

Aplikace konvenčních a nekonvenčních metod obrábění při dokončovacích operacích výroby forem

Bc. Zuzana Krečmerová

Diplomová práce
2009



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně

Fakulta technologická

Ústav výrobního inženýrství

akademický rok: 2008/2009

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Zuzana KREČMEROVÁ**

Studijní program: **N 3909 Procesní inženýrství**

Studijní obor: **Konstrukce technologických zařízení**

Téma práce: **Aplikace konvenčních a nekonvenčních metod
obrábění při dokončovacích operacích výroby forem**

Zásady pro vypracování:

1. Zpracujte rešerši na dané téma se zaměřením na oblasti:

- a) Konvenční metody obrábění
- b) Nekonvenční metody obrábění
- c) Výroba plášťů pneumatik

2. Dle požadavků zadání navrhnete možnosti pro popis dutiny forem, provedte experimentální obrábění a výrobu vzorků.

3. Provedte analýzu těchto metod s cílem nalezení optimálního řešení jak po stránce technologické tak ekonomické.

Rozsah práce:

Rozsah příloh:

Forma zpracování diplomové práce: tištěná/elektronická

Seznam odborné literatury:

dle doporučení vedoucí práce

Vedoucí diplomové práce:

Ing. Libuše Sýkorová, Ph.D.

Ústav výrobního inženýrství

Datum zadání diplomové práce:

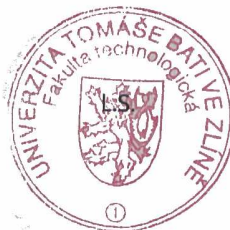
20. února 2009

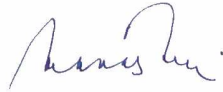
Termín odevzdání diplomové práce:

20. května 2009

Ve Zlíně dne 16. února 2009

doc. Ing. Petr Hlaváček, CSc.
děkan




doc. Ing. Miroslav Maňas, CSc.
vedoucí katedry

ABSTRAKT

Cílem této diplomové práce byla aplikace metod používaných pro popis dutiny forem pro výrobu plášťů pneumatik. V literární studii je tedy přehled konvenčních i nekonvenčních metod obrábění a výroba těchto plášťů.

V praktické části bylo provedeno experimentální obrábění pomocí tří rozdílných technologií, a to frézování, laserového a fotochemického obrábění. Při frézování vzorků byly použity dva různé nástroje. Konečný produkt, kterým byl pryžový výlisek s otiskem vyrobeného monitoru, byl dále vyhodnocen s cílem nalézt optimální řešení jak po technologické, tak ekonomické stránce. Dále je zde uvedena ukázka výroby popisů pomocí elektroerozivního hloubení.

Klíčová slova: konvenční metody obrábění, nekonvenční metody obrábění, popis pneumatik, gravírování, frézování, laser, fotochemické obrábění, elektroerozivní hloubení

ABSTRACT

The aim of this master thesis is the application of the methods used for the description of the hollow of the cast for the manufacturing of the tyre casing. In the literary study there is an overview of conventional and unconventional methods of machining and manufacturing of these casings.

In the practical part an experimental machining has been accomplished using three different methods – milling, laser machining and photochemical machining. During the milling two diverse tools have been used. The final product – a rubber die-casting with an imprint of a manufactured monitor - has been evaluated in order to find an optimal solution in both technological and economical aspects. A sample of the manufacturing of captions using the electroerosive excavating is also mentioned here.

Key words: conventional methods of machining, unconventional methods of machining, marking of tyres, milling, laser, fotochemical machining, electroerosive excavating

Poděkování, motto

Velmi ráda bych poděkovala všem, kteří přispěli ke vzniku této diplomové práce. Děkuji zvláště Ing. Libuši Sýkorové, CSc. za odpovědné vedení a za poskytnutí cenných rad. Dále společnosti Konform spol. s r.o. Zlín, Bc. Jakubovi Černému, Ing. Jiřímu Šálkovi, Ing. Vladimíru Šumberovi, Ing. Zdeňku Dvořákovi, CSc, panu Františku Vodehnalovi a firmě AKKA s.r.o. Bratislava za spolupráci.

Prohlašuji, že jsem na diplomové práci pracovala samostatně a použitou literaturu jsem citovala. V případě publikace výsledků, je-li to uvedeno na základě licenční smlouvy, budu uvedena jako spoluautorka.

