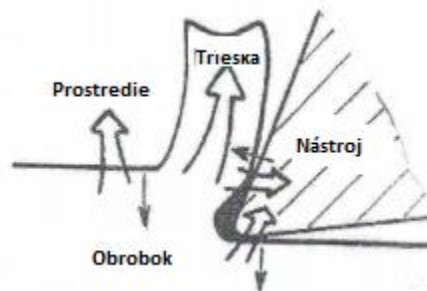
Q_o – teplo prechádzajúce do obrobku,

Q_n – teplo prechádzajúce do nástroja,

Q_p – teplo prechádzajúce do okolia.

Rovnica tep. bilancie

$$Q_c = Q_1 + Q_2 + Q_3 = Q_t + Q_n + Q_o + Q_p, \text{ pričom } Q_t > Q_n > Q_o > Q_p \quad [\text{J}] \quad (4)$$



Obr. 20 Zdroje tepla pri obrábání [3]

Vplyv na teplotu rezania

So zvyšovaním reznej rýchlosti klesá merný rezný odpor, a tým aj teplota materiálu v oblasti prvotnej deformácie. Zväčšuje sa však práca trenia na čele, pretože rýchlosť triesky sa so zvyšovaním reznej rýchlosti zväčšuje rýchlejšie, než rezná rýchlosť. Podmienky odvádzania tepla zostávajú prakticky konštantné. Preto so zvyšovaním reznej rýchlosti teplota rezania stúpa, pričom rast teploty bude priamo úmerný súčiniteľu stlačenia triesky. [4]

- **Vplyv posuvu a hĺbky rezu**

Závislosť teploty rezania od posuvu a hĺbky rezu možno určiť na základe analýzy zmeny množstva tepla a jeho odvodu pri zmene hĺbky rezu a posuvu. So zväčšovaním posuvu klesá, merný odpor, a tým aj teplota materiálu v oblasti prvotnej deformácie. Zväčšuje sa však práca trenia na čele, pretože rastie trecia sila aj rýchlosť triesky. Podmienky odvádzania tepla zostávajú prakticky konštantné. Hĺbka rezu vplyva na teplotu rezania ešte menej než posuv. Vyplýva to z toho, že pri zväčšení hĺbky rezu sa úmerne zväčšuje aj dĺžka reznej hrany v zábere, teda aj odvod tepla. [4]

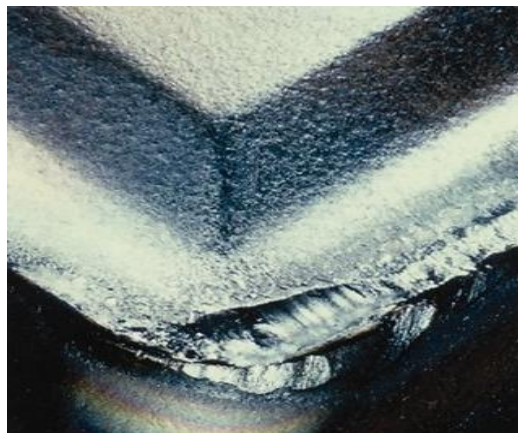
- **Vplyv geometrie nástroja**

Pri zväčšení uhla rezu sa zväčšuje práca rezania, a tým aj množstvo tepla (obr.21). Podmienky odvádzania tepla sa so zväčšením uhla klina zlepšujú. Pri zväčšení uhla rezu asi do 75° prevláda vplyv zlepšenia podmienok odvádzania tepla, a preto teplota rezania v tomto rozsahu uhlov rezu mierne klesá. Ďalšie zväčšenie uhla rezu vyvoláva rast teploty rezania,

lebo práca rezania sa zväčšuje rýchlejšie, ako sa zlepšujú podmienky odvádzania tepla. Pri uhloch rezu vyše 70 až 75° rastie teplota rezania úmerne s uhlom rezu. Vplyv uhla chrbta vyplýva z teoretickej analýzy tepelných javov pri rezaní. So zmenšením uhla chrbta rastie práca trenia na chrbte a zväčšuje sa teplota rezania. Pri príliš veľkých uhloch chrbta sa však podmienky odvádzania tepla zhoršujú a teplota rezania stúpa. [4]

- **Vplyv opotrebenia nástroja**

Opotrebením nástroja sa mení geometria rezného klína (obr.21), a teda aj teplota rezania. Zmena teploty rezania závisí od charakteru opotrebenia rezného klína. Ak sa polomer klína opotrebením zväčšuje, alebo pri malých posuvoch, keď sa opotrebuje najmä chrbát nástroja, teplota rezania so zväčšením opotrebenia ustavične rastie. Pri stredných a väčších hodnotách posuvu teplota rezania najprv rastie, potom po vymletí žliabku do čela dochádza k poklesu rezných síl i teploty rezania. V ďalšom zostane teplota rezania prakticky konštantná, až sa po určitom čase v pásme zrýchleného opotrebenia začne znovu zvyšovať. Pri vyštrbení reznej hrany teplota skokovite vzrastie. Opotrebenie nástroja podstatne vplyva na teplotu obrobku, najmä pri malých posuvoch. [2]



Obr. 21 Opotrebovanie nástroja [2]

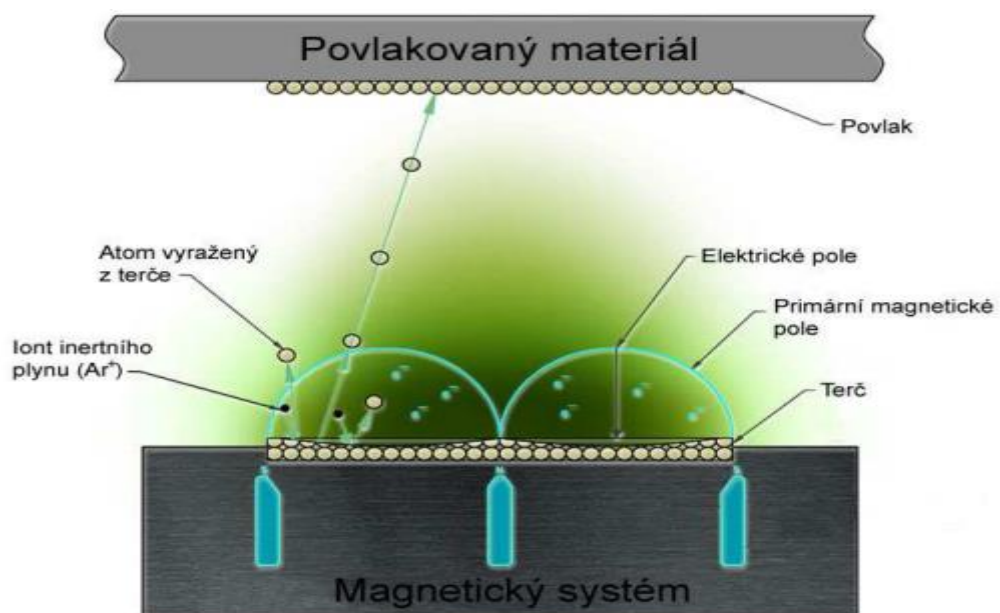
- **Vplyv chladenia a zvláštnosti procesu rezania**

Použitie rezných kvapalín znižuje teplotu rezania. Podstatnú úlohu tu nemá len zvýšený odvod tepla, ale aj zmenšenie trenia v procese rezania. Na trenie veľmi vplyva aj druh plynného prostredia, v ktorom prebieha rezanie. V plynch, ktoré vytvárajú kysličníkové filmy znižujúce trenie medzi obrábaným a rezným materiálom, je teplota rezania nižšia. Zvláštnosti procesu obrábania ovplyvňujú aj teplotu rezania. Pri obrábaní materiálov s reznou kvapalinou nie len, že sa odvádzajú triesky z miesta obrábania, ale sa aj predl-

žuje životnosť rezných nástrojov, ktoré sa pomocou chladiacej emulzie chladia a premazávajú hrot nástroja s obrobkom. [1]

1.10 Povlaky nástrojov

Podstatné zvýšenie trvanlivosti rezných materiálov je dosahované tenkými, mechanicky, tepelne, korózne alebo chemicky odolnými oteruvzdornými vrstvami. Väčšina povlakov sa nanáša chemickou metódou CVD, ktorej podstata i čiastočne nevýhoda je teplota nanášania povlaku okolo 800 – 1000 °C, čo môže tepelne ovplyvniť základný materiál nástroja. Hrúbka takto nanesených povlakov je v rozsahu 5 – 12 μm , čo zväčšuje polomer reznej hrany nástroja, čím sa čiastočne zmenia podmienky obrábania. K širšiemu použitiu povlakov na nástrojoch došlo až po zvládnutí technológie povlakovania fyzikálnymi metódami PVD (obr.22), ktoré umožňujú vytváranie povlaku pri teplotách menších ako 550 °C. Tým je zaistené, že mechanické a fyzikálne vlastnosti materiálu nástroja zostanú bez zmeny, nevzniká tepelné napätie a nedochádza k štrukturálnym zmenám. Metódami PVD sú vytvárané povlaky o hrúbke 1 až 5 μm pre rôzne aplikácie. Cez nesporné výhody, ktoré prevládajú pri použití povlakových spekaných karbidov pre obrábanie, treba však upozorniť aj na prípady, kedy táto metóda neprináša tak výrazný efekt ako sa očakáva (frézovanie). [4]



Obr. 22 PVD magnetrónovénaprašovanie [4]

1.11 Ocele pre rezné nástroje

Základnou požiadavkou je zachovanie vysokej tvrdosti rezného klina pri teplote obrábania, reznosti a odolnosti proti opotrebovaniu. Na rezné nástroje sa používajú ocele v zakalenom a popustenom stave (obr.23). Nelegované, nízkolegované a strednelegované ocele na rezné nástroje sú zvyčajne s veľkou časťou jemných karbidov. Vysokolegované ocele na rezné nástroje sú ledeburitické. Vysokolegované rýchlorezné ocele si zachovávajú tvrdosť rezného klina až do cca 600 °C. [4]

- **Nelegované ocele**

Nelegované ocele na rezné nástroje obsahujú 0,5 až 1,3 % uhlíka, najčastejšie však 1 až 1,2 %. Tvrdosť po zakalení závisí od obsahu uhlíka, pohybuje sa okolo 56 až 64 HRC. Nelegované ocele majú malú prekaliteľnosť (pri hrúbke nástroja 10 – 80 mm sa prekalia iba do hĺbky 2 – 5 mm). Je to výhodné pri malých nástrojoch, ktoré si zachovávajú dostatočnú húževnatosť aj po kalení, na podporu tohto efektu sa obsah sprievodných prvkov (mangán, kremík, chróm) udržiava na nižšej úrovni ako pri konštrukčných oceliach. Pri týchto oceliach prudko klesá ich tvrdosť za tepla s rastúcou teplotou, preto sa používajú hlavne na nástroje na obrábanie dreva, iba obmedzene na nástroje na obrábanie kovov (hlavne pre nízke rezné rýchlosti).

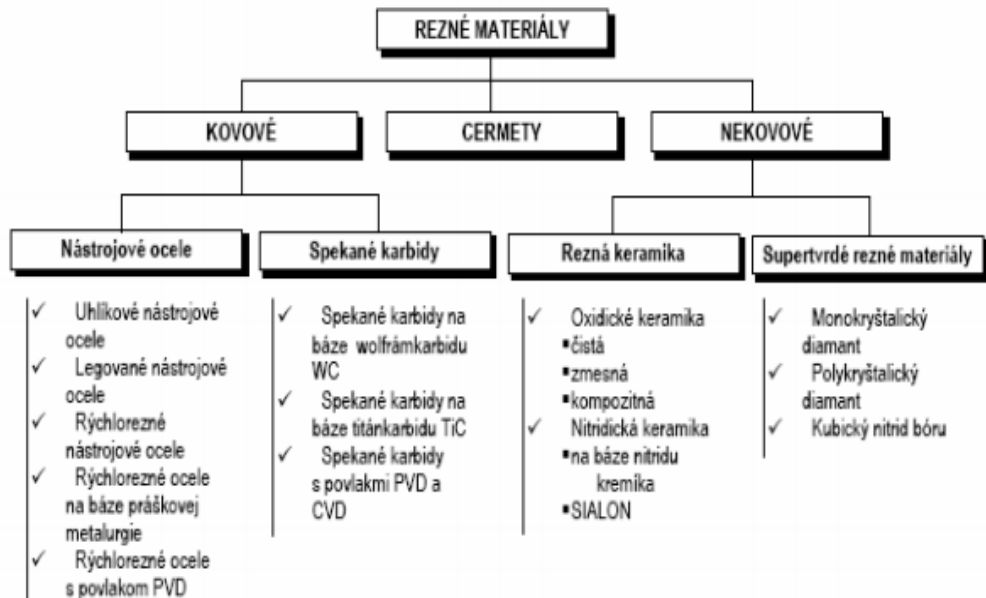
- **Legované ocele**

Nízko a strednelegované ocele obsahujú 0,6 až 1,3 % uhlíka. Legované sú najmä prísadami karbidotvorných prvkov (mangán, chróm, vanád, volfrám, molybdén) a kremíkom. Uvedené prísady zvyšujú prekaliteľnosť (15 - 100 mm), takže je možné kalenie do oleja, čo znižuje napätia a deformácie, najmä tvarovo zložitých nástrojov. Prísady tiež brzdia pokles tvrdosti za tepla. Vysokolegované chrómové ocele majú obsah uhlíka pod 1 % a možno ich do priemeru 100 mm kalieť aj prúdom vzduchu pri vyšších kaliacich teplotách.

- **Rýchlorezné ocele**

Rýchlorezné ocele obsahujú 0,8 až 1,3 % uhlíka a 15 až 30 % prísadových prvkov (chróm, vanád, wolfrám, molybdén, kobalt). Od chemického zloženia výrazne závisí výkonnosť týchto ocelí. Štruktúra týchto ocelí po stuhnutí je eutektická, preto ju treba rozrušiť tvárnením za tepla. Tieto ocele majú nízku tepelnú vodivosť, na čo treba brať ohľad pri ich tepelnom spracovaní, aby sa nástroje vplyvom napätí nedeformovali. Rovnako je potrebné pri

ohreve chrániť ich povrch od oduhličenia. Kaliace teploty týchto ocelí sú vyššie (1210 až 1280 °C) pretože je potrebné rozpustenie karbidov. [2]



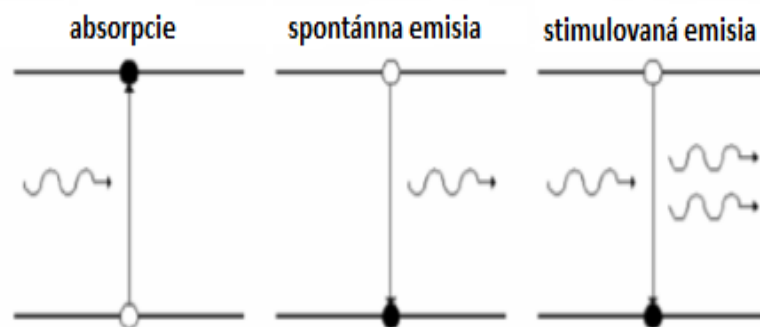
Obr. 23 Klasifikácia rezných materiálov [2]

2 LASEROVE OBRÁBANIE

Laser je kvantový generátor a zosilňovač koherentného (vnútorne usporiadaného) optického žiarenia, ktoré vyniká extrémne monochromatickosti (rovnakofarebnosti), nízku rozbiehavosťou svetelného zväzku a vysokou hustotou prenášaného výkonu či energie. Žiadne iné žiarenie ako žiarenie generované laserom tieto vlastnosti nemá.

U laserov rozoznávame tri základné parametre. Tým prvým je vlnová dĺžka (udávaná v nanometroch). Vlnová dĺžka určuje, v akej časti spektra sa bude laserový lúč pohybovať. Vlnová dĺžka je navyše dôležitá aj pre veľkosť stopy lasera a tiež sa podľa nej delia lasery na termálne (IR), u ktorých je vlnová dĺžka viac ako 630 nm, lasery pracujúce vo viditeľnom svetle (380 - 630 nm) a lasery pracujúce v UV oblasti (pod 380 nm). Platí tu, že čím menšia je vlnová dĺžka žiarenia, tým väčšia je energia fotónu a hmotnosť (hybnosť) fotónu. Ďalšími dvoma parametrami určujúcimi kvalitu lasera sú potom výkon a v neposlednom rade životnosť. [8]

Absorpcia energie je sprevádzaná vznikom spontánnej a stimulovanej emisie. U spontánnej emisie sa elektrón sám dostane do spodnej dráhy (bez akéhokoľvek signálu). Naopak u stimulovanej emisie sa elektrón dostane do hornej dráhy (obr.24), tam čaká na budiaci fotón, ktorý do elektrónu narazí a odovzdá energiu uvoľnenému fotónu za predpokladu, že elektrón zostúpi do nižšej kvantovej dráhy. Tieto dva fotóny budiaci a stimulovaný emitovaný sú v časovej koherencii.



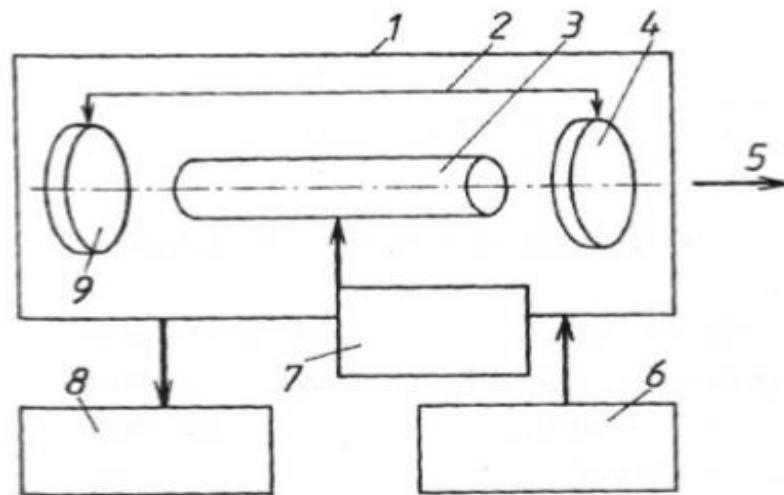
Obr. 24 Absorpcie spontánna a stimulovaná emisia [5]

Výsledné žiarenie (vlnenie) je nazývané koherentné (fotóny oboch vlnení sú, vo zväzku lúčov takmer rovnomerne rozprestreté a šíri sa rovnakým smerom) a monochromaticky (má jednu presne definovanú vlnovú dĺžku) čo nám umožňuje, sústrediť svetelný lúč do veľmi malej oblasti, vzhľadom k relatívne veľkej vzdialenosti jeho vplyvu. Práve stimulovaná emisia žiarenia nám zabezpečuje dostatočnú silu lúča lasera potrebnú napríklad k

obrobeniu rôznorodých materiálov. Aby sme dosiahli maximálnu účinnosť lasera, je potrebné dosiahnuť takzvanú populačnú inverziu alebo inverziu populácie častíc aktívneho prostredia. Tento jav je nutnou podmienkou pre praktické využitie stimulovanej emisie. [8]

2.1 Princíp lasera

Hlavnou časťou každého lasera je laserová hlavica, ktorá ďalej obsahuje laserové médium, rezonátor, budiace zariadenie, zdroj energie budenia a chladiaci systém (obr.25).

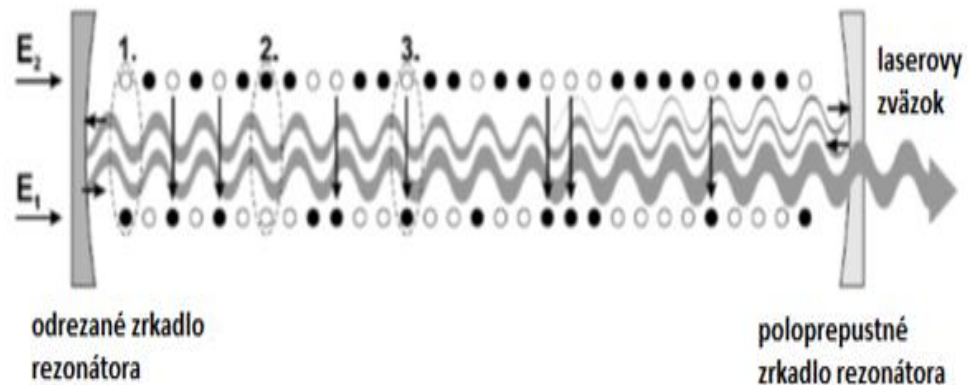


Obr. 25 Schéma zariadenia pre obrábanie laserom [10]

Obr. 25:1) Laserová hlavica, 2) Rezonátor, 3) Laserové médium, 4) Polopriepustné zrkadlo, 5) Výstup lúča, 6) Zdroj energie budenia, 7) Budiace zariadenie, 8) Chladiaci systém, 9) Nepriepustné zrkadlo.

Laserové médium (3) - určuje dĺžku vlny žiarenia. Jedná sa o zmes niekoľkých materiálov s vhodnými energetickými hladinami vo vhodnom materiáli.

Rezonátor (2) - optický systém, umožňujúci sformovať a zosilniť žiarenie, elektromagnetickú vlnu z neho vychádzajúci. Konštrukčné usporiadanie rezonátora určuje vlastnosti lúča (súdržnosť, intenzitu žiarenia, jeho pravidelnosť, spektrálne a priestorové charakteristiky). Optický rezonátor tvorí najmenej dve zrkadlá. Najčastejšie sa používajú sférické. Priemer a zakrivenie zrkadiel určujú rozdelenie intenzity žiarenia a energetickú rozbiehavosť laserového žiarenia. Rozdelenie intenzity žiarenia v priereze výstupného lúča lasera vyjadruje MOD, čo je označenie pre vlastné kmity elektromagnetického poľa v rezonátore, charakterizované dané frekvencie a zvláštnosťami rozloženia poľa v rezonátore.



Obr. 26 Laserový lúč v rezonátore [8]

Na (obr.26) sú vyznačené kvantové sústavy:

1. V základnom stave.
2. V excitovanom stave.
3. Stimulovaná emisia.

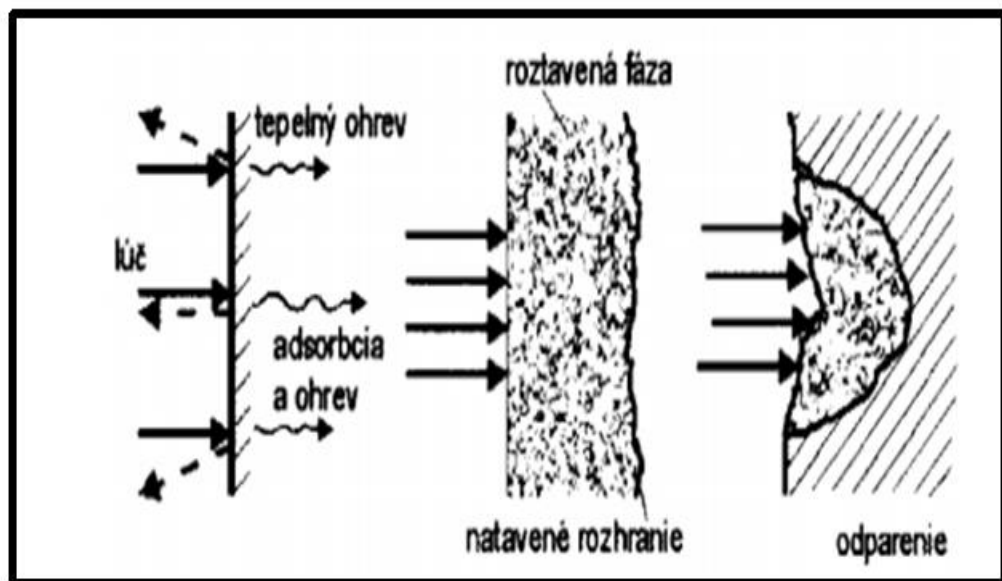
Budiace zariadenia (7) - ovplyvňuje pracovný režim lasera. Spôsob budenia je daný laserovým médiom.

Chladiaci systém (8) - odvádza nevyužitú energiu, ktorá sa nepremení v žiarenie, ale v tepelnú energiu. U laserov s vyšším výkonom sa najčastejšie používa vodné chladenie. Skladá sa z chladiaceho zariadenia a dvoch hadíc pre prívod a odvod vody. V okamihu zapnutia začne studená voda prúdiť k laserovej jednotke a tým ju začne ochladzovať. Následne je takto ohriata voda privedená späť do chladiaceho zariadenia na opätovné ochladenie. Ale tiež sa dodávajú špeciálne chladiace zariadenia, u ktorých je chladenie vzduchom. Tu odpadajú náklady s vodným chladením. Lasery sa tiež delia podľa prostredia. [8]

2.2 Účinok laserového lúča

Pri styku laserového lúča s materiálom, ako to ilustruje (obr.27), dochádza k ich vzájomnej interakcii efektom, ktoré sú závislé od vlastností materiálov a ich schopnosti pohlcovať a odrážať laserové žiarenie. Dôležité faktory pre použitie laserového lúča sú:

- reflektivita – odrazivosť povrchu,
- absorpcia – pohlcovanie laserového žiarenia,
- tepelná vodivosť,
- tavenie povrchovej vrstvy,
- odparovanie.



Obr. 27 Účinok laserového lúča pri jeho dopade na povrch materiálu [8]

Po dopade lúča na materiál sa časť lúčov odrazí, časť sa absorbuje do materiálu a časť prejde materiálom. Absorbované lúče ohrievajú materiál, ktorý sa ohrevom natavia následne odparí z ohriatej oblasti. Množstvo odrazených lúčov závisí od odrazivosti materiálu.

Absorbpcia A (%) svetelného žiarenia spôsobuje ohriatie povrchovej vrstvy. Reflexia aj absorbpcia sú komplexné javy a ich vzájomné pôsobenie vyjadruje vzťah $R + A = 100\%$.

Odrazivost' R (%) infračerveného svetla od kovových povrchov je veľmi vysoká. Niektoré hodnoty odrazivosti pre Nd - YAG laser (vlnová dĺžka $1,06 \mu\text{m}$) uvádza (tab. 1). Tieto hodnoty platia pre leštené povrchy. V skutočnosti na odrazivost' pôsobí prítomnosť oxidickej vrstvy na povrchu, ako aj zvyškové napätia pod povrchom, takže reálne hodnoty odrazivosti môžu byť v skutočnosti iné. Vo všeobecnosti platí, že so zvyšovaním vlnovej dĺžky svetelného žiarenia reflektivita kovov stúpa. Odrazivost' lúčov sa dá znížiť zdrsnením povrchu, vytvorením krycej nekovovej vrstvy, porušením oxidickej vrstvy ožiarením povrchu laserovým lúčom s vysokou energiou, ohriatím materiálu na teplotu blízku teplote tavenia. [8]

Tab. 1 Odrazivost' vybraných materiálov [8]

Odrazivost' (%)		
Kov	Vlnová dĺžka (μm)	
	0,9 – 1,1	9 - 11
Zlato	94,7	97,7
Striebro	96,4	99
Hliník	73,3	96,9
Meď	90,1	98,9
Železo	65	93,8
Nikel	72	95,6
Zinok	49	98,1
Chróm	57	93
Kremík	28	28
Oceľ (1%C)	63,1	93 - 96
Uhlík (grafit)	26,8	59

2.3 Rozdelenie laserov

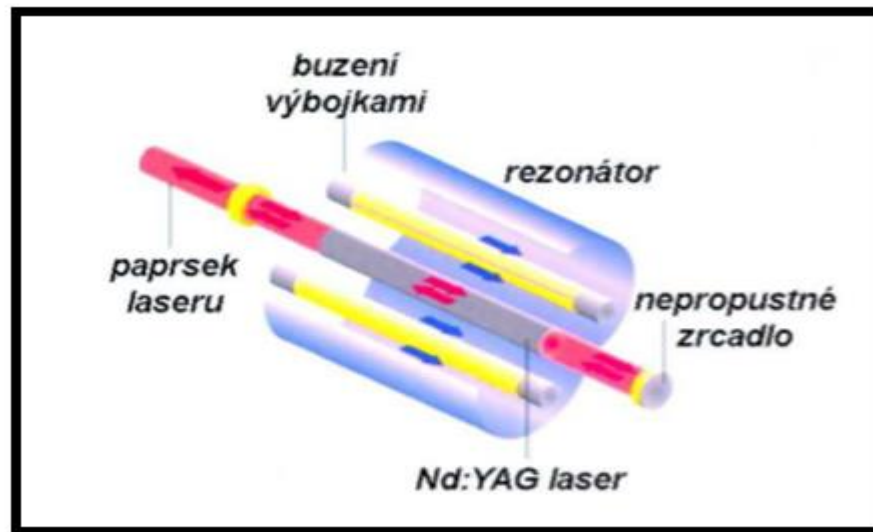
Podľa skupenstva látky aktívneho prostredia sa lasery delia nasledovne:

- a) Pevnolátkové - (vláknové).
- b) Vlákňové.
- c) Plynné - (atomárnej, molekulovej, iónové), excimerové.
- d) Excimerové.
- e) Polovodičové.

A) Pevnolátkové lasery

Aktívnym prostredím týchto laserov sú pevné kryštalické, alebo amorfné látky (sklo, keramika, rubín) tvoriaci skelet, ktorý je dopovaný prímiesou vhodných iónov. K vlastnému optickému zosilňovaniu dochádza na elektrónových priechodoch iónov prímiesi.

Najrozšírenejším a tiež najznámejším je Nd-YAG laser (obr.28). Môže sa vyrábať takmer v neobmedzených veľkostiach. Vyžaruje infračervený lúč o veľkej energii. Vyznačuje sa veľkou účinnosťou. V priemysle sa využíva pri vŕtaní, zvaraní, rezaní a žíhanie materiálu. Tiež našiel uplatnenie v lekárstve ako skalpel, alebo v očnej mikrochirurgii. Ďalej v radarovej technike a v spektroskopii. [7]



Obr. 28 Konštrukcia Nd: YAG laseru [12]

B) Vláknové lasery

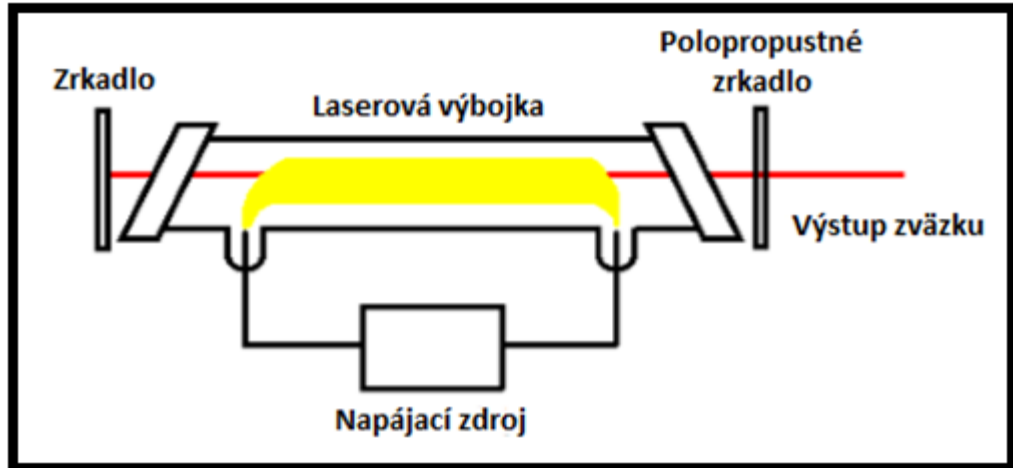
V poslednej dobe sú veľmi rozširujúcim typom lasera. Nahrádzajú lasery Nd-YAG (obr.28). Optické vlákno dopované prvkom Ytterbia, ktoré tvorí aktívne prostredia lasera, je čerpané pomocou laserovej svietivej diódy. Môžu pracovať v kontinuálnej aj pulznej prevádzky. Tieto lasery majú vysoký výkon (kontinuálny 10-100W, pulzný 10-50W), vysokú účinnosť, malé rozmery, dlhú životnosť, najnižšie prevádzkové náklady, excelentnú kvalitu laserového lúča. Sú hojne využívané v priemysle na rezanie, zváranie, žíhanie a veľmi sa hodí k mikroobrábaniu a tiež laserovému popisovaniu a textúrovanie povrchov.

C) Plynné lasery

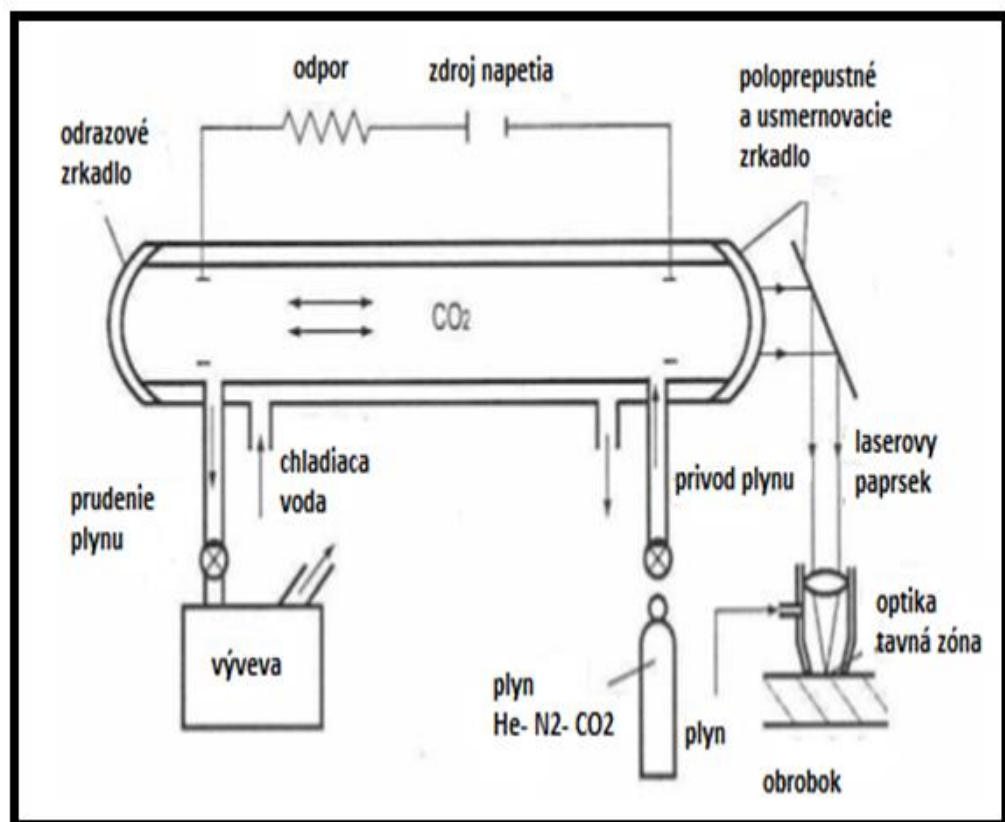
Aktívne prostredie môže byť tvorené atómami (He-Ne laser) (obr.29), ióny (Ar laser), molekulami (CO₂ laser), či ich zmesami v plynnej fáze. Najčastejšie je budený vysokofrekvenčným elektrickým nábojom. Inverzie obsadenie nastáva medzi energetickými hladinami niektorej zo zložiek. Pri plynových laserov je široká škála vlnových dĺžok a tým aj ich využitie. Najpoužívanejšie v priemysle je CO₂ laser (obr.30). Má vysokú účinnosť - 50%, veľký kontinuálne výkon žiarenia - až 1 MW, možnosť vyžarovania v širokom pásme - 5 až 700 mikrometrov. Podľa usporiadania CO₂ laserov je možno deliť na štyri základné typy, ktoré sa líšia najmä možnosťí dosahovaných výkonov:

- lasery s výbojkou,
- lasery s pomalým prietokom plynu,
- lasery s rýchlym prietokom plynu,
- TEA CO₂ laser.

CO₂ lasery sa používajú najmä pre rezanie, zváranie, vŕtanie, popisovanie súčastí, nanášanie povlakov a tepelné spracovanie. Nevýhodou tohto lasera sú jeho rozmery a náročnejšia údržba. [12]



Obr. 29 Princíp He-Ne lasera [11]



Obr. 30 Princíp CO₂ lasera [12]

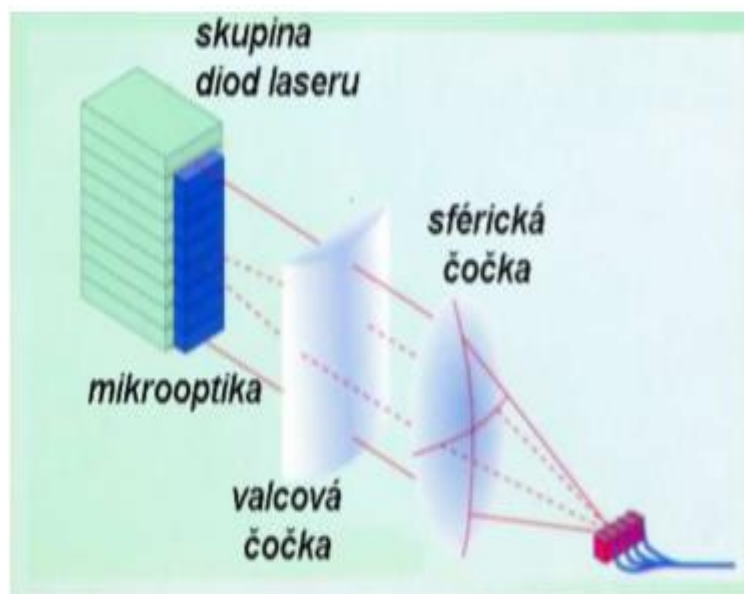
D) Excimerové lasery

Špeciálna skupina plynových pulzných laserov, ako aktívne prostredie využívajú zmesi excitovaných dimérov vzácnych plynov (AR2), halogenidov vzácnych plynov (KRF) a oxidov vzácnych plynov (XEO). Využívajú sa pre krátke vlnové dĺžky výsledného žiarenia. Svoje uplatnenie nachádza v presnom obrábaní, fotolitografii a mikroobrábaní. Sú zložené na údržbu a tiež je ich nevýhodou nákladnou prevádzku a vysoká obstarávacia cena.

E) Polovodičové lasery

Diódové, sú pomerne rozšíreným typom laserov. Vyznačujú sa malými rozmermi, vysokou účinnosťou (bežne až 50%) a vysokými výstupnými výkonmi. Sú veľmi citlivé na zmenu teploty (obr.31). Laserový lúč možno ľahko modulovať zmenou budiaceho elektrického prúdu. Pracujú ako v kontinuálnom, tak pulznom režime. Hlavne sa používajú v elektro-technike, ale aj ako súčasť pevnolátkových laserov, vznikajú takto miniatúrne, flexibilné a vysoko výkonné laserové generátory. Pri laserovom obrábaní sa vyrábajú mikroobrábane plochy, ktoré sa využívajú pri popisovaní materiálu cez masku, alebo vychyľovaním lúčom, odstraňovaním vrstvy materiálu, gravírovania skla, alebo pri laserovom textúrovaní.

[5]



Obr. 31 Konštrukcia polovodičového lasera [6]

2.4 Značenie a popis laserom

Značenie laserom je založené na miestnom odpareníu materiálu (ablácia) alebo na zmene farby jeho povrchu. Laser vytvára na povrchu materiálu s vysokou presnosťou stály, mechanicky odolný, veľmi kontrastný a inak nenapodobiteľný popis. Všetko prebieha v jedinej krátkej operácii bez použitia chemických prísad a atramentov alebo mechanických zásahov do štruktúry materiálu. Výška znakov je zvyčajne zlomky až jednotky milimetrov, hrúbka odparenej vrstvy materiálu je v mikrometroch. [5,8]

Laserom je možné označovať všetky materiály, ako kalené, tak aj nekalené ocele a liatiny, titán, mosadz, bronz, hliník a jeho zliatiny, spekaný karbid, zlato, keramiku, drahé kamene, plasty, drevo, sklo, gumu, papier, kožu. Popisovaný povrch môže byť brúsený, pieskovaný, lakovaný, čiernení, smaltovaný, opatrený povlakom chrómu, zinku, titankarbidu, keramickým povlakom. Laserom možno popisovať rovinné, valcové aj inak zakrivené plochy, a to aj na málo prístupných miestach.