Ve Olomouci 20. 5. 2009

.....

Podpis diplomanta

OBSAH

ÚVOD	9
I TEORETICKÁ ČÁST	10
1 KONVENČNÍ METODY OBRÁBĚNÍ	11
1.1 OBRÁBĚNÍ NÁSTROI S DEFINOVANOU GEOMETRIÍ.....	11
1.1.1 Soustružení.....	11
1.1.2 Frézování.....	13
1.1.3 Vrtání, vyhrubování, vystružování a zahlubování.....	19
1.1.4 Vyvrtávání.....	20
1.1.5 Hoblování a obrážení.....	20
1.1.6 Protahování a protlačování.....	21
1.2 OBRÁBĚNÍ NÁSTROI S NEDEFINOVANOU GEOMETRIÍ.....	22
1.2.1 Broušení.....	22
1.2.2 Leštění.....	22
1.2.3 Honování.....	23
1.2.4 Lapování.....	23
1.2.5 Superfinašování.....	24
2 NEKONVENČNÍ METODY	25
2.1 MECHANICKÝ PRINCIP ÚBĚRU MATERIÁLU.....	26
2.1.1 USM – obrábění ultrazvukem (Ultrasonic Machining).....	26
2.1.2 WJM – obrábění vodním paprskem (Water Jet Machining).....	26
2.1.3 AJM – opracování abrazivním paprskem (Abrasive Jet Machining).....	27
2.2 CHEMICKÝ A ELEKTROCHEMICKÝ PRINCIP ÚBĚRU MATERIÁLU.....	28
2.2.1 ECM – elektrochemické obrábění (Electrochemical Machining).....	28
2.2.2 CM – chemické obrábění (Chemical Machining).....	29
2.3 ELEKTROTEPELNÝ PRINCIP ÚBĚRU MATERIÁLU.....	32
2.3.1 EDM – elektroerozivní obrábění (Electrodischarge Machining).....	32
2.3.2 LBM – laserové obrábění (Laser Beam Machining).....	35
2.3.3 EBM – obrábění elektronovým paprskem (Elektron Beam Machining).....	45
2.3.4 IBM – obrábění iontovým paprskem (Ion Beam Machining).....	46
2.3.5 PAM – obrábění plazmovým paprskem (Plasma Arc Machining).....	47
3 KONSTRUKCE A VÝROBA PLÁŠŤŮ PNEUMATIK	48
3.1 KONSTRUKCE PLÁŠŤŮ PNEUMATIK.....	48
3.1.1 Pneumatika.....	48
3.1.2 Značení pneumatik.....	49
3.1.3 Plášť.....	52
3.1.4 Konstrukce plášťů.....	53
3.2 VÝROBA PLÁŠŤŮ PNEUMATIK.....	55
3.2.1 Schéma toku materiálu ve výrobě osobních radiálních plášťů.....	55
3.2.2 Míchání směsí.....	56
3.2.3 Příprava polotovarů.....	56
3.2.4 Konfekce plášťů pneumatik.....	57
3.2.5 Lisování a vulkanizace plášťů pneumatik.....	58