Výhody a nevýhody laserového popisovania

Táto technológia sa vyznačuje vlastnosťami, ktoré ju kvalitatívne odlišujú od doteraz používaných postupov (sieťotlač, tampónová tlač, mechanické rytie a razenie), a ktorá rieši nevýhody týchto konvenčných technológií. [13]

Výhody laserového popisu:

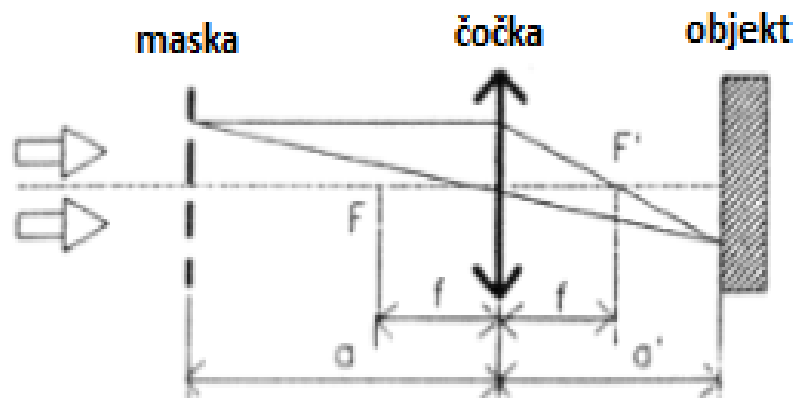
- trvanlivosť voči pôsobeniu tepla, chemikálií, pôsobeniu UV žiarenia
- bezkontaktné značenie (žiadne znečistenie výrobku, nebezpečne deformácie, opotrebenie nástrojov)
- bez použitia farieb, rozpúšťadiel (ekologické hľadisko)
- možno popisovať širokú škálu materiálov (všetky kovy vrátane kovov s povrchovou úpravou, plasty, kompozitné materiály, viacvrstvé materiály) aj materiály s vysokou tvrdosťou (diamant, špeciálnej ocele)
- výrobky môžu byť značené bez predchádzajúcej povrchovej úpravy
- vysoké rozlíšenie značiacich symbolov, rýchlosť a presnosť značenia
- možnosť popisu nerovného povrchu a rotačných súčiastok po celom ich obvode
- jednoduché začlenenie do výrobného procesu (buď ako samostatné pracovisko, alebo súčasť výrobnéj linky)
- ekonomickosť

Nevýhody laserového popisu:

Nie všetky materiály môžu byť značené v rovnakej kvalite (CO₂ laserom (obr.23), nemožno značiť kovy bez povrchovej vrstvy, Nd: YAG (obr.28) laserom nemožno značiť sklo a transparentné materiály), obmedzená farebnosť popisu, vysoké obstarávacie náklady laserového zariadenia.

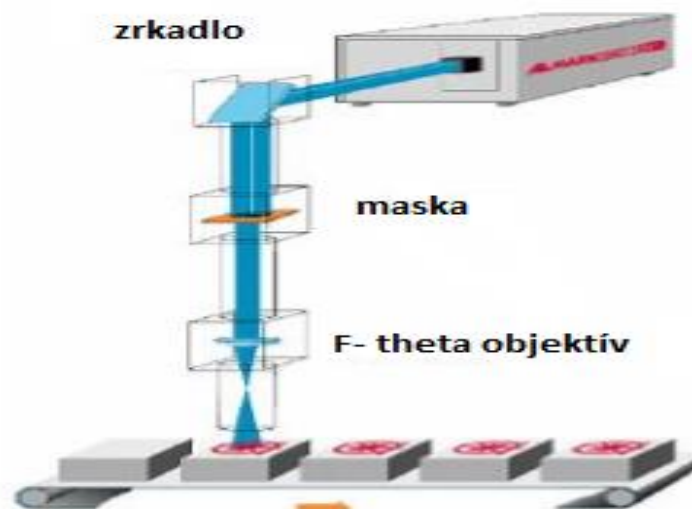
A) Popisovanie materiálu cez masku

U tejto metódy sa používa maska. Hlavnou časťou značkovacieho optického ramena, je maska a zobrazovací element (šošovka, objektív, zrkadlo).



Obr. 32 Hlavné časti značkovacieho optického ramene [13]

Maska je tvorená z mosadze, bronzu alebo ušľachtilej ocele, v ktorej je vyrezaný potrebný znak alebo kód. Lúč lasera osvieti naraz alebo po riadkoch masky, a tým je opis prenesený na výrobok či obal. [8]

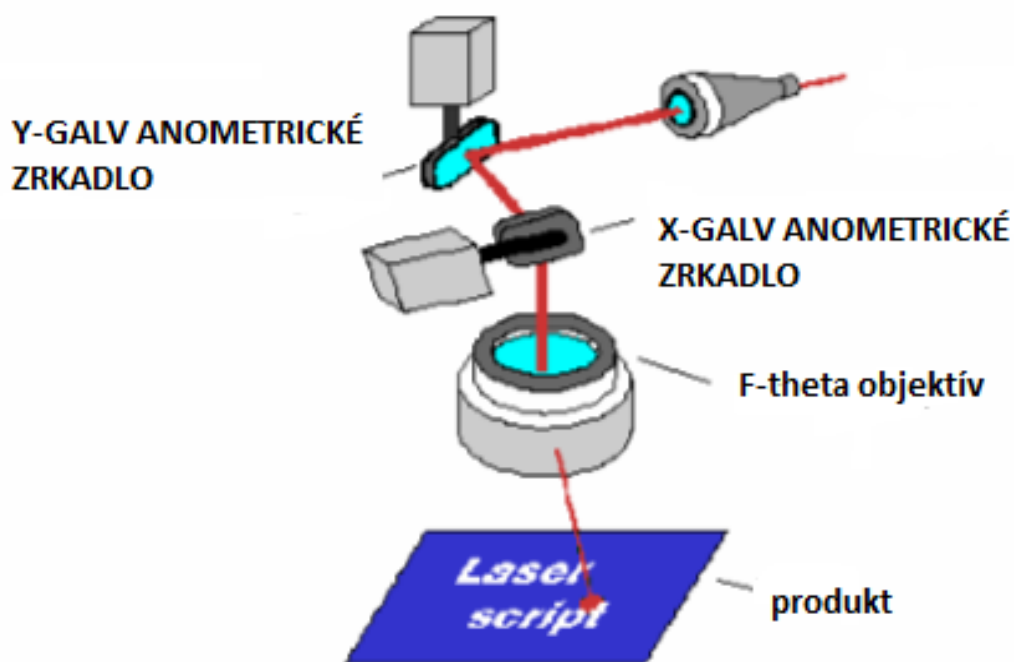


Obr. 33 Schéma laserovej optiky u maskovacej metódy [13]

Medzi výhody tejto metódy patrí jednoduchý popisovací systém, relatívne malé obstarávacie náklady a vysoká rýchlosť popisovania (až 3 000 znakov za minútu). Hlavnými nevýhodami sú malé popisovacie pole (10 až 40mm²), pomerne horšia kvalita popisu, malá flexibilita a vyššie náklady spojené so zmenou opisu, lebo je potrebné vždy vyrobiť a vymeniť celú masku. Metóda je vhodná predovšetkým pre veľké série popisovaných súčiastok. [9]

B) Popisovanie materiálu vychyľovaním lúča laseru

V kontrolnom softvéri sa vytvorí požadovaný symbol popisu, zvyčajne sa navrhne v programoch CorelDraw, CAD / CAM, ktoré ponúka široké možnosti pre tvorbu grafiky, textu, log, čísel. Následne sa nastaví vhodné procesné parametre obrábania. Lúč vychádzajúci z lasera je vychyľovaný dvoma vzájomne kolmými zrkadlami, ktorých pohyby riadi počítač (môžeme si predstaviť vedenie laserového zväzku ako "písanie perom").



Obr. 34 Schéma laserovej optiky u popisovacej metódy vychyľovaním zväzku [13]

Upevnenie zrkadiel a princíp ich vychyľovania je rovnaký ako u galvanomeru. Používajú sa CO₂ lasery o výstupným výkonom 8 až 20 W alebo Nd: YAG lasery s výstupným výkonom 50 až 100 W alebo tiež vláknové lasery. U CO₂ laserov má popisovacie pole väčšinou rozmer 60 x 60 mm a rýchlosť popisovania je maximálne 1 mm / s. U penolátkových Nd: YAG laserov má popisovacie pole veľkosť až 260 x 260 mm, rýchlosť značenia je až 4 m / s. Pre prenos lúča možno použiť vláknovú optiku, čo umožňuje popisovať súčiastky

tiež na málo prístupných miestach. Pri tejto metóde sa dosahuje vysoká kvalita popisu z hľadom na jeho dokonalú čitateľnosť a kontrast. Významnou prednosťou je vysoká operatívnosť a rýchlosť zmeny písaného textu, keďže ide iba o vykonanie zmeny riadiaceho programu prostredníctvom počítača, čím odpadá výroba a výmena masky. [13,8]

Druhy laserového popisu:

Výsledok laserového popisu u polymérnych materiálov nezáleží len na polymérnej matici, ale aj na tých zložkách, ktoré sa obvykle pridávajú pri výrobe polymérového materiálu a významne tak ovplyvňujú jeho vlastnosť. Patrí medzi neretardéry horenia, plnivá, pigmenty, stabilizátory, zmäkčovadlá aj špeciálne prísady pre laserový popis (laserové pigmenty). Nie všetky druhy polymérov možno popisovať s rovnakou výslednou kvalitou. Akosť popisu polyméru v prirodzenom stave je často nedostatočná, preto sa polyméry vyfarbujú na svetlé či tmavé odtiene. Laserové prísady nielen zvyšujú kontrast značenie, ale pozitívne ovplyvňujú aj kvalitu opísanej plochy a zvyšujú rýchlosť značenia. [7]

A) Sublimácia (spenie)

Biele znaky na čiernom podklade sú spôsobené sublimáciou materiálu (obr.35). Je dosiahnutý vysoký kontrast popisu. Keď sa materiál zahreje laserovým žiarením, uvoľní sa z neho plyny, ktoré vytvorí na povrchu materiálu svetlú penu. Pena vystúpi na povrch v hrúbke približne 40µm. Tento typ popisu môže byť menej odolný voči mechanickému opotrebovaniu. [7]



Obr. 35 Laserový popis sublimácie [13]

B) Karbonizácia

Energia laseru sa mení na tepelnú a tá spôsobí lokálne zahriatie materiálu a následnú karbonizáciu (obr.36), vznikajú tak tmavé alebo čierne značky na svetlom podklade. U tohto efektu je dosiahnutie najväčšieho kontrastu na farebných materiáloch. [7]



Obr. 36 Laserový popis karbonizácie [13]

C) Bielenie

Tento efekt laserového žiarenia vytvára bielu značku na čiernom povrchu. S laserovým žiarením reaguje pigment, nie samotný polymér. Výrazný efekt a kontrast popisu je dosiahnutý prídavkom špeciálnych laserových pigmentov. Všeobecne je ale kontrast nižší ako pri aplikácii iných techník. [13]

D) Odstránenie vrstvy materiálu

Značka sa vytvára v dôsledku odstránenia povrchovej vrstvy materiálu pôsobením výkonnej špičky laserového impulzu fokusovaného infračerveného žiarenia (obr.37). Najčastejšie dochádza k odstráneniu tenkej vrstvy farby z povrchu papiera, kovu alebo plastu, čím sa odhalí kontrastujúca základná povrch. Vhodným príkladom je ovládacie tlačidlo v automobile. Laserom sa odstráni vrchná vrstva tmavého laku na transparentný polymér, ktorý je potom možné podsvietiť. [13]



Obr. 37 Príklad popisu odstránením vrstvy materiálu [13]

E) UV (studené) značenie

Popisovanie UV lasery otvára nové dimenzie u popisovaní plastov. U mnohých materiálov dosahujú UV lasery výrazne kontrastného, čistejšieho a jemnejšieho popisu s vyššími rýchlosťami obrábania. Energia krátkovlnného UV svetla vedie k fotochemickej reakcii, ktorá umožňuje studené obrábanie materiálov.



Obr. 38 UV svetla [14]

Na niektorých plastových materiáloch nedochádza vôbec k narušeniu povrchu. Studené značenie teda umožňuje popis úplne bez typickej tepelnej deštrukcie okolo značenej oblasti a bez opálenia okolia značenia. Nemusí tu dochádzať k fenoménu hĺbkovej tepelnej penetrácie, umožňujúcemu odstránenie materiálu odparením. Týmto spôsobom je možné obzvlášť dobre popisovať plasty chránené proti vzplanutia, ktoré sa používajú v elektronickom priemysle ako materiály na kryty. [14,15]

F) Gravírovanie laserom

Zmenou parametrov lasera možno spojitou prechádzať od povrchového popisu v hĺbke materiálu až po laserové gravírovanie do väčšej hĺbky (obr.39). Gravírovanie sa používa pre vytváranie jednoduchých i veľmi zložitých 3D reliéfov (obr.40), predovšetkým do kalených ocelí. Keramických materiálov, dreva, gummy. Podstatou metódy je odparovanie materiálu v mieste, kde pôsobí lúč lasera. Pre gravírovanie do kovových a keramických materiálov sa používajú predovšetkým Nd: YAG lasery (obr.28) alebo vláknové lasery, pre gravírovanie do dreva a gummy sú vhodné CO2 lasery (obr.30). [8]



Obr. 39 3D Gravírovanie laserom, otisknutie obrázku [8]



Obr. 40 3D Gravírovanie laserom, dutina obrázku [8]

G) Gravírovanie skla

Dekorácia skla laserom je istou modifikáciou laserového rezania. V mieste dopadu fokusovaného žiarenia lasera na povrch skla dôjde k čiastočnému odpareniu skloviny ak jej povrchovému popraskaniu. Na vzniknutých trhlinách dochádza k rozptylu svetla, a tým sa docieli žiarivý vzhľad dekorácie (obr.41). Pre dekoráciu skla sa využíva laser, ktorých žiarenie je sklom dobre absorbované, CO2 lasera. Novinkou v dekorácii skla laserom je priestorový popis do skla. Vysoko efektne trojrozmerné objekty sa v skle vytvára, za pomoci pulzných Nd: YAG laserov (obr.28) o výkone v pulzu až 1 MW. 3D laserové gravírovanie je špeciálna metóda, ktorá nám umožňuje vytvárať rôzne typy obrázkov v troch dimenziách do krištáľových kociek. Laserový lúč preniká stenou kocky a v určenom mieste mení štruktúru krištáľu vytvorením tisícov drobných rytín, z ktorých sa hotový obraz skladá. Predlohy sa navrhujú pomocou modelovacieho 3D programu. [8,16]



Obr. 41 Ukážka 3D laserového gravírovania [16]

H) Laserové textúrovanie

Týmto spôsobom sa textúrujú povrchy (obr.42) valcov na zdrsňovanie povrchov oceľových plechov. Používa sa napríklad u tlačiarenských valcov, na dekoráciu predmetov alebo u ohýbadiel s cieľom zvýšenia ich životnosti. Vzorov môže byť celá rada. Táto aplikácia je ďalšia odnož laserového gravírovania. [6]



Obr. 42 Laserové textúrovanie [16]

I) Laserové žíhanie

Niektoré kovy majú pri zahriatí farbu žíhania. Farba značne závisí na teplote, na ktorú je zahrievaná. Farebné žíhané popisy možno vytvoriť tak, že laserový lúč zahreje obrobok tam, kde má vzniknúť označenie, na určitú teplotu. Pri tom vzniknú na povrchu oxidačnej vrstvy, ktorých vlastnosti určujú farebný dojem (obr.43). [10]



Obr. 43 Laserové žíhanie [10]

PRAKTICKÁ ČASŤ

3 CIELE DIPLOMOVEJ PRÁCE

Cieľom práce je porovnanie technologických podmienok pri laserovom obrábaní a obrábanie CNC.

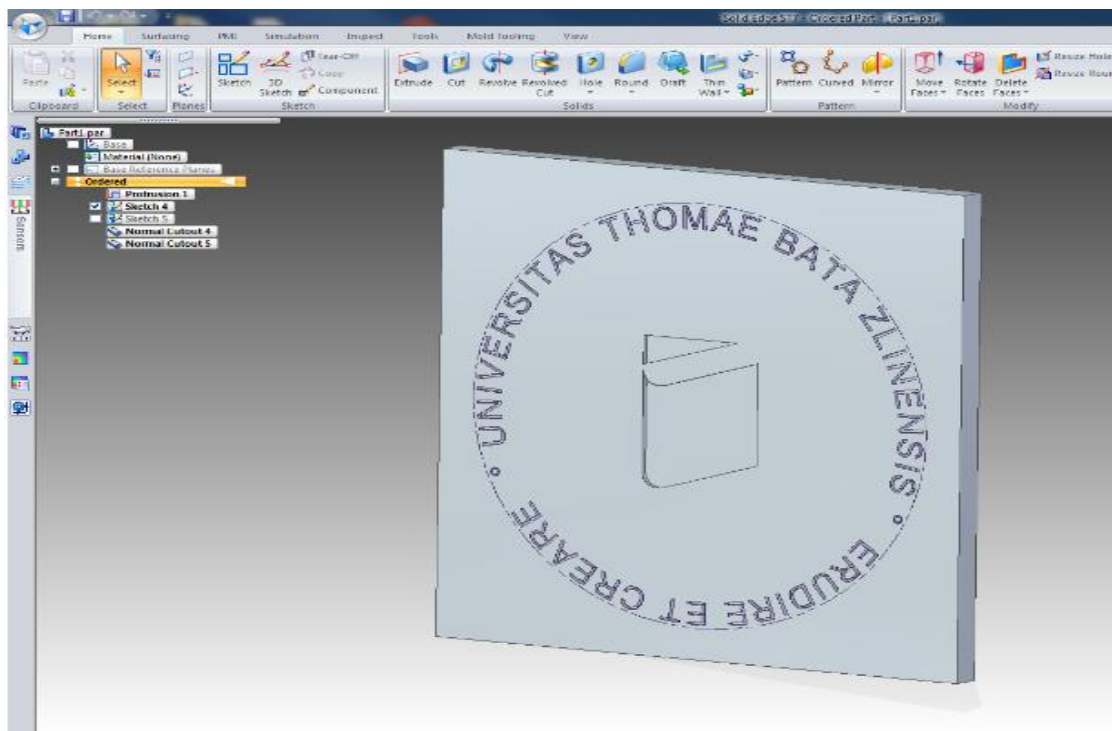
V praktickej časti sa zaoberám porovnávaním technológie, laserového obrábania laserom ILS 3MN a obrábaním CNC frézku HAAS EC-400. Pri každej vyrobenej vzorke budem porovnávať a vyhodnocovať pracovné podmienky, aby som zistil, ktorý druh obrábania je ekonomicky výhodnejší. Pri každej vzorke meriam čas spustenia výrobného programu obrábania až do jeho ukončenia.

4 NÁVRH VÝROBNEJ DOKUMENTÁCIE

4.1 Tvorba súboru pre výrobu súčiastky pomocou CAD software

Aby sa mi zhodovali vzorky na laseri a frézke, tak som v SolidEdge softwere vytvoril vektorový súbor a vytvorený 3D model (obr.44) som preniesol do SolidWorks softweru ktorý spolupracuje s mojou frézku HAAS EC - 400 a tam som podľa neho vytvoril program na frézku.

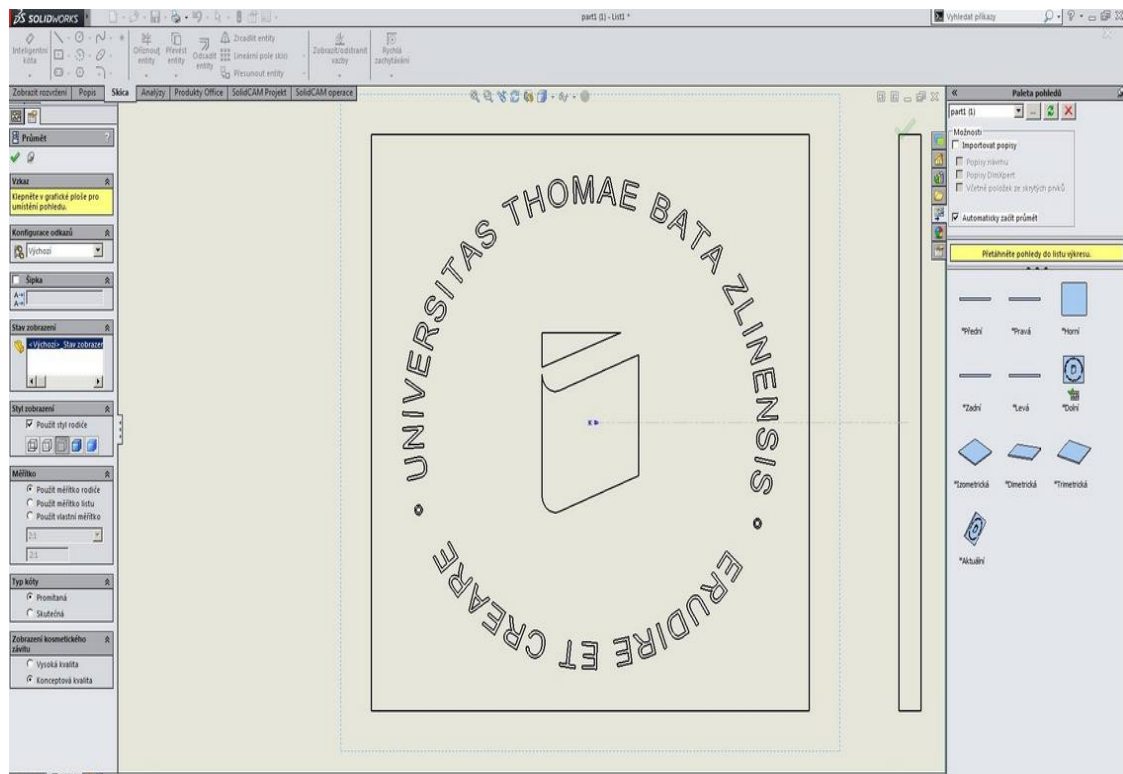
Zo SolidEdgu vektorový súbor v 2D dokumente, ktorý som uložil v CorelDrawevo verzii (2000) formátu DXF, ktorý som uložil kvôli tomu, aby sa načítal aj na laseri ILS 3 NM.



Obr. 44 3D pohľad z programu SolidEdge

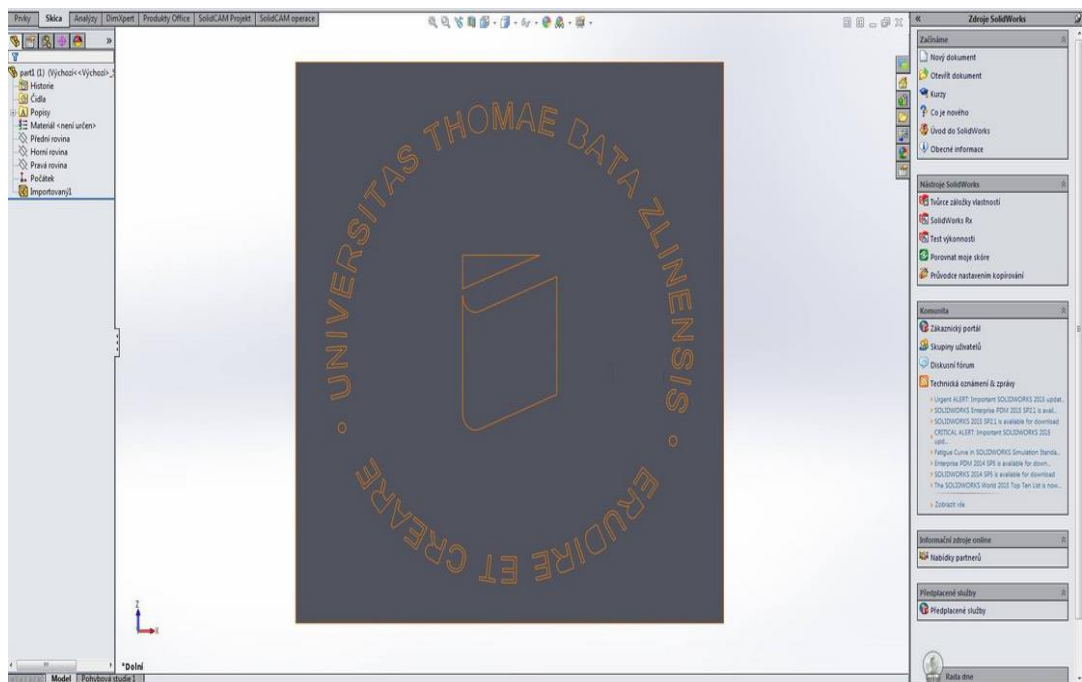
Tvorba 2D výkresu súčiastky

Program SolidWorks, (obr.45) 2D pohľad, ktorý som si otvoril z 3D dokumentu a vytvoril som program po jednotlivých bodoch tak, aby mi boli rozmery zhodné ako na laseri ILS 3 NM (obr.64).

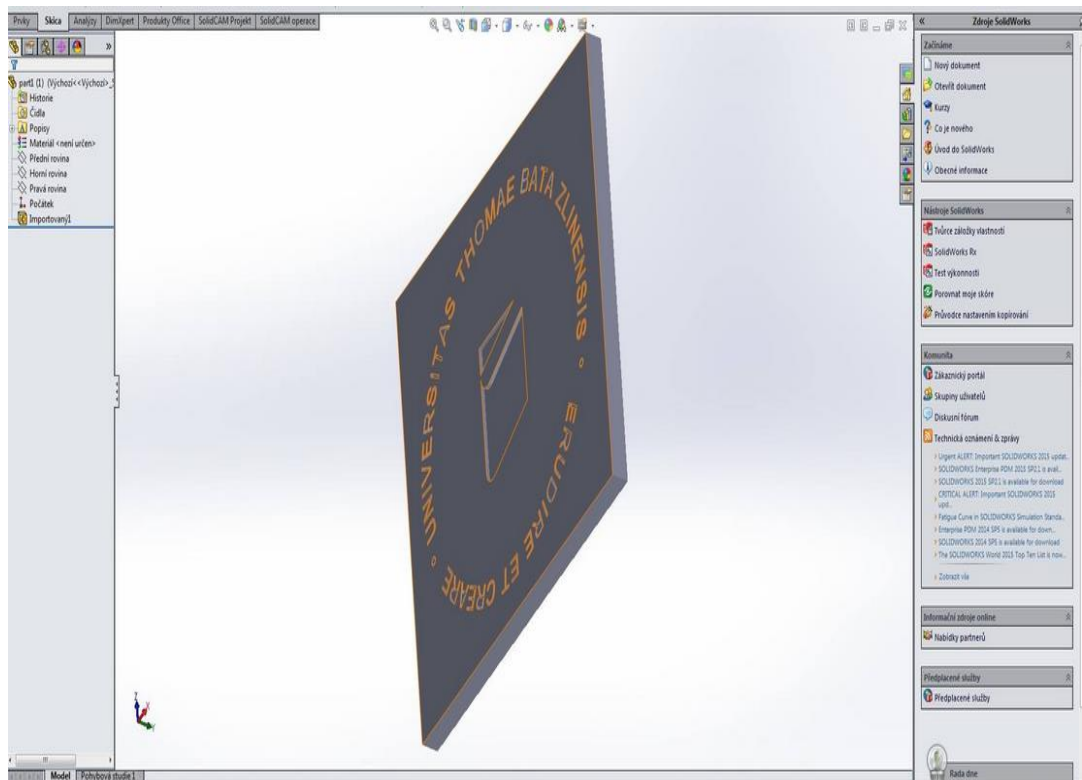


Obr. 45 Vytvorený 2D pohľad

Zobrazenie 3D pohľadu (obr.46) a (obr.47)



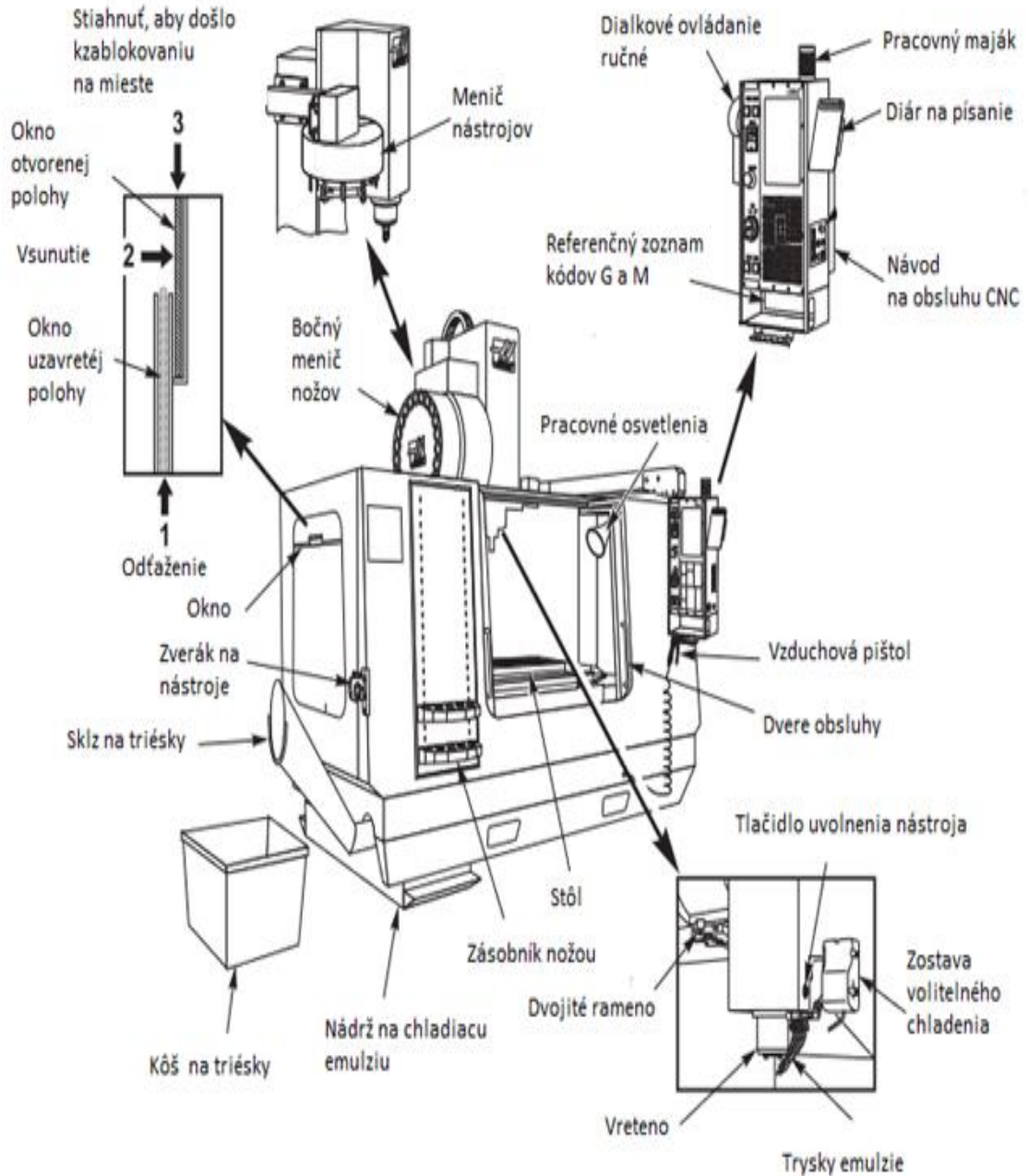
Obr. 46 3D pohľad a)



Obr. 47 3D pohľad b)

4.2 Definícia práce na frézke HAAS EC-400

Časti frézky HAAS na ktorej som pracoval (obr.48). Niektoré z podstatných prvkov budú zdôraznené vo svojich príslušných oddieloch.

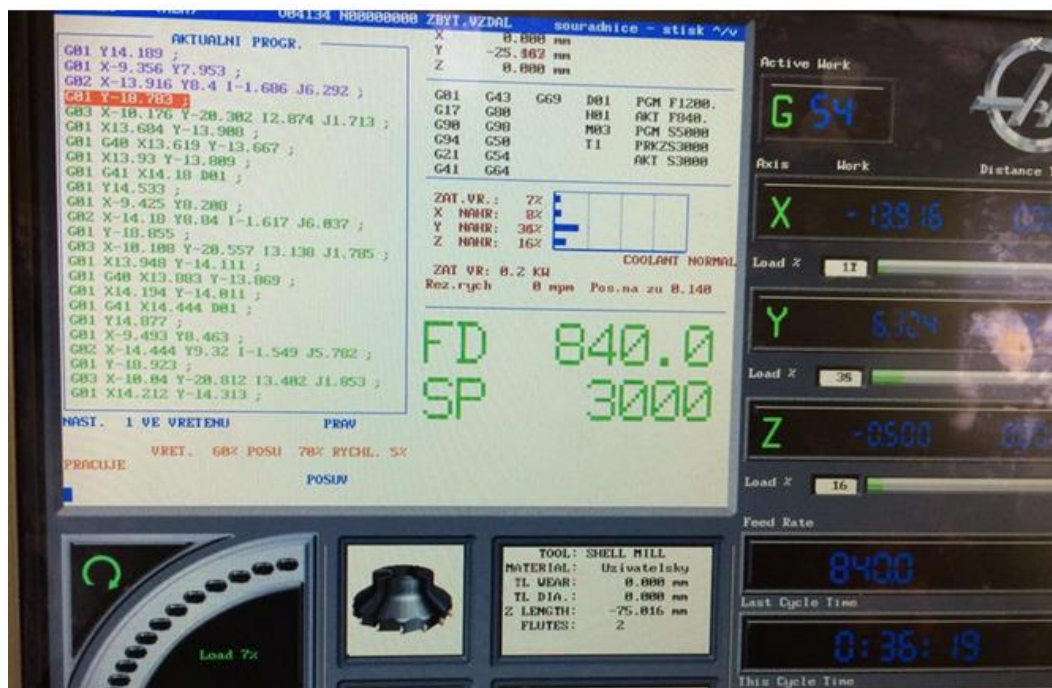


Obr. 48 Jednotlivých častí frézky [17]

Tab. 2 Základné technické údaje [17]

ZÁKLADNE TECHNICKÉ ÚDAJE		
Pracovný rozsah stroja	mm	X=508
		Y=508
		Z=508
Presnosť polohovania	mm	0,005
Opakovateľná presnosť polohovania	mm	0,003
Rozmer palety	mm	400x400
Zaťaženie stola	kg	454
Pohon vretena	kW	22,4
Maximálne otáčky nástroja	ot/min	12 000
Kapacita zásobníka nástrojov		40+1
Riadiaci systém HAAS CNC (FANUC)		

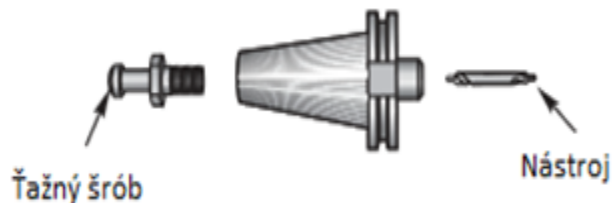
Prekonvertovaný program do frézky HAAS EC - 400 a upravený do Iso programu zo SolidWorksu, ktorý som si upravil (obr.49). Celý Iso program na frézku nájdeme na CD v prílohe I.



Obr. 49 Náhľad ISO programu vo frézke

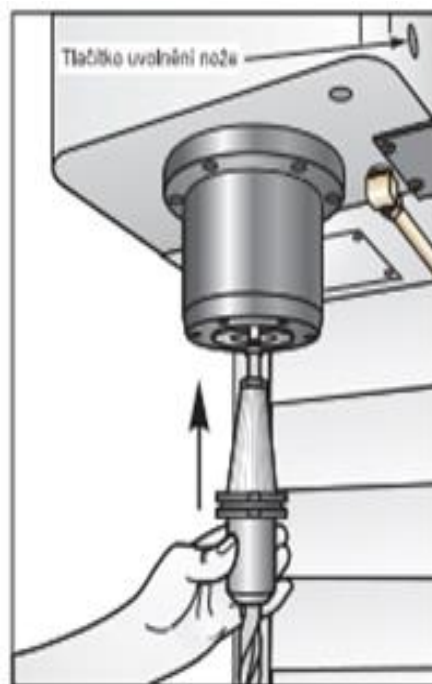
Sústava držiaku nástroja

Držiaky nástrojov a ťažne skrutky musia byť v dobrom stave a upevnené dohromady pomocou kľúča na matice, inak sa môžu upchať vo vretenne. Očistené telo držiaku nástroja (časť, ktorá sa vkladá do vretena) ľahko naolejovanou handrou, aby bol zanechaný film, ktorý bude brániť korózií (obr.50).



Obr. 50 Sústava držiaku a nástroja [17]

Vezmem nástroj do jednej ruky a vložím ho do vretena (ťažnou skrutkou dopredu). Natočíme nástroj tak, že dva výrezy v držiaku nástroja budú lícovať s drážkou vo vretenne. Tlačím nástroj hore a súčasne stlačím tlačidlo ToolRelease (uvoľnenie nástroja). Keď je nástroj upevnený vo vretenne, pustím tlačidlo uvoľnenie nástroja (obr.51).



Obr. 51 Uvoľnenie a vkladanie nástroja [17]

Upnutie polotovaru

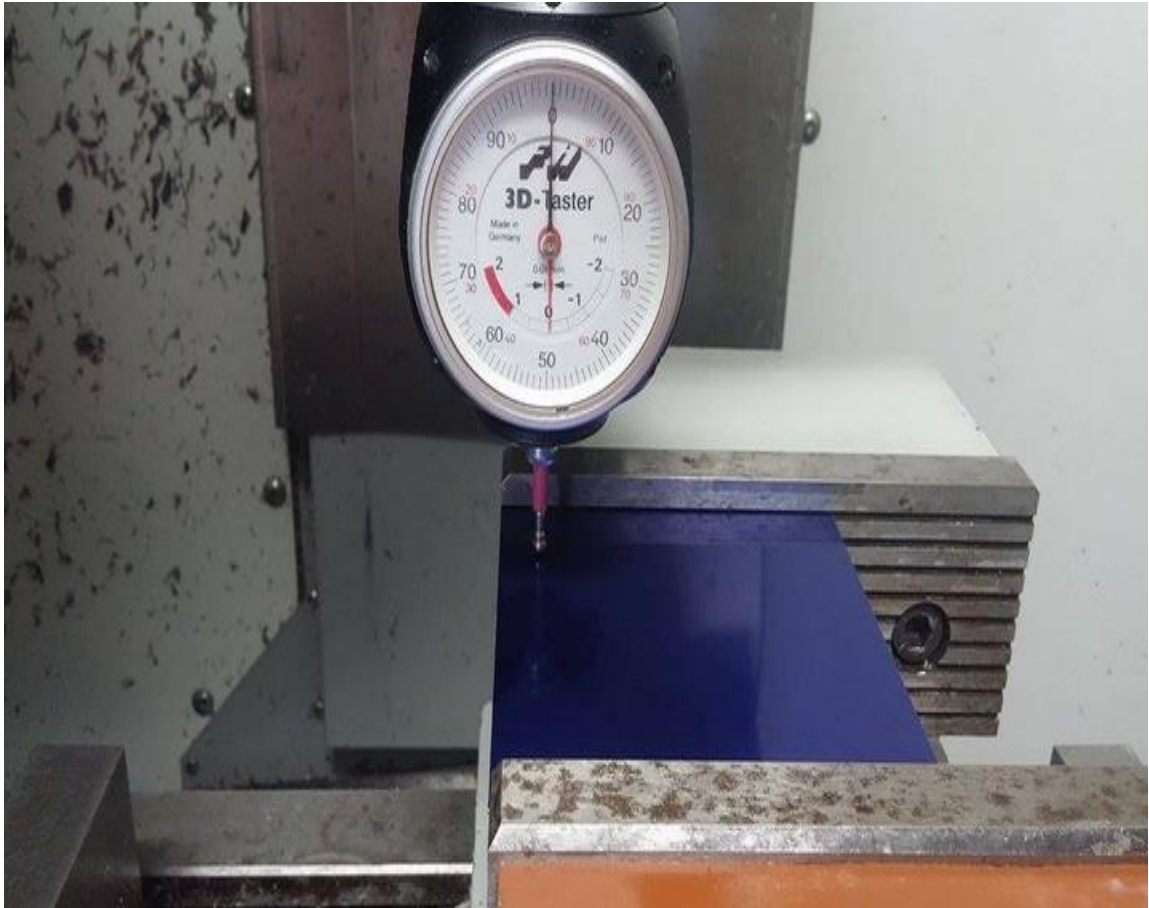
Pri gravírovaní na frézke si musím zvoliť presný postup práce a tam pripadá aj upnutie polotovaru. Polotovar musí byť upnutý bezpečne a pevne, aby pri gravírovaní mal ustálenú polohu. Zvolil som upnutie polotovaru pomocou pracovného zveráku na pracovnom stole (obr.52). Pracovný zverák do ktorého umiestnim podložky ktoré slúžia na stabilnú polohu vzorky ktorú budem gravírovať.