3.2.6	Formy pro výrobu pláštěů.....	58
3.2.7	Výroba vulkanizačních forem	60
4	MATERIÁLY AUTOPLÁŠŤŮ A POŽADAVKY NA NĚ	61
4.1	VÝZTUŽNÉ MATERIÁLY	61
4.1.1	Textilní materiály	61
4.1.2	Ocelové materiály.....	62
4.2	POLOTOVARY KAUČUKOVÝCH SMĚSÍ.....	62
4.2.1	Základní druhy kaučuků	62
4.3	PŘÍSAKY DO KAUČUKOVÝCH SMĚSÍ A POMOCNÉ LÁTKY	63
4.3.1	Vulkanizační činidla.....	63
4.3.2	Urychlovače.....	63
4.3.3	Aktivátory vulkanizace.....	63
4.3.4	Retardéry vulkanizace	64
4.3.5	Změkčovadla	64
4.3.6	Plniva.....	64
4.3.7	Antidegradanty, antioxidanty, antiozonanty.....	64
4.3.8	Plastikační činidla	64
4.3.9	Regenerát.....	64
4.3.10	Zvláštní přísady	64
5	STANOVENÍ CÍLŮ DIPLOMOVÉ PRÁCE	65
II	PRAKTICKÁ ČÁST	66
6	NÁVRH MONITORU NA POPIS VZORKŮ.....	67
6.1	FRÉZOVÁNÍ, LASEROVÉ OBRÁBĚNÍ	67
6.2	FOTOCHEMICKÉ OBRÁBĚNÍ.....	68
7	FRÉZOVÁNÍ.....	69
7.1	POLOTOVAR PRO FRÉZOVÁNÍ.....	69
7.2	POUŽITÝ STROJ	69
7.3	POUŽITÝ NÁSTROJ ČÍSLO JEDNA – RÁDIUSOVÁ FRÉZA.....	70
7.3.1	Výroba monitoru pomocí rádiusové frézy.....	71
7.3.2	Vyrobený monitor	72
7.3.3	Ekonomické ohodnocení.....	72
7.4	POUŽITÝ NÁSTROJ ČÍSLO DVA – FRÉZA PRO POPISOVÁNÍ.....	75
7.4.1	Výroba monitoru pomocí frézy pro popisování	75
7.4.2	Vyrobený monitor	76
7.4.3	Ekonomické ohodnocení.....	77
8	FOTOCHEMICKÉ OBRÁBĚNÍ.....	80
8.1	POSTUP PRÁCE.....	80
8.1.1	Příprava podložky k nanesení vrstvy.....	80
8.1.2	Nanášení vrstvy	80
8.1.3	Expozice.....	80
8.1.4	Vyvolávání	81
8.1.5	Leptání.....	81

8.1.6	Odstranění vrstvy po leptání.....	81
8.2	VYROBENÉ MONITORY	82
8.3	EKONOMICKÉ OHODNOCENÍ	84
8.3.1	Hloubka vyrobeného monitoru 0,1 mm	84
8.3.2	Hloubka vyrobeného monitoru 0,2 mm	84
9	ELEKTROEROZIVNÍ HLOUBENÍ	85
9.1	VYBRANÝ POPIS	86
9.2	EKONOMICKÉ OHODNOCENÍ	88
10	LASEROVÉ OBRÁBĚNÍ.....	89
10.1	POLOTOVAR PRO LASEROVÉ OBRÁBĚNÍ	89
10.2	POUŽITÝ STROJ	89
10.3	VÝROBA MONITORU	89
10.4	VYROBENÝ MONITOR	90
10.5	EKONOMICKÉ HODNOCENÍ.....	91
11	LISOVÁNÍ PRYŽOVÝCH VZORKŮ	94
11.1	VYLISOVANÉ VZORKY	95
11.1.1	Pryžový otisk monitoru vytvořeného pomocí rádiusové frézy.....	95
11.1.2	Pryžový otisk monitoru vytvořeného pomocí frézy pro popisování	95
11.1.3	Pryžové otisky monitoru vytvořeného pomocí fotochemického obrábění.....	96
11.1.4	Pryžový otisk monitoru vytvořeného pomocí laserového obrábění	97
12	VYHODNOCENÍ VZORKŮ.....	98
12.1	ZAŘÍZENÍ POUŽITÁ K VYHODNOCENÍ.....	98
12.1.1	Mikrokamera ProScope HR	98
12.1.2	Drsnoměr – SJ 301	98
12.2	POROVNÁNÍ VZORKŮ POMOCÍ DETAILNÍCH SNÍMKŮ	98
12.2.1	Vzorek vyrobený frézováním rádiusovou frézou	98
12.2.2	Vzorek vyrobený frézováním frézou pro popisování.....	100
12.2.3	Vzorky vyrobené pomocí fotochemického obrábění.....	102
12.2.4	Vzorek vyrobený pomocí laserového obrábění.....	107
12.3	POROVNÁNÍ DRSNOSTÍ POVRCHŮ.....	109
12.3.1	Vzorek vyrobený frézováním rádiusovou frézou	109
12.3.2	Vzorek vyrobený frézováním frézou pro popisování.....	111
12.3.3	Vzorky vyrobené pomocí fotochemického obrábění.....	114
12.3.4	Vzorek vyrobený pomocí laserového obrábění.....	116
	ZÁVĚR	118
	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	121
	SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK	123
	SEZNAM OBRÁZKŮ	125
	SEZNAM TABULEK.....	129