Obr. 52 Pracovný zverák

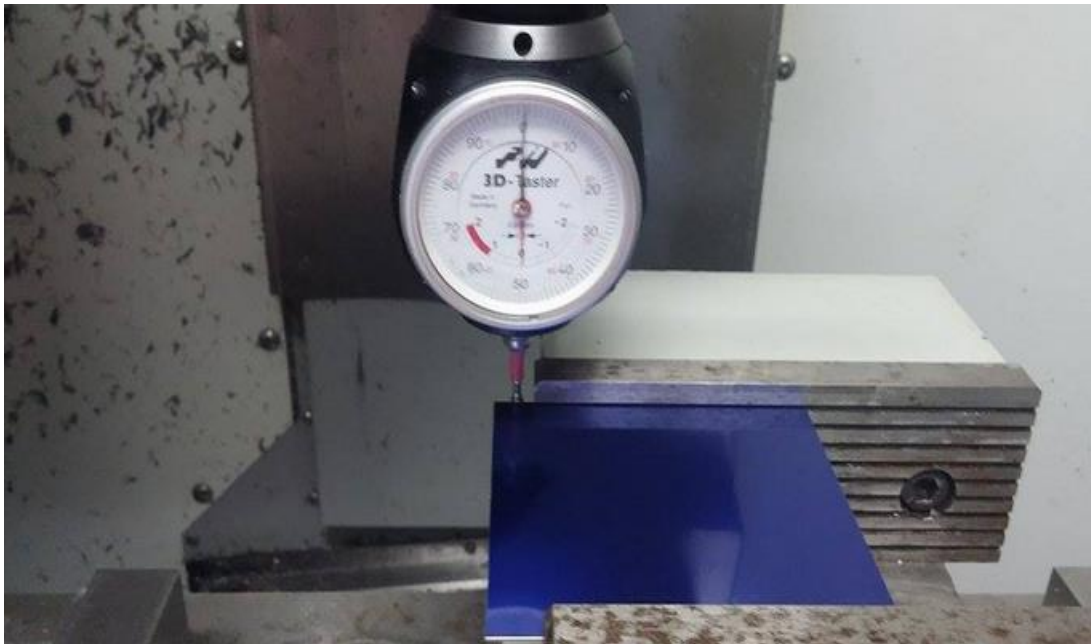
Nastavenie Ofsetu

Aby mohla fréza presne opracovávať obrobok, musí vedieť, kde sa obrobok na stole nachádza. Manipulátorom pomalého posuvu presuniem 3D sondu s indikátorom až tak ďaleko, až sa dotkne ľavého horného rohu obrobku (obr.53). Táto poloha je nulová poloha obrobku. Hodnoty budú vložené do G54 na stránke pracovného ofsetu.



Obr. 53 Nastavenie pracovného ofsetu osi Z s 3D sondou

Odchyťovanie 3D sondy na boku skúšobnej vzorky na osiach X a Y (obr.54).



Obr. 54 Nastavenie pracovného offsetu osi X a Y s 3D sondou

Nastavenie offsetu nástroja

Ďalším krokom je vykonať skúšobný posuv nástroja. Určuje to vzdialenosť medzi hrotom nástroja a vrchnou časťou obrobku. Ďalší názov je Ofset dĺžky nástroja, vzdialenosť pre každý nástroj je vložená do tabuľky offsetu nástrojov (obr.55).



Obr. 55 Odchyťovanie hrotu nástroja

Výroba vzorky č.1 (obr.56) na frézce HAAS EC – 400 je z materiálu PMMA (Polymetylmakrylát) pri tomto spôsobe gravírovania som gravíroval ako prvý stred ktorý trval 22 min. 3 s. potom s frézou s priemerom 4 mm som vyfrézovala plochu s rozmerom 100 x 100 mm ktorá bola v čase 7 min. 3 s. Kde boli rezné podmienky :

Gravírovanie :

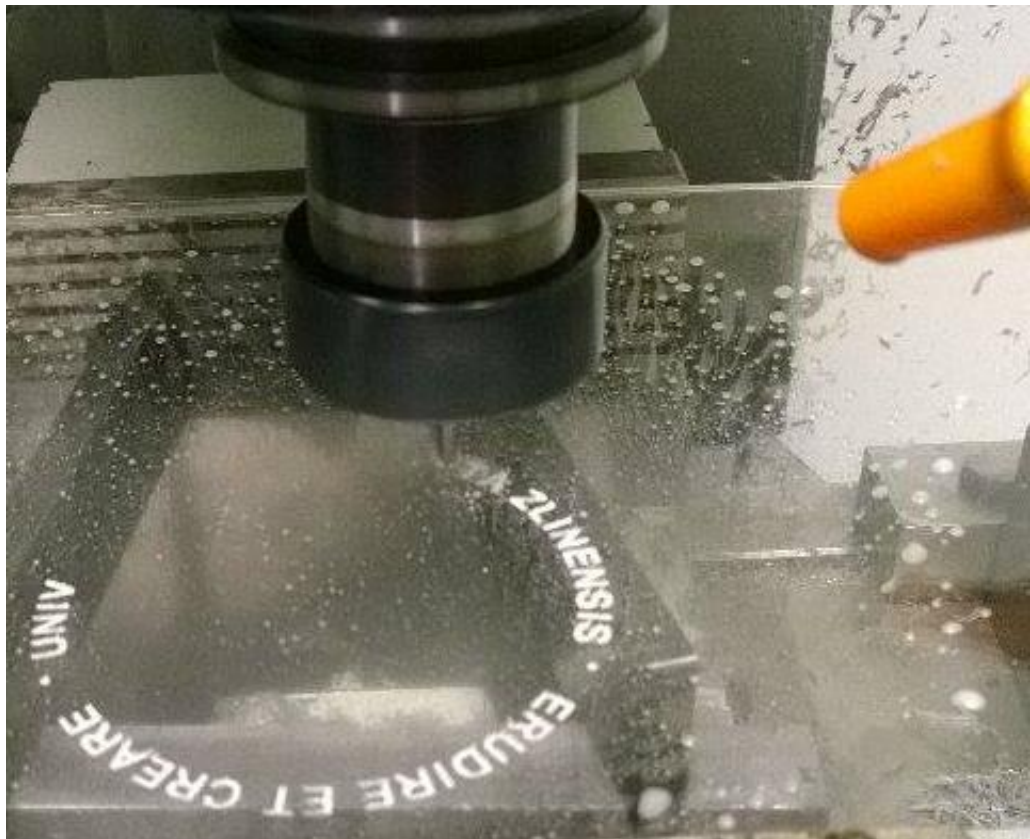
S 5250 ot/min

F 830 mm/min

Frézoavanie plochy 100 x 100 mm:

S 5000ot/min

F 200 mm/min



Obr. 56 Vzorka č. 1 PMMA (Polymetylmakrylát)

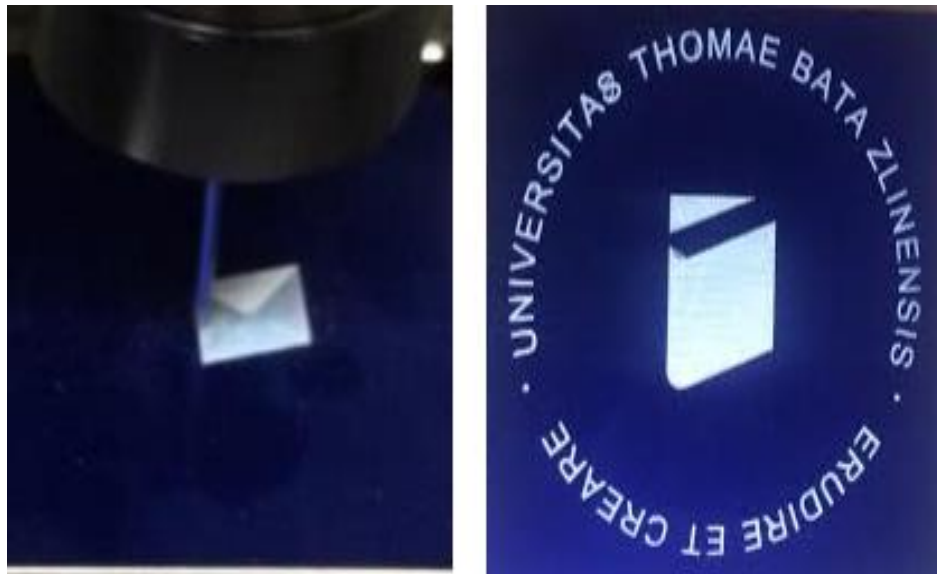
Výroba vzorky č. 2 (obr.57) na frézce HAAS EC – 400 je z materiálu elaxovaný hliník. Eloxovanie čiže eloxace je druh chemicko - tepelnej povrchovej úpravy výrobkov z hliníka (skratka ELectrolytická oxidáciou hliníka). Spočíva vo vytvorení ochranej vrstvy oxidu hliníka na upravovanom povrchu. Táto vrstva už ďalej neoxiduje, a tým pred oxidáciou chráni aj samotný hliník. Používa sa napríklad v leteckej a automobilovej výrobe.

Vzorka bola vygravírovaná v čase 27 min. 17 s. Kde boli rezné podmienky :

Gravírovanie :

S 4500 ot/min

F 700 mm/min



Obr. 57 Vzorka č. 2 elaxovaný hliník

4.3 Definícia práce na laseri ILS 3NM

Laserový systém ILS 3 NM (Obr.58) je zariadenie vhodné pre gravírovanie a rezanie organických materiálov ako je drevo, akryl, kov, sklo, guma, koža, mramor / kameň, tkaniny, vinylové, laminované plasty a plastové fólie. [8] Kompaktný dizajn tohto laserového pracoviska predstavuje ideálnu voľbu pre aplikácie, kde sa vyžaduje kvalitné značenie. ILS 3 NM sa pripája rovnako jednoducho ako laserová tlačiareň (USB, paralelný port, LAN), je plne kompatibilný s Microsoft Windows. Zdrojom laserového žiarenia je CO₂. Splňa podmienky pre zaradenie do triedy bezpečnosti 1. Rozmer pracovnej plochy je 660 mm x 495 mm (formát A3-A0). Laser ILS 3 NM zvládne malé aj veľké množstvo akejkoľvek Windows grafiky ako je obraz, logo alebo text. To všetko prevedie na už vyššie spomínané druhy materiálov. Môže teda fungovať ako značenie na rôzne darčkové predmety, štítky na trofejách, suveníry, tesnenia a ďalšie položky. Na trhu sa objavuje toto zariadenie v troch výkonových variantoch (30W, 60W a 100W). V našom prípade stanovujem rezné podmienky na laseri ILS 3 NM o výkone 100W.



Obr. 58 Laser ILS 3 NM [18]

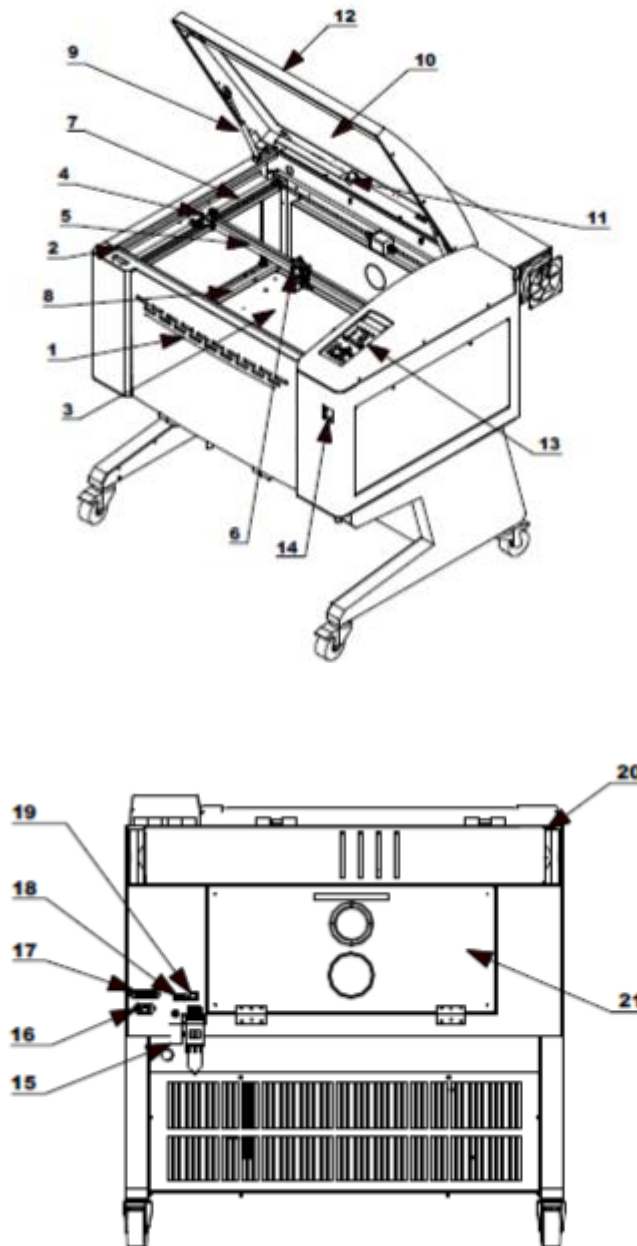
Technické parametre lasera ILS 3 NM

V nižšie uvedenej tabuľke sú uvedené presné technické parametre laserového zariadenia ILS 3 NM. A tiež možnosti prídavných zariadení.

Tab. 3 *Technické parametre lasera ILS 3 NM*

ILS 3NM	
Výkon	100 W
Aktívne prostredie	plyn - CO ₂
Pracovný režim	kontinuálny, pulzný
Chladienie	vzduchové
Pracové pole (najväčšírozmer materiálu)	660mm(D) x 495mm(Š) x 200mm(V)
Os Z	210mm
Rozlíšenie	1000DPI, 500DPI, 333DPI, 250DPI, 200DPI, 166DPI
Vlnová dĺžka	10,6µm
Riadenie rýchlosti posuvu	nastavitelné od 1mm/s do 1524mm/s
Riadenie výkonu lasera	nastavitelné od 0% do 100%
Nastavenie ohniskovej vzdialenosti	automatické, manuálne
Operačné metódy	rastrové gravírovanie, vektorové rezanie
Komunikačné rozhranie	
Software	kompatibilný so software pre Microsoft Windows (AutoCAD, Corel)
Integrovaná pamäť (buffer)	USB, LPT1, LAN
Displej zobrazuje	zoznam vzorov, sila lasera, gravírovacia rýchlosť, čas priebehu, načítané súbory, nastavenia a diagnostika stroja
Napájanie	110/220V AC, 20/10A, 50/60 Hz
Vnútorne rozmery	970mm(D) x 865mm(Š) x 990mm(V)
Hmotnosť	230Kg
Bezpečnostný štandard	trieda 1
Príslušenstvo	odsávanie splodín, kompresor, rotačné zariadenie doska pre rezanie (s odsávaním / bez odsávania), prípravok pre tvorbu pečiatok

Na (Obr.59) sú číselne označené jednotlivé časti laserového zariadenia ILS 3 NM.



Obr. 59 Popis laserového zariadenia ILS 3 NM [18]

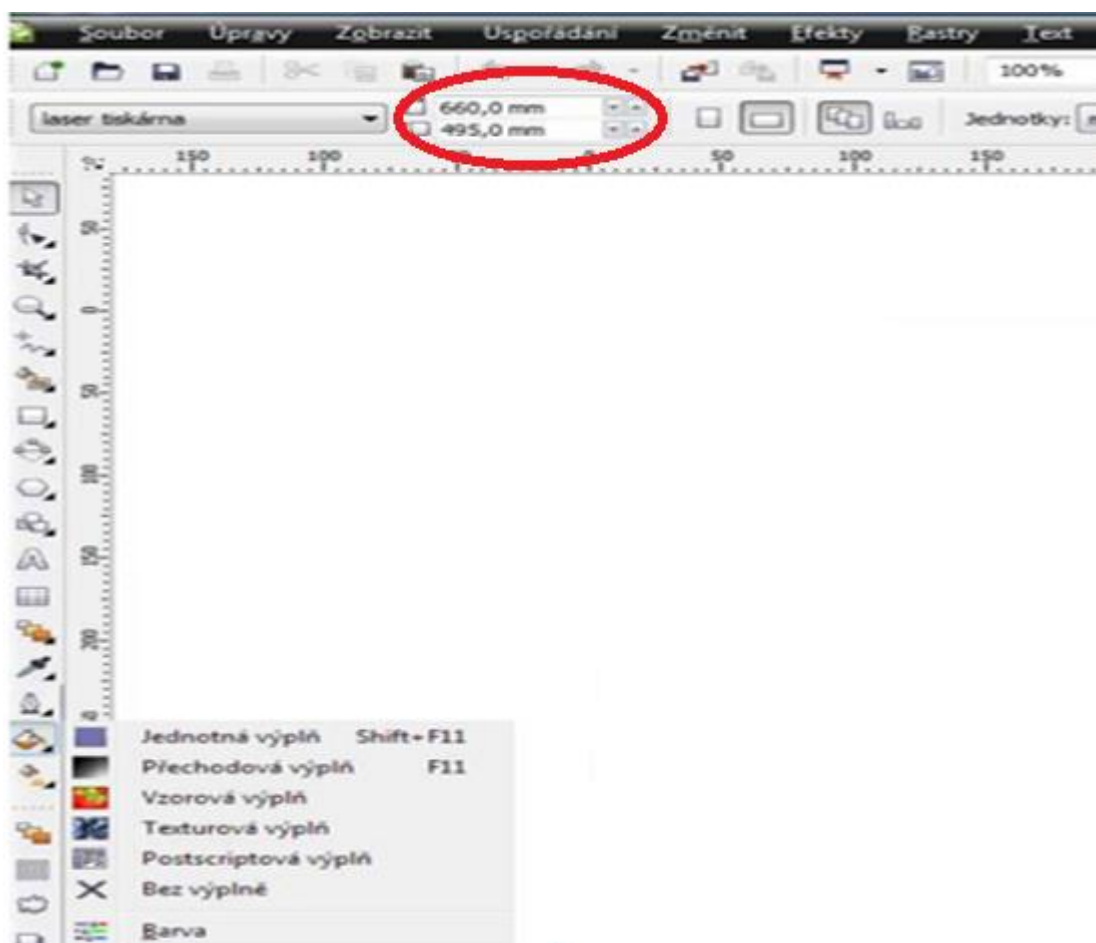
Obr.68: 1) predné dvierka, 2) zámok, 3) pracovný stôl, 4) reflektor, 5) rameno osi X, 6) zameranie šošovky, 7) rameno osi Y, 8) pravítko, 9) držanie dvierok, 10) okno dvierok, 11) osvetlenie, 12) horné dvierka, 13) ovládací panel, 14) hlavný vypínač, 15) poistka, 16) vstupné napájanie, 17) paralelný port, 18) sériový port, 19) port LAN, 20) chladiaci ventilátor, 21) zadné dvierka.

Import obrázku

Vopred pripravený obrázok v rastrovom formáte je možné vložiť do programu CorelDRAW. Po vložení sa však už nedá ďalej upravovať. Veľmi dôležité je, aby obrázok bol v dobrom rozlíšení (väčšia ako 96 dpi) a vo farbách, ktoré laser dokáže prečítať (podrobnejšie popísané v kapitole 4.3 Farebné rozlíšenie). Do programu ho vložíme kliknutím na paneli na ponuku **Súbor** → **Importovať** a vyberieme umiestnenie.

Nastavenie veľkosti pracovnej plochy

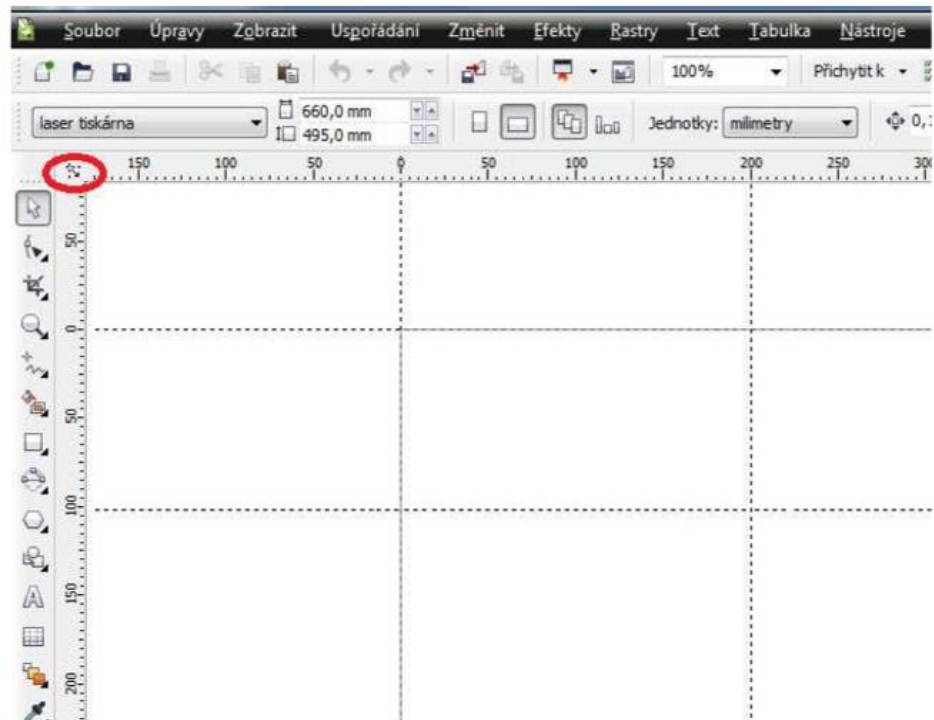
Na začiatku práce je potrebné vždy presne zadefinovať veľkosť pracovnej plochy lasera, do ktorej budeme umiestňovať vybraný obrázok či kresliť. V našom prípade je veľkosť pracovného stola 660 mm x 495 mm. Ak sme nezadali rozmery pri vytváraní nového dokumentu, vykonáme zmenu rozmerov kliknutím na voľné miesto na bielej ploche a vypíšeme hodnoty do riadkov (Obr. 60).



Obr. 60 Veľkosť pracovnej plochy

Definovanie začiatku pracovnej plochy

V dôsledku prehľadnosti a presnosti je lepšie zadať počiatok pracovnej plochy. Súradnice bodu [0,0] vytvoríme pretiahnutím ikonky na požadované miesto pracovnej plochy. Pretiahnutím zvislého a vodorovného pravítka môžeme vytvoriť pomocné čiary, ktoré nám pomôžu pri práci a nadefinované polohy a rozmerov polotovaru (Obr.61).



Obr. 61 Počiatok pracovnej plochy

Farebné rozlíšenie

Laser ILS 3 NM používa osem farieb:

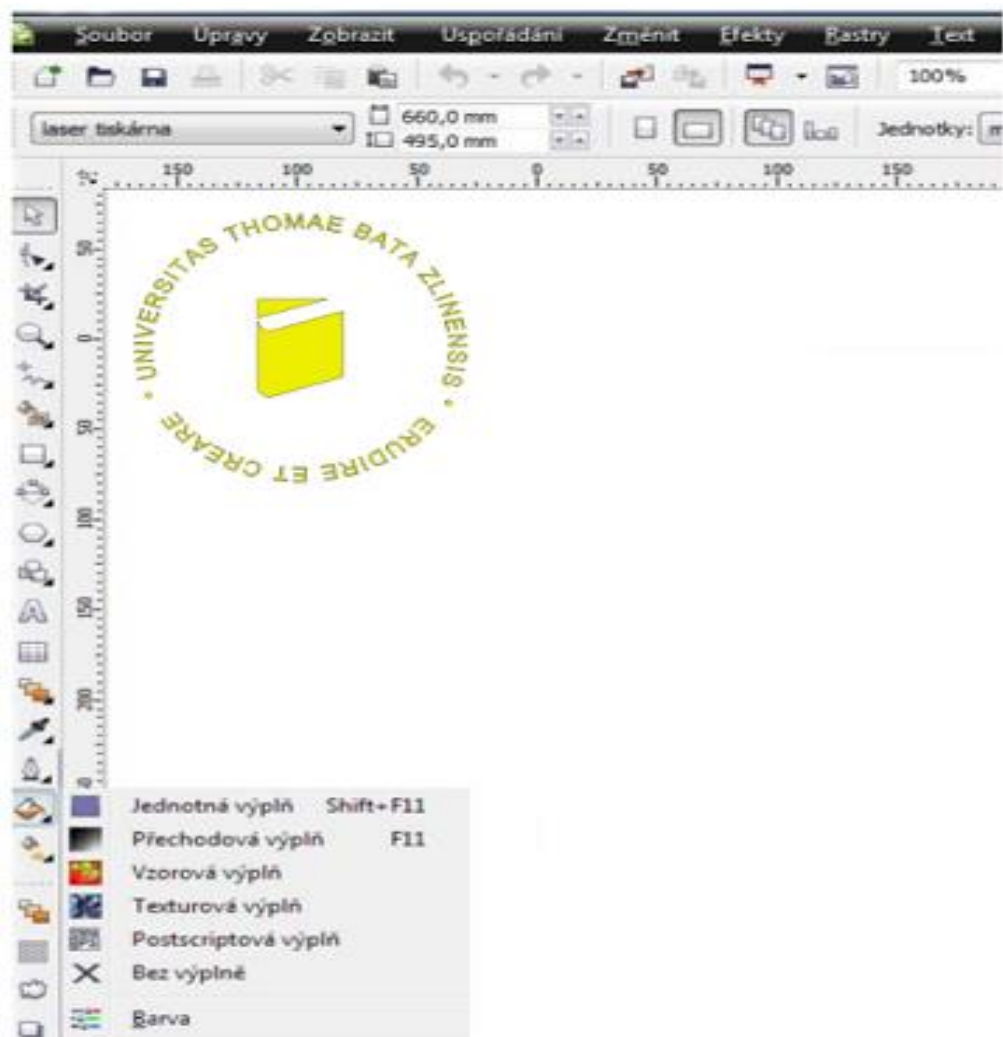
- čierna
- červená
- zelená
- žltá
- modrá
- purpurová
- azúrová
- oranžová

V grafickom programe môžeme používať iba tieto farby, pretože ostatné druhy farieb nie je laser schopný prečítať. Aby nedošlo k zámene farieb. Účel týchto farieb môže byť rôz-

ny. Ak chceme napríklad vyrezávať rôzne oblasti materiálu o rôznych hĺbkach, alebo ušetriť čas a vytvoriť tak naraz niekoľko kópií, prípadne ak chceme niektoré oblasti rezať a iné gravírovať. V neposlednom rade možno aj pomocou farieb rozlíšiť oblasti s rôznymi reznými podmienkami a tým zistiť ideálne rezné podmienky pre zvolený materiál.

Gravírovanie laserom

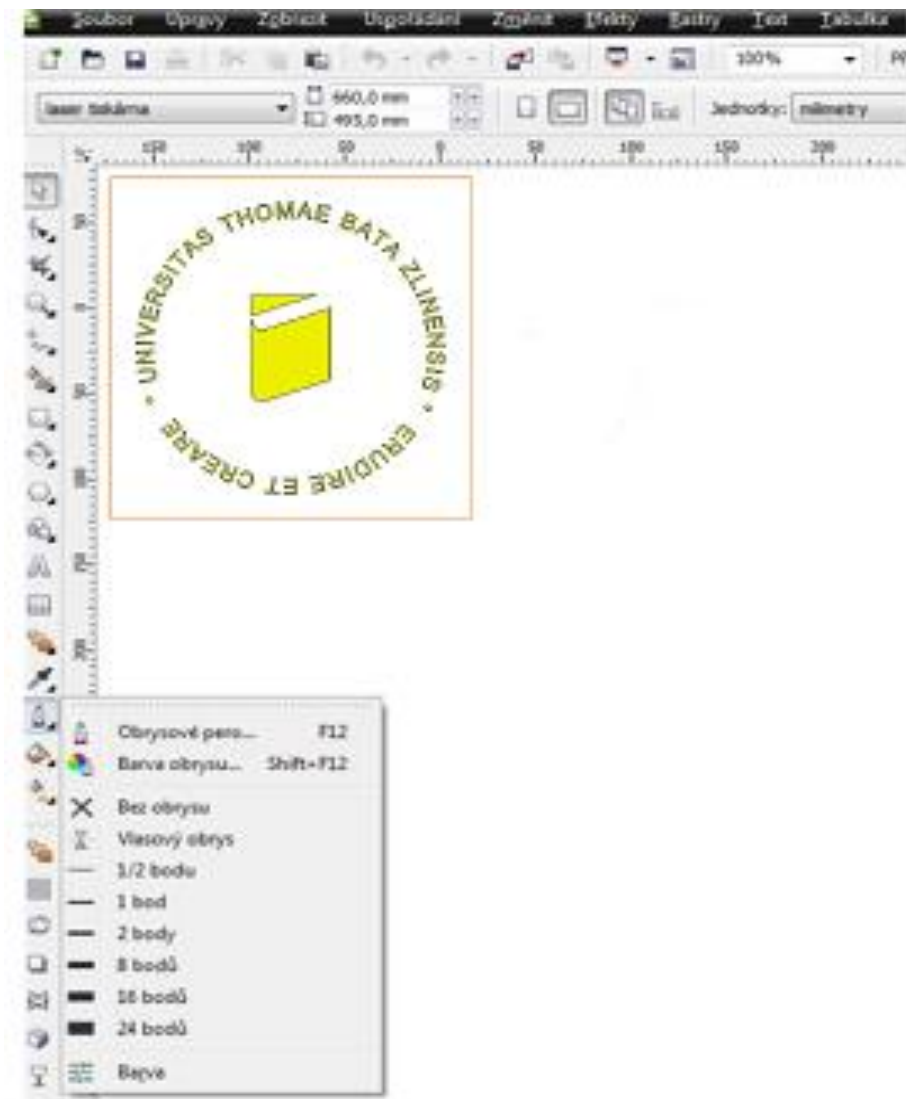
Ak chceme pripravený obrazec gravírovať, treba vyplniť objekt jednotnou výplňou. Klikneme na **Nástroj výplň** → z ponuky vyberieme **Jednotnú výplň** → priradíme rezné podmienky, ku ktorej máme priradené 25 % výkon a 100 % rýchlosť v mojom prípade je to čierna a žltá farba, (Obr.62) pomocou príkazu **Farba**. Krivka pri gravírovaní musí byť uzavretá. Tu je dôležité v ponuke **Obrysové pero** → zvoliť **Bez obrysu**.



Obr. 62 Gravírovanie laserom

Rezanie laserom

Pre proces rezania slúži ikona **Vlasového obrysu**. Vďaka tomuto príkazu bude laser páliť obrys po nakreslenej časti. Vyberieme teda objekt (v našom prípade štvorec), ktorý má byť vyrezaný. Potom klikneme na ikonu **Obrysovú pero** → **Vlasový obrys** a nakoniec zadáme **Farbu obrysu**, ku ktorej máme priradené rezné podmienky 80 % výkon a 6 % rýchlosť v mojom prípade je to oranžová farba (Obr.63). Pre rezanie materiálu laserom nie je vhodné nič iné než **Vlasový obrys**.



Obr. 63 Rezanie laserom

Nastavenie pre laserovú tlač

Laserová tlač sa vykonáva v dvoch režimoch:

- rastrový
- vektorový

Rastrový režim

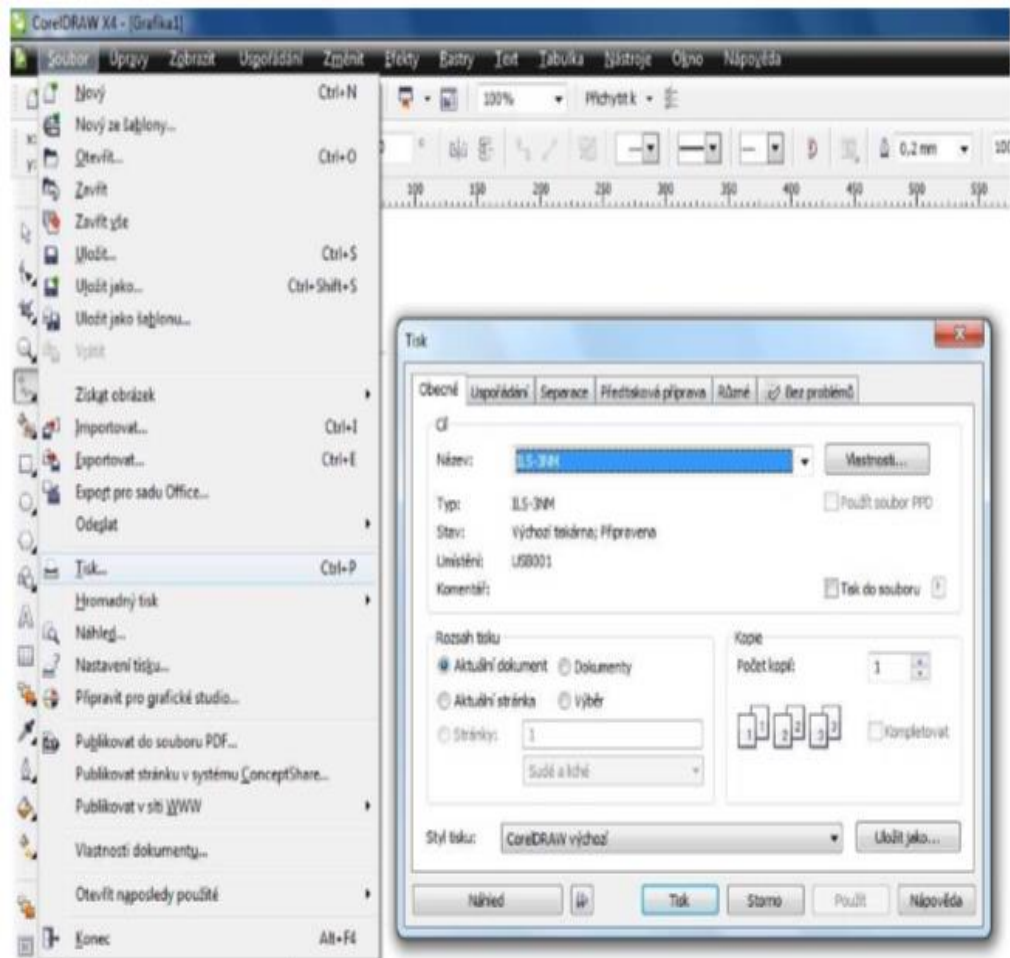
V rastrovom režime sa laser pohybuje sem a tam po pracovnej ploche. Zopína sa iba ak je prítomná grafická oblasť. Ak je v priestore obsiahnutá biela farba, tak sa vypne. Používa sa pre gravírovanie. Ak chceme napríklad vytvoriť obrys štvorca, musí laser prechádzať sem a tam až tisíckrát. Z celkovej doby pohybu pritom zopne len veľmi málo.

Vektorový režim

Vo vektorovom režime laser páli konkrétnu cestu definovanú grafickým programom. Používa sa pre vypaľovanie. Keď je dráha štvorec, laser vypáli iba trajektóriu obrysu. Z týchto dvoch ponúkaných režimov je vektorový režim oveľa rýchlejší ako rastrový. Pri vytváraní súboru je rastrová grafika vytvorená ako prvá a potom nasleduje vektorová grafika. V praxi to vyzerá, že u štvorca s obrysom a výplňou sa najskôr vygravíruje vnútro a potom laser obide obrys štvorca. V prípade, že sa v grafickom programe prekrývajú dva rastrové obrázky.

Odoslanie súboru do ILS 3 NM

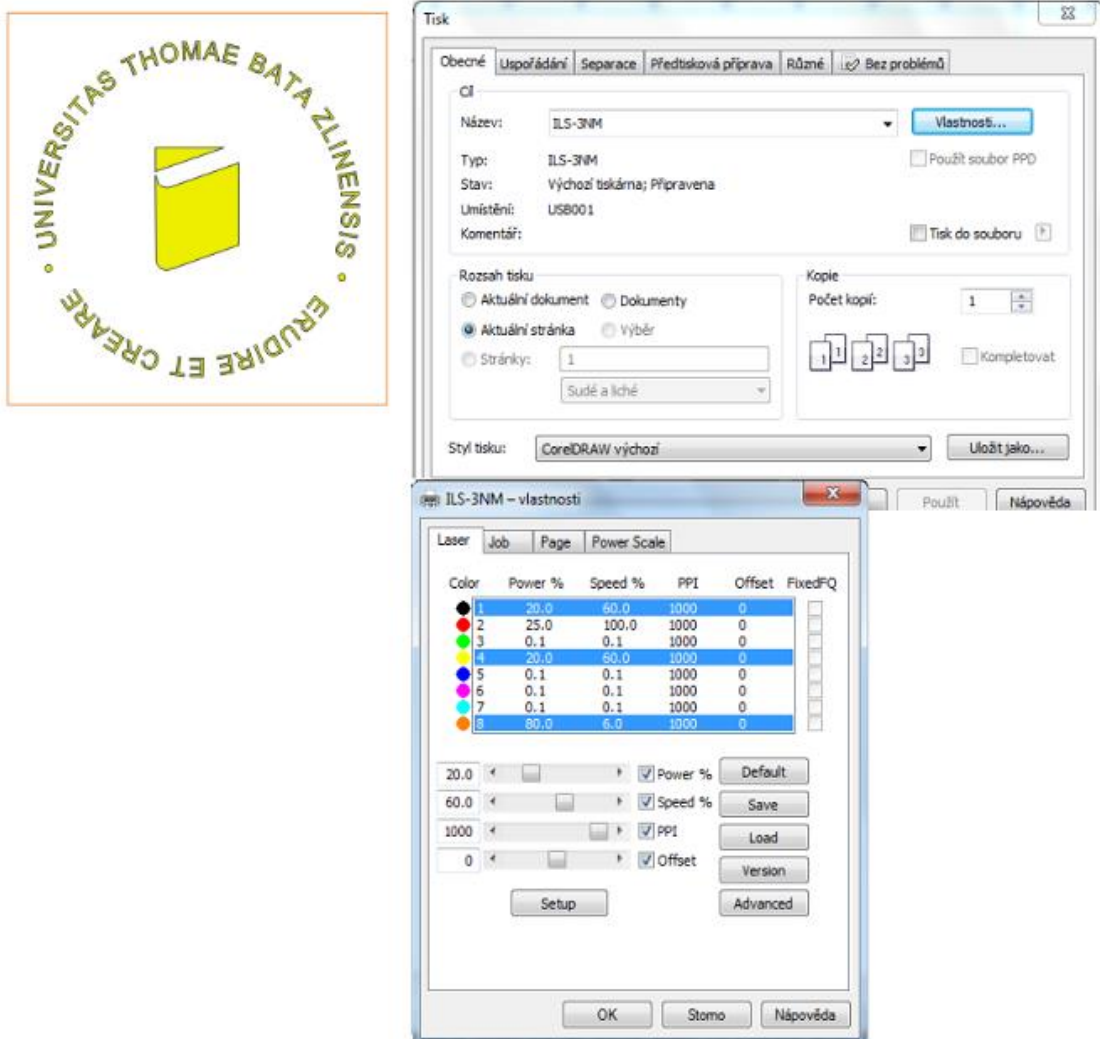
Odoslanie súboru do pamäte zariadenia ILS 3 NM patrí ku záverečnej fáze prípravy výroby. Pripravený súbor odošleme k tlači kliknutím na paneli na ponuku **Súbor** → **Tlač** otvorí sa nám okno, kde môže ďalej nastaviť parametre tlače (Obr.64).