ÚVOD

Gravírování je technologie, která nahrazuje ruční rytí, a tedy lze říci, že vytváří nápis, logo, či ornament odebráním materiálu. Původní rytci pracovali s různě tvarovanými rydly a čakany a nápisy byly zvýrazňovány různými kovy, například cínem, zlatem, stříbrem nebo mědí. Později byla práce rytců směřována na výrobu informačních a reklamních tabulí, tiskařských štočků a různých razidel. V těchto oborech nachází uplatnění i moderní gravírování a pomalu tradiční způsoby výroby vytlačuje a nahrazuje. [7]

Čím dál tím větší využití a vyvíjení CAD/CAM technologií s využitím CNC strojů nám dovoluje řešit popisy na kvalitní grafické i technické úrovni. Současně rozvoj nekonvenčních technologií umožňuje popisovat i materiály, které jsou běžným způsobem obtížně zpracovatelné, také nám tyto technologie umožňují další možnosti popisu.

Například laserové rytí neboli gravírování se v dnešní době již široce aplikuje v mnoha průmyslových oborech od výroby razítek a dárkových předmětů až po zhotovení odlitkových forem. Během posledních dvou desetiletí se značení a gravírování stalo jednou z nejrozšířenějších laserových aplikací jak v průmyslu, tak i v oblasti reklamy, výroby dárkových předmětů a dokonce i umění. Oproti jiným metodám vyniká laserové značení trvalostí naneseného nápisu či grafického motivu, flexibilitou, vysokou rychlostí popisu a nízkými provozními náklady. [18]

V této diplomové práci budou využity jak nekonvenční metody výroby popisu forem na pneumatiky, tak technologie konvenční. Konkrétně se budeme zabývat popisem bočnic pneumatik. Tento popis musí obsahovat údaje, které jsou dány legislativou, a které jsou nezbytné jako informace pro zákazníka.

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 KONVENČNÍ METODY OBRÁBĚNÍ

Obráběcí proces se uskutečňuje různými metodami obrábění. K základním metodám patří soustružení, frézování, vrtání, vyhrubování, vystružování a zahlubování, vyvrtávání, hoblování a obrážení, protahování a protlačování. Uvedené metody jsou charakterizovány použitím nástrojů s definovanou geometrií břitu a představují v současné době nejvíce využívané aplikace při obrábění strojírenských součástí. [3]

1.1 Obrábění nástroji s definovanou geometrií

Při obrábění nástroji s definovanou geometrií se používají nástroje, které mají jednoznačně určenou rovinu čela, hřbetu a základovou rovinu, tzn. jsou ohraničena těmito rovinami. Většinou jsou to kovové, dále jsou to keramické destičky, případně destičky KNB nebo DIA. Těmito metodami se vyrábí obrobky z litých a tvářených polotovarů. Často se zhotovují obrobky z tyčí, trubek, desek atd. Z povrchu obrobku se v této fázi technologie odděluje asi 90% celkového přídavku. [4]

1.1.1 Soustružení

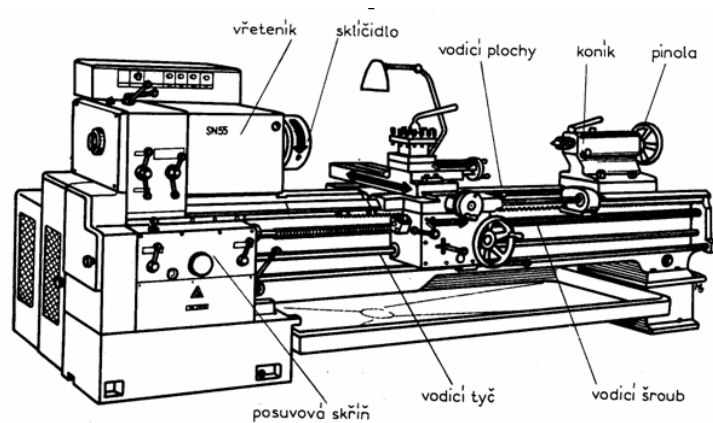
Technologie obrábění, která je určena především pro vytváření válcových ploch vnějších a vnitřních jednobřitým nástrojem – soustružnickým nožem. Soustružením lze dále vytvářet kuželové, rovinné čelní plochy, rotační plochy obecného tvaru tvarovými obráběcími nástroji nebo kopírováním nebo pomocí programovaného řízení, a dále závity tvarovými noži. [2] Soustruh patří k nejčastěji se vyskytujícím se obráběcím strojům.