Obr. 64 Okno nastavení parametrov na tlač

Definovanie rezných podmienok

Pred samotným odoslaním súboru k vytváraniu treba nadefinovať rezné podmienky. Kliknutím na paneli na ponuku **Súbor** → **Tlač** → **Vlastnosti** sa nám otvorí okno, kde sa ponúka osem farieb k nadefinovaniu. Ku každej z týchto farieb môže byť priradený odlišný výkon (power), rezná rýchlosť (speed) a PPI (pulz na palec). V prípade laserového rezania a gravírovania zmena PPI upravuje hustotu pulzov na palec s akou sa obraz vypaľuje. Ja vypaľujem pri ohniskovej vzdialenosti 1,5 palca, pričom 1 palec je 2,54 cm. Farby sa tlačia v preddefinovanom poradí, tak ako sú vypísané. Rezné podmienky som stanovil na tieto materiály. Vzorka č.1 PMMA (Polymetylmetakrylát), vzorka č.2 elaxovaný hliník. Pri vzorke č.1 (Obr.65) čierna plocha bude vytvorená prvá, potom žltá oblasť a na vypálenie oranžová. Pri vzorke č.2 (Obr.67) čierna plocha bude vytvorená prvá a potom bude nasledovať žltá plocha.



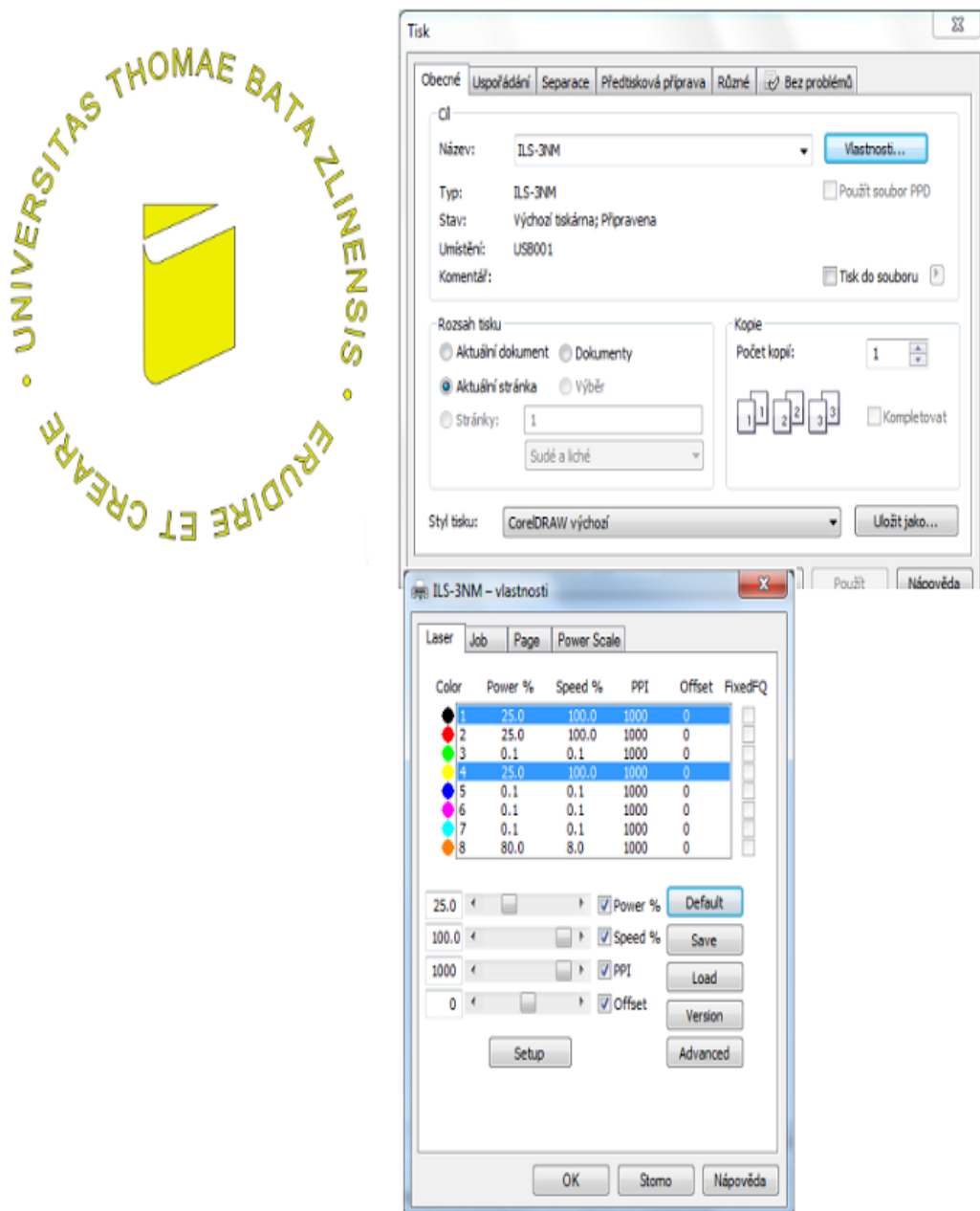
Obr. 65 Definovanie rezných podmienok pri vzorke č.1

Vzorka č.1 je z PMMA (Polymetylmetakrylát) 100x100 mm a hrúbku 3 mm (Obr.66). Na tejto vzorke som meral čas ktorý od štartu začne vzorku gravírovať a je tam zarátaný i čas vypálenia. Čas je nameraný 23 min a 27 s. Priradené rezné podmienky pre gravírovanie boli 20% výkon a 60% rýchlosť na vypálenie sú rezné podmienky 80 % výkon a 6 % rýchlosť.



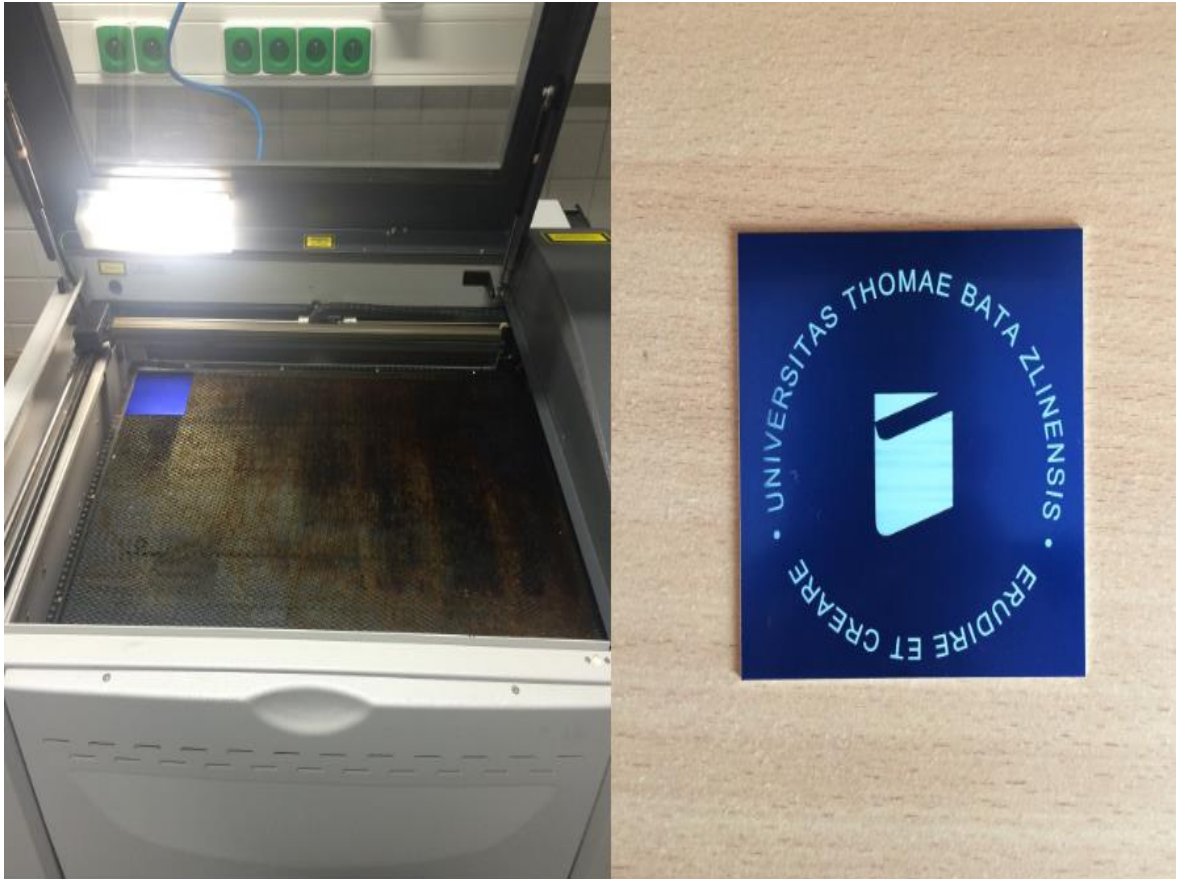
Obr. 66 Gravírovanie a vypaľovanie na vzorke č.1

Vzorka č.2 a je tam zobrazený postup a rezné podmienky gravírovania (Obr.67).



Obr. 67 Definovanie rezných podmienok pri vzorke č.2

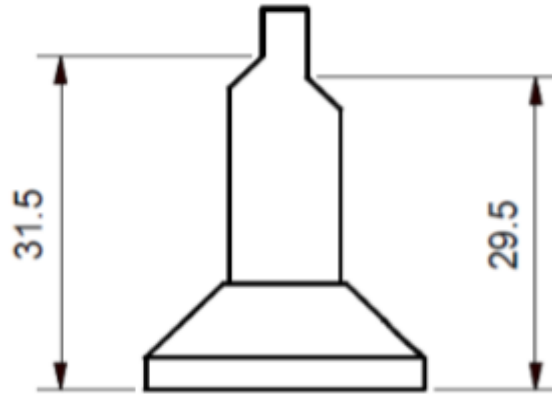
Vzorka č.2 je z elaxovaného hliníka pri tejto vzorke som mal objednaný polotovár presne na hotový rozmer 100 x 100 mm (Obr.68). Na tejto vzorke som meral čas, ktorý od štartu začne vzorku gravírovať až do jeho vyhotovenia. Tu som nameral čas 22 min 34 s. Priradené rezné podmienky pre gravírovanie boli 25% výkon a 100% rýchlosť.



Obr. 68 Gravírovanie na vzorke č.2

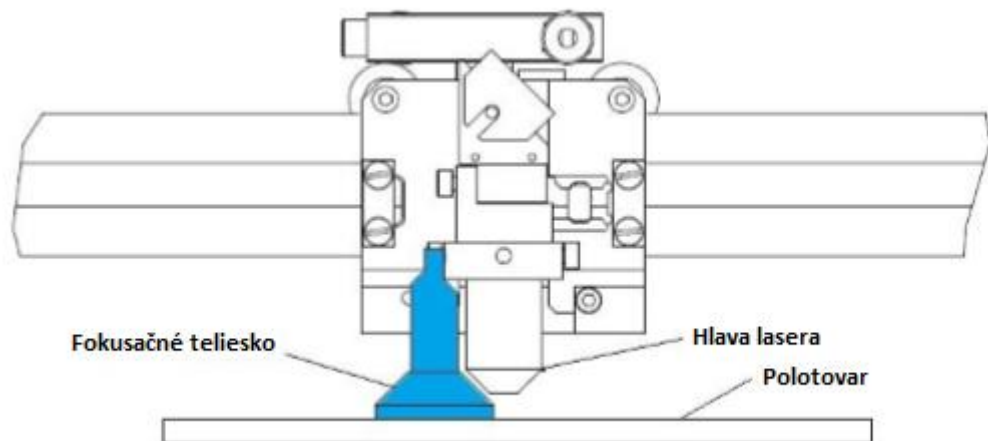
Zaostrovanie lasera (fokusácie)

S použitím rôznej hrúbky materiálu sa líši výška pracovného stola a tým aj zaostrenie lasera. Je teda potrebné, pri každej zmene materiálu, vykonať fokusácie zariadenia pomocou fokusačného telieska (Obr. 69).



Obr. 69 Fokusačné teliesko

Keď umiestnime materiál na pracovný stôl, môžeme vykonať zaostrovanie. Nastavenie vykonáme tak, že sústredné teliesko postavíme na materiál a nižšia ryska sa musí dotýkať s hranou hlavy lasera (Obr.70). Polohu laserovej hlavice v smere osí X a Y udávame pomocou šípok na ovládacom paneli (Obr. 59 pozícia-13).



Obr. 70 Autofokusácia lasera

5 POROVNANIE A VYHODNOTENIE PRACOVNÝCH PODMIENOK

Mojou úlohou nie je len porovnávať rezné podmienky vzoriek, ktoré som vyrobil, ale i ekonomický rozdiel medzi laserom ILS 3 NM a frézku HAAS EC – 400.

Náklady na laser:

- Energia.
- Čočka.
- Lejzer (trubica, v ktorej je budenie).

Náklady na frézku:

- Energia.
- Otupenie gravírovacieho nástroja.

Spotreba energie pri laseri

Spotrebovaná energia pri laseri ILS 3NM v danom čase, kedy bola vzorka vyrobená. Vzorka č.1 bola gravírovaná a následne aj vypálená na daný tvar štvorca 100 x 100 mm. Ktorá bola vyrobená v čase: 23 min. 24 s. Pri vzorke č. 2 som len gravíroval a čas bol kratší a to 22 min. 34 s. Vypočítal som ho z elektrického príkonu a to:

- Kompresora (ktorý slúži na odsávanie spalín).
- Lasera

Výpočet energie pri kompresore spalín vzorky č. 1.

Názorná ukážka ako som pokračoval pri každej vzorke. Ostatné výpočty spotreby elektrickej energie, servis a vyhodnotenie vzoriek v Kč. lasera ILS 3NM a frézky HAAS EC – 400. Nájdeme v prílohe II.

Spotreba elektrickej energie za 1 h. : 3,4 KWh.

Čas vyrobenej vzorky je: 23 min. 24 s.

Elektrická práca:

$$W = U \cdot I \cdot t \quad [\text{KW}] \quad (6)$$

W – Elektrická práca.

U – Elektrické napätie.

I – Elektrický prúd.

Prevedenie časových jednotiek:

Previedol som 23 min. 24 s. do hodiny.

$$\frac{23}{60} = \underline{0,383 \text{ h}}$$

$$\frac{24}{3600} = \underline{0,0066 \text{ h}}$$

Prevedenie jednotky na hodinu:

Z času 23 min. 24 s. vyrobenej vzorky.

$$23 \text{ min.} = \underline{0,383 \text{ h}}$$

$$24 \text{ s.} = \underline{0,0066 \text{ h}}$$

Dané hodnoty môžem spočítať.

$$t = 0,383 + 0,0066 = \underline{0,3896 \text{ h}}$$

Elektrická práca:

$$W = P \cdot t \quad [\text{KW}] \quad (7)$$

W – Elektrická práca.

P – Elektrický výkon.

$$W = 3,4 \cdot 0,3896 = \underline{1,324 \text{ KWh}}$$

Vypočítal som pri vzorke č. 1, ktorá bola vyrobená v čase 23 min. 24 s., že mi spotrebuje

$$W = \underline{1,324 \text{ KWh.}}$$

Spotreba elektrickej energie kompresora spalín za 1 h. : 3,4 KWh.

Tab. 4 *Výpočet elektrickej energie pri kompresore spalín ILS 3 NM*

Výpočet elektrickej energie pri kompresore spalín		
	Čas vyrobenej vzorky	Výpočet elektrickej energie
Vzorka č. 1	23 min. 24s.	1,324 KWh
Vzorka č. 2	22 min. 34 s.	1,276 KWh

Spotreba elektrickej energie za lasera ILS 3 NM za 1 h. : 2,2 KWh.

Tab. 5 *Výpočet elektrickej energie pri lasere ILS 3 NM*

Výpočet elektrickej energie pri lasere ILS 3 NM		
	Čas vyrobenej vzorky	Výpočet elektrickej energie
Vzorka č. 1	23 min. 24s.	0,857 KWh
Vzorka č. 2	22 min. 34 s.	0,825 KWh

Vyhodnotenie vzoriek pri kompresore spalín a laseri ILS 3 NM, ktoré som previedol do KČ.

Približná cena elektrickej energie v Českej republike za 1 KWh som ráatal s 4,83 Kč.

Tab. 6 *Vyhodnotenie vzoriek pri kompresore spalín v KČ.*

Vyhodnotenie vzoriek pri kompresore spalín v KČ.			
	Čas vyrobenej vzorky	Výpočet elektrickej energie	KČ.
Vzorka č. 1	23 min. 24 s.	1,324 KWh	6,394
Vzorka č. 2	22 min. 34 s.	1,276 KWh	6,163

Servis lasera ILS 3NM.

Pri 20 000 hodinách práce laserového zariadenia je celkový servis 20590,70 Kč. Na jednu hodinu to vychádza 1,03 Kč. Prirátal som to k jednotlivým vzorkám.

Tab. 7 *Vyhodnotenie vzoriek pri lasere ILS 3 NM v KČ*

Vyhodnotenie vzoriek pri lasere ILS 3 NM v KČ.			
	Čas vyrobenej vzorky	Výpočet elektrickej energie	KČ.
Vzorka č. 1	23 min. 24 s.	0,857 KWh	4,539
Vzorka č. 2	22 min. 34 s.	0,825 KWh	4,364

Spotreba elektrickej energie frézky HAAS EC - 400 za 1 h. : 13,85 KWh.

Tab. 8 Výpočet elektrickej energie frézky HAAS EC – 400

Výpočet elektrickej energie pri frézke HAAS EC - 400		
	Čas vyrobenej vzorky	Výpočet elektrickej energie
Vzorka č. 1	29 min. 6 s.	6,7117 KWh
Vzorka č. 2	27 min. 17 s.	6,2975 KWh

Vyhodnotenie vzoriek pri frézke HAAS EC – 400, ktoré som previedol do Kč.

Tab. 9 Vyhodnotenie vzoriek pri frézke HAAS EC - 400 v Kč

Vyhodnotenie vzoriek pri frézke HAAS EC - 400 v Kč.			
	Čas vyrobenej vzorky	Výpočet elektrickej energie	Kč.
Vzorka č. 1	29 min. 6 s.	6,7117 KWh	32,417
Vzorka č. 2	27 min. 17 s.	1,2975 KWh	30,41

Celkové zhodnotenie časov a Kč na laseri ILS 3 NM a frézky HAAS EC – 400.

Tab. 10 Porovnanie a vyhodnotenie pracovných podmienok

Porovnanie a vyhodnotenie pracovných podmienok				
	Čas na laseri	Vyhodnotenie v Kč	Čas na frézke	Vyhodnotenie v Kč
Vzorka č. 1	23 min. 24 s.	10,933	29 min. 6 s.	32,417
Vzorka č. 2	22 min. 34 s.	10,527	27 min. 17 s.	30,41

Pri 80 kusovej objednávke by som zvolil výrobu gravírovaním na laseri a vyšlo by ma to v prepočte:

- Vzorka č.1 PMMA (Polymetylmetakrylát) by vyšiel 1x kus 10,933 Kč. A 80 kusov by vyšlo 874,64 Kč. Pri frézke 1x kus 32,417 a 80 kusov by vyšlo 2593,36 Kč – ušetril by som 1718,72 Kč.
- Vzorka č.2 elaxovaného hliníka by vyšlo 1x kus 10,527 Kč. A 80 kusov by vyšlo 842,16 Kč. Pri frézke 1x kus 30,41 a 80 kusov by vyšlo 2432,8 Kč – ušetril by som 1590,64 Kč.

ZÁVER

Cieľom diplomovej práce bolo porovnávanie rezných podmienok a to pri technológii laserového obrábania a obrábania CNC fréžky. Bol vytvorený 3D model v programe SolidEdge, ktorý som si preniesol do laseru a SolidWorksu a vytvoril program na CNC fréžku. Vo fréžke som si program upravil do ISO programu a doladil rezné podmienky. Mojou úlohou bolo stanoviť rezné podmienky, v mojom prípade pre materiály – PMMA (Polymetylmetakrylát) 3 mm hrubý, ktorý som aj následne na laseri vypaloval a na fréžke fréžoval, gravíroval som elaxovaný hliník. Gravírovací podmienky som stanovil pre vyššie spomínané materiály. Samotná výroba bola popísaná od výroby prototypu, ktorý je nevyhnutný pre odskúšanie výrobku. Po odskúšaní prototypu sa môže následný výrobok upraviť alebo nechať v existujúcej forme.

Pri gravírovaní na fréžke bola celá výroba zložitejšia, čo sa týka samotného programovania a výroby oproti laseru. Upínanie som zvolil do pracovného zveráku aby som urýchlil nastavovanie pomocou podložiek. Pri programovaní som si musel dávať pozor na odchod nástroja a pri gravírovaní aby bol bezpečne a pevne upnutý polotovar. Výrobné časy boli o niečo vyššie ako pri laseri.

Pri gravírovaní na laseri bolo samotné programovanie rýchlejšie, dokonalé a rýchle upnutie polotovaru a výrobný čas bol kratší. Kvalita výrobku bola lepšia a celkové ekonomické náklady na výrobu oproti fréžke menšie. Pri gravírovaní na laseri by sa dali dokonale gravírovať štítky mien zo skriniek v školách alebo štítky na trofeje. Môžu sa vyrábať rôzne propagačné predmety loga univerzity.

Vďaka tomuto porovnávaní, zariadenie má univerzita v nasledujúcich rokoch veľmi dobré vyhliadky na spoluprácu s rôznymi firmami a realizáciu zaujímavých zákaziek.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [2] BUDA, J., BÉKÉŠ, J. *Teoretické základy obrábění kovov*, ALFA Bratislava, 1977, ISBN 40-259-9480-2.
- [2] KOČMAN, K. *Technologické procesy obrábění*. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2011, 330 s. ISBN 978-80-7204-722-2.
- [3] SANDVIK COROMANT. : *Průručka obrábění*, 1997, ISBN 80-703-9440-7.
- [4] MAŇKOVÁ, I.: *Progresivní technologie*, 1. vyd. Košice: Viena, 2000, ISBN 80-709-9430-4.
- [5] VOLEJNÍK, J. *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.
- [6] 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/>>.
- [7] 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/>>.
- [8] 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.
- [9] 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>>.
- [10] *Nekonvenční metody obrábění* [online]. [cit.2011-02-04]. Dostupné z <<http://www.mmspektrum.com/clanek/nekonvencni-metody-obrabeni-4-dil>>.
- [11] *Lasery a jejich aplikace* [online]. 2002 [cit. 2011-02-04]. Dostupné z WWW: <http://www.plslaser.cz/pdf/lasery.pdf>.
- [12] BRIMUS, J.: *Vliv koncentrované energie laserového paprsku na různé polymerní materiály*, UTB Zlín 2007

- [13] DOSEDĚLOVÁ, P. *Výzkum procesu laserového popisování polymerních materiálů* [online]. Zlín, 2005 [cit. 2013-01-25]. Dostupné z: <<http://theses.cz/id/wcfwb0/>>. Diplomová práce. UTB Zlín.
- [14] 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>>.
- [15] *UV laser* [online]. [cit. 2013-01-25]. Dostupné z: <<http://www.megablog.cz/lasery/zelene-a-uv-lasery/>>.
- [16] TOMAŠTÍK, J. *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.
- [17] *Obsluha frézky Haas* [online]. [cit. 2011-02-25]. Dostupné z: <<http://www2.trebesin.cz/CAD-CAM/HAAS/Ucebni-texty-frezka/>>.

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

v_c	Rezná rychlost'	m.min-1
f	Posuv	mm
f_z	Posuv na zub	mm
f_o	Posuv na otáčku	mm
v_f	Posuvová rychlost'	mm.min-1
h	Hĺbka rezu	mm
RO	Rýchlorezná ocel'	
KM	Keramický materiál	
PKNB	Polykrystalický kubický nitrid bóru	
ISO	International Organization for Standardization	
CNC	Computer Numerical Control	
3D	3dimenze	
W	Watt	
J	Joule	
μm	Mikrometer	
YAG	Ytrito - hlinitý granát	
He	Helium	
Ne	Neon	
CO_2	Oxid uhličitý	
N_2	Dusík	
Si	Kremík	
P	Fosfor	
PVC	Polyvinylchlorid	

SEZNAM OBRÁZKŮ

<i>Obr. 1 Gravírovanie frézou [2]</i>	10
<i>Obr. 2 Súbežné frézovanie [2]</i>	11
<i>Obr. 3 Protibežné frézovanie [2]</i>	12
<i>Obr. 4 Frézovanie čelnou valcovou frézou[3]</i>	13
<i>Obr. 5 Frézovanie rovinných plôch[2]</i>	14
<i>Obr. 6 Uhly rezného klina [2]</i>	14
<i>Obr. 7 Upínanie polotovaru pomocou zveráku [3]</i>	16
<i>Obr. 8 Upínanie polotovaru pomocou úpiniek [4]</i>	17
<i>Obr. 9 Emulzne kvapaliny – chladenie pri obrábaní [3]</i>	19
<i>Obr. 10 Chladiaca zmes pri obrábaní polotovaru [17]</i>	20
<i>Obr. 11 Chladiace a mazacie roztoky [4]</i>	21
<i>Obr. 12 Vplyv reznej rýchlosti [3]</i>	22
<i>Obr. 13 Vplyv posuvu [3]</i>	22
<i>Obr. 14 Vplyv hĺbky rezu [3]</i>	23
<i>Obr. 15 Vplyv uhla chrbta [3]</i>	23
<i>Obr. 16 Vplyv uhla čela [3]</i>	24
<i>Obr. 17 Vplyv uhla nástroja [3]</i>	24
<i>Obr. 18 Vplyv polomeru hrotu [3]</i>	24
<i>Obr. 19 Fyzikálna podstata plastickej deformácie [3]</i>	25
<i>Obr. 20 Zdroje tepla pri obrábaní [3]</i>	27
<i>Obr. 21 Opatrebovanie nástroja [2]</i>	28
<i>Obr. 22 PVD magnetronové naprašovanie [4]</i>	29
<i>Obr. 23 Klasifikácia rezných materiálov [2]</i>	31
<i>Obr. 24 Absorpcie spontánna a stimulovaná emisia [5]</i>	32
<i>Obr. 25 Schéma zariadenia pre obrábanie laserom [10]</i>	33
<i>Obr. 26 Laserový lúč v rezonátore [8]</i>	34
<i>Obr. 27 Účinok laserového lúča pri jeho dopade na povrch materiálu [8]</i>	35
<i>Obr. 28 Konštrukcia Nd: YAG laseru [12]</i>	37
<i>Obr. 29 Princíp He-Ne lasera [11]</i>	38
<i>Obr. 30 Princíp CO2 lasera [12]</i>	38
<i>Obr. 31 Konštrukcia polovodičového lasera [6]</i>	39
<i>Obr. 32 Hlavné časti značkovacieho optického ramene [13]</i>	41
<i>Obr. 33 Schéma laserovej optiky u maskovacej metódy [13]</i>	41
<i>Obr. 34 Schéma laserovej optiky u popisovacej metódy vychylovaním zväzku [13]</i>	42
<i>Obr. 35 Laserový popis sublimácie [13]</i>	43
<i>Obr. 36 Laserový popis karbonizácie [13]</i>	44

<i>Obr. 37 Příklad popisu odstránením vrstvy materiálu [13]</i>	44
<i>Obr. 38 UV svetla [14]</i>	45
<i>Obr. 39 3D Gravírovanie laserom, otisknutie obrázku [8]</i>	46
<i>Obr. 40 3D Gravírovanie laserom, dutina obrázku [8]</i>	46
<i>Obr. 41 Ukážka 3D laserového gravírovania [16]</i>	47
<i>Obr. 42 Laserové textúrovanie [16]</i>	48
<i>Obr. 43 Laserové žihanie [10]</i>	48
<i>Obr. 44 3D pohľad z programu SolidEdge</i>	51
<i>Obr. 45 Vytvorený 2D pohľad</i>	52
<i>Obr. 46 3D pohľad a)</i>	53
<i>Obr. 47 3D pohľad b)</i>	53
<i>Obr. 48 Jednotlivých častí frézky [17]</i>	54
<i>Obr. 49 Náhľad ISO programu vo frézke</i>	55
<i>Obr. 50 Sústava držiaku a nástroja [17]</i>	56
<i>Obr. 51 Uvoľnenie a vkladanie nástroja [17]</i>	56
<i>Obr. 52 Pracovný zverák</i>	57
<i>Obr. 53 Nastavenie pracovného offsetu osi Z s 3D sondou</i>	58
<i>Obr. 54 Nastavenie pracovného offsetu osi X a Y s 3D sondou</i>	59
<i>Obr. 55 Odchytávanie hrotu nástroja</i>	59
<i>Obr. 56 Vzorka č. 1 PMMA (Polymetylmetakrylát)</i>	60
<i>Obr. 57 Vzorka č. 2 elaxovaný hliník</i>	61
<i>Obr. 58 Laser ILS 3 NM [18]</i>	62
<i>Obr. 59 Popis laserového zariadenia ILS 3 NM [18]</i>	64
<i>Obr. 60 Veľkosť pracovnej plochy</i>	65
<i>Obr. 61 Počiatok pracovnej plochy</i>	66
<i>Obr. 62 Gravírovanie laserom</i>	67
<i>Obr. 63 Rezanie laserom</i>	68
<i>Obr. 64 Okno nastavení parametrov na tlač</i>	70
<i>Obr. 65 Definovanie rezných podmienok pri vzorke č.1</i>	71
<i>Obr. 66 Gravírovanie a vypaľovanie na vzorke č.1</i>	72
<i>Obr. 67 Definovanie rezných podmienok pri vzorke č.2</i>	73
<i>Obr. 68 Gravírovanie na vzorke č.2</i>	74
<i>Obr. 69 Fokusačné teliesko</i>	75
<i>Obr. 70 Autofokusácia lasera</i>	75

SEZNAM TABULEK

Tab. 1 Odrazivost vybraných materiálů [8]	36
Tab. 2 Základné technické údaje [17]	55
Tab. 4 Výpočet elektrické energie při kompresore spalín ILS 3 NM	78
Tab. 5 Výpočet elektrické energie při lasere ILS 3 NM	78
Tab. 6 Vyhodnotenie vzoriek pri kompresore spalín v Kč	78
Tab. 7 Vyhodnotenie vzoriek pri lasere ILS 3 NM v Kč	78
Tab. 8 Výpočet elektrické energie frézky HAAS EC - 400	79
Tab. 9 Vyhodnotenie vzoriek pri frézke HAAS EC - 400 v Kč	79
Tab. 10 Porovnanie a vyhodnotenie pracovných podmienok	79

SEZNAM PŘÍLOH

- 1) CD s programom z frézky HAAS EC – 400.
- 2) Výpočet spotřeby elektrické energie, servis a vyhodnotenie vzoriek v Kč. lasera ILS 3NM a frézky HAAS EC – 400.

PŘÍLOHA P I: CD S PROGRAMOM Z FRÉZKY HAAS EC – 400.

PŘÍLOHA P II: VÝPOČET SPOTREBY ELEKTRICKÉJ ENERGIE, SERVIS A VYHODNOTENIE VZORIEK V KČ. ILS 3MN A FRÉZKY HAAS EC – 400.

Výpočet energie pri kompresore spalín vzorky č. 1..

Spotreba elektrickej energie za 1 h. : 3,4 KWh

Čas vyrobenej vzorky je: 23 min. 24 s.

Prevedenie časových jednotiek:

Previedol som 23 min. 24 s. do hodiny.

$$\frac{23}{60} = \underline{0,383 \text{ h}}$$

$$\frac{24}{3600} = \underline{0,0066 \text{ h}}$$

Prevedenie jednotky na hodinu:

Z času 23 min. 24 s. vyrobenej vzorky.

$$23 \text{ min.} = \underline{0,383 \text{ h}}$$

$$24 \text{ s.} = \underline{0,0066 \text{ h}}$$

Dané hodnoty môžem spočítať.

$$t = 0,383 + 0,0066 = \underline{\underline{0,3896 \text{ h}}}$$

Elektrická práca:

$$W = 3,4 * 0,3896 = \underline{\underline{1,324 \text{ KWh}}}$$

Vypočítal som pri vzorke č. 1, ktorá bola vyrobená v čase 23 min. 24 s., že mi spotrebuje

$$\underline{\underline{W = 1,324 \text{ KWh.}}}$$

Výpočet energie pri kompresore spalín vzorky č. 2.

Spotreba elektrickej energie za 1 h. : 3,4 KWh

Čas vyrobenej vzorky je: 22 min. 34 s.

Prevedenie časových jednotiek:

Previedol som 22 min. 34 s. do hodiny.

$$\frac{22}{60} = \underline{0,366 \text{ h}}$$

$$\frac{34}{3600} = \underline{0,0094 \text{ h}}$$

Prevedenie jednotky na hodinu:

Z času 22 min. 34 s. vyrobenej vzorky.

$$22 \text{ min.} = \underline{0,366 \text{ h}}$$

$$34 \text{ s.} = \underline{0,0094 \text{ h}}$$

Dané hodnoty môžem spočítať.

$$t = 0,366 + 0,0094 = \underline{\mathbf{0,3754 \text{ h}}}$$

Elektrická práca:

$$W = 3,4 * 0,3754 = \underline{\mathbf{1,276 \text{ KWh}}}$$

Vypočítal som pri vzorke č.2, ktorá bola vyrobená v čase 22 min. 34 s., že mi spotrebuje

W =1,276 KWh.

Spotreba elektrickej energie za lasera ILS 3 NM za 1 h. : 2,2 KWh.

Výpočet elektrickej energie za lasera ILS 3 NM č. 1.

Názorná ukážka ako som pokračoval pri každej vzorke.

Spotreba elektrickej energie za 1 h. : 2,2 KWh

Čas vyrobenej vzorky je: 23 min. 24 s.

Prevedenie časových jednotiek:

Previedol som 23 min. 24 s. do hodiny.

$$\frac{23}{60} = \underline{0,383 \text{ h}}$$

$$\frac{24}{3600} = \underline{0,0066 \text{ h}}$$

Prevedenie jednotky na hodinu:

Z času 23 min. 24 s. vyrobenej vzorky.

$$23 \text{ min.} = \underline{0,383 \text{ h}}$$

$$24 \text{ s.} = \underline{0,0066 \text{ h}}$$

Dané hodnoty môžem spočítať.

$$t = 0,383 + 0,0066 = \underline{\mathbf{0,3896 \text{ h}}}$$

Elektrická práca:

$$W = 2,2 * 0,3896 = \underline{\mathbf{0,857 \text{ KWh}}}$$

Vypočítal som pri vzorke č. 1, ktorá bola vyrobená v čase 23 min. 24 s., že mi spotrebuje

$$\mathbf{W = 0,857 \text{ KWh.}}$$

Výpočet elektrickej energie za lasera ILS 3 NM č. 2.

Spotreba elektrickej energie za 1 h. : 2,2 KWh

Čas vyrobenej vzorky je: 22 min. 34 s.

Prevedenie časových jednotiek:

Previedol som 22 min. 34 s. do hodiny.

$$\frac{22}{60} = \underline{0,366 \text{ h}}$$

$$\frac{34}{3600} = \underline{0,0094 \text{ h}}$$

Prevedenie jednotky na hodinu:

Z času 22 min. 34 s. vyrobenej vzorky.

$$22 \text{ min.} = \underline{0,366 \text{ h}}$$

$$34 \text{ s.} = \underline{0,0094 \text{ h}}$$

Dané hodnoty môžem spočítať.

$$t = 0,366 + 0,0094 = \underline{\mathbf{0,3754 \text{ h}}}$$

Elektrická práca:

$$W = 2,2 * 0,3754 = \underline{\mathbf{0,825 \text{ KWh}}}$$

Vypočítal som pri vzorke č.2, ktorá bola vyrobená v čase 22 min. 34 s., že mi spotrebuje

$$\mathbf{W = 0,825 \text{ KWh.}}$$

Vyhodnotenie vzorek pri kompresore spalín a laseri ILS 3 NM, ktoré som previedol do KČ.

Približná cena elektrickej energie v Českej republike za 1 KWh som rátal s 4,83 KČ.

Vzorka č. 1- čas vyrobenej vzorky je: 23 min. 24 s.

Elektrická energia: 1,324 KWh . 4,83 KČ = 6,394 KČ

Vzorka č. 2 - čas vyrobenej vzorky je: 22 min. 34 s.

Elektrická energia: 1,276 KWh * 4,83 KČ = 6,163 KČ

Servis lasera ILS 3NM.

$$1 \text{ h} = \frac{20\,590,70}{20000} = \underline{1,03 \text{ KČ}}$$

Pri 20 000 hodinách práce laserového zariadenia je celkový servis 20590,70 KČ. Na jednu hodinu to vychádza 1,03 KČ. Prirátal som to k jednotlivým vzorkám.

Vzorka č. 1- čas vyrobenej vzorky je: 23 min. 24 s.

Prevedenie jednotky na hodinu: 0,3896 h * 1,03 = 0,4 KČ

Elektrická energia: 0,857 KWh * 4,83 KČ + 0,4 KČ = 4,539 KČ.

Vzorka č. 2- čas vyrobenej vzorky je: 22 min. 34 s.

Prevedenie jednotky na hodinu: 0,3754 h * 1,03 = 0,38 KČ

Elektrická energia: 0,825 KWh * 4,83 KČ + 0,38 KČ = 4,364 KČ.

Spotreba elektrickej energie frézky HAAS EC - 400 za 1 h. : 13,85 KWh.

Výpočet elektrickej energie pri frézke EC - 400 vzorky č. 1.

Spotreba elektrickej energie za 1 h. : 13,85 KWh

Čas vyrobenej vzorky č.1 je: 29 min. 6 s.

Prevedenie časových jednotiek:

Previedol som 29 min. 6 s. do hodiny.

$$\frac{29}{60} = \underline{0,483 \text{ h}}$$

$$\frac{6}{3600} = \underline{0,0016 \text{ h}}$$

Prevedenie jednotky na hodinu:

Z času 29 min. 6 s. vyrobenej vzorky.

$$23 \text{ min.} = \underline{0,483 \text{ h}}$$

$$24 \text{ s.} = \underline{0,0016 \text{ h}}$$

Dané hodnoty môžem spočítať.

$$t = 0,483 + 0,0016 = \underline{\mathbf{0,4846 \text{ h}}}$$

Elektrická práca:

$$W = 13,85 * 0,4846 = \underline{\mathbf{6,7117 \text{ KWh}}}$$

Vypočítal som pri vzorke č. 1, ktorá bola vyrobená v čase 29 min. 6 s., že mi spotrebuje

$$\mathbf{W = 6,7117 \text{ KWh.}}$$

Výpočet elektrickej energie pri frézke EC - 400 vzorky č. 21

Spotreba elektrickej energie za 1 h. : 13,85 KWh

Čas vyrobenej vzorky č.2 je: 27 min. 17 s.

Prevedenie časových jednotiek:

Previedol som 27 min. 17 s. do hodiny.

$$\frac{27}{60} = \underline{0,45 \text{ h}}$$

$$\frac{17}{3600} = \underline{0,0047 \text{ h}}$$

Prevedenie jednotky na hodinu:

Z času 27 min. 17 s. vyrobenej vzorky.

$$23 \text{ min.} = \underline{0,45 \text{ h}}$$

$$24 \text{ s.} = \underline{0,0047 \text{ h}}$$

Dané hodnoty môžem spočítať.

$$t = 0,45 + 0,0047 = \underline{\mathbf{0,4547 \text{ h}}}$$

Elektrická práca:

$$W = 13,85 * 0,4547 = \underline{\mathbf{6,2975 \text{ KWh}}}$$

Vypočítal som pri vzorke č. 1, ktorá bola vyrobená v čase 27 min. 17 s., že mi spotrebuje

$$\mathbf{W = 6,2975 \text{ KWh.}}$$

Vyhodnotenie vzorek pri frézke HAAS EC – 400, ktoré som previedol do Kč.

Približná cena elektrickej energie v Českej republike za 1 KWh som rátal s 4,83 Kč.

Vzorka č. 1- čas vyrobenej vzorky je: 29 min. 6 s.

$$\text{Elektrická energia: } 6,7117 \text{ KWh} * 4,83 \text{ Kč} = \underline{\mathbf{32,417 \text{ Kč}}}$$

Vzorka č. 2 - čas vyrobenej vzorky je: 27 min. 17 s.

$$\text{Elektrická energia: } 6,2975 \text{ KWh} * 4,83 \text{ Kč} = \underline{\mathbf{30,416 \text{ Kč}}}$$

Celkové zhodnotenie časov a Kč na laseri ILS 3 NM a frézky HAAS EC – 400.

Spočítal som Kč. pri laseri ILS 3 NM a kompresora spalín:

Vzorka č.1 - 6,394 Kč + 4,539 Kč = 10,933 Kč.

Vzorka č.2 - 6,163 Kč. + 4,364 Kč = 10,527 Kč.