Kinematika obráběcího procesu

Hlavní pohyb je obvykle rotační pohyb obrobku, přičemž rychlost hlavního pohybu je současně řeznou rychlostí v_c . Posuvový pohyb je přímočarý nebo obecný, vykonává ho obvykle nástroj. Řezný pohyb se při soustružení válcové plochy realizuje po šroubovici, při soustružení čelní plochy po Archimédově spirále a při soustružení rotační plochy obecného tvaru po obecné prostorové křivce. [3]

Hrotový universální soustruh

Je určen k obrábění válcových a rovinných čelních ploch obrobků upnutých ve sklíčidle, mezi hroty, v kleštině, na trnech, upínací desce apod. Nástrojem je obvykle jednobřítý soustružnický nůž z rychlořezné oceli nebo nosič s připájenou či upnutou obráběcí destičkou ze slinutých karbidů, řezné keramiky apod. [3]



Obr. 1 Univerzální hrotový soustruh

Revolverové soustruhy

Jsou určeny hlavně pro výrobu součástí v menších a středních sériích, vyžadujících k obrobení větší počet nástrojů. Nástroje se u nich upínají v držácích do upínacích otvorů revolverové hlavy.

V porovnání s hrotovými soustruhy mají revolverové soustruhy přednost rychlého a přesného nastavení nástroje vzhledem k upnutému obrobku, možnost obrábění několika nástroji současně. Na revolverových soustruzích je možno soustružit podélně i příčně a v ose obrobku vrtat, vyvrtávat, vystružovat, řezat závity apod. [3]



Obr. 2 Revolverová hlava [5]

Svislé soustruhy

Používají se v kusové, malosériové a někdy i v sériové výrobě středních a velkých rotačních součástí malého poměru délky k průměru. Hlavní části těchto strojů jsou otočný stůl, stojany a příčníky a suporty.

Poloautomatické soustruhy

Mají automatický pracovní cyklus nástrojů, avšak k opakování cyklu je nutný ruční zásah obsluhy stroje. Uplatňují se ve středně sériové a velkosériové výrobě.

Automatické soustruhy

Tyto stroje slouží k obrábění složitých rotačních součástí, nejčastěji z tyčového materiálu. Pracovní cyklus i případná výměna obrobků probíhá automaticky. [3]



Obr. 3 CNC soustružnické centrum s kluzným vedením na plochem loži pro soustružení dlouhých a velkých dílů [5]

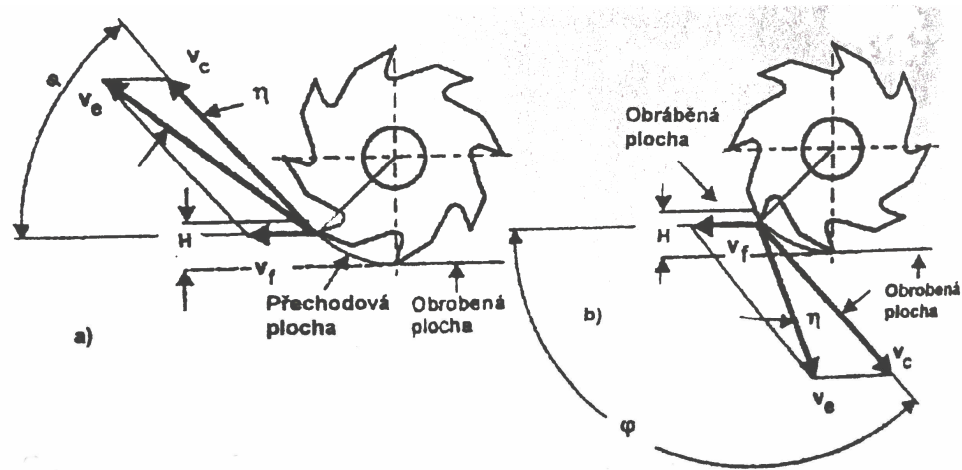
1.1.2 Frézování

Frézování je obrábění, při kterém se materiál obrobku odebírá břity otáčejícího se nástroje. Posuv nejčastěji koná součást, převážně ve směru kolmém k ose nástroje. U moderních frézovacích strojů jsou posunové pohyby plynule měnitelné a mohou se realizovat ve všech směrech (obráběcí centra, víceosé CNC frézky). Řezný proces je přerušovaný, každý zub frézy odřezává krátké třísky proměnné tloušťky.

Z technologického hlediska se v závislosti na aplikovaném nástroji rozliší frézování válcové a frézování čelní. Od těchto základních způsobů se odvozují některé další způsoby, jako frézování okružní a planetové.

Kinematika obráběcího procesu

Válcové frézování se převážně uplatňuje při práci s válcovými a tvarovými frézami. Zuby frézy jsou vytvořeny pouze po obvodu nástroje, hloubka odebírané vrstvy se nastavuje kolmo na osu frézy a na směr posuvu. Obrobená plocha je rovnoběžná s osou otáčení frézy. V závislosti na kinematice obráběcího procesu se rozliší frézování nesousledné a sousledné. [3]



Obr. 4 Kinematika válcového frézování

a) nesousledné frézování b) sousledné frézování

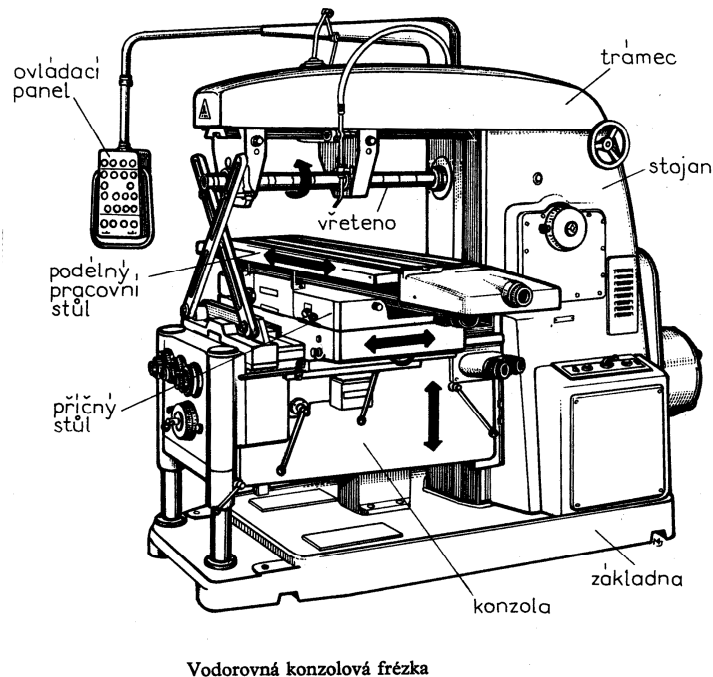
Fréza - je nástroj, určený pro frézování. Několikabřítý nástroj, který má břity uspořádané na válcové, kuželové či jiné tvarové ploše (kolmo nebo ve šroubovici), u čelních fréz též na čele.

Frézka – stroj určený k frézování. Základní dělení frézek podle polohy osy vřeten je na vertikální a horizontální. Některé stroje umožňují přestavbu na oba typy strojů.

Konzolové frézky

Charakteristickou částí těchto strojů je výškově přestavitelná konzola pro vedení stojanu. Po konzole se pohybuje příčný stůl s podélným pracovním stolem. Tato kombinace pohybů umožňuje přestavování obrobku upnutého na pracovním stole ve třech pravoúhlých souřadnicích vzhledem k nástroji. Konzolové frézky jsou vhodné pro frézování rovinných a tvarových ploch u menších a středně velkých obrobků v kusové a malosériové výrobě.

Vyrábějí se ve třech základních variantách, a to jako konzolové frézky svislé, vodorovné a univerzální frézky.



Obr. 5 Vodorovná konzolová frézka

Stolové frézky

Nemají konzolu a mají obvykle podélný a příčný stůl. Na stolových frézkách lze kvalitně a produktivně obrábět rozměrnější a těžší součástky.

Rovinné frézky

Patří mezi nejvýkonnější druh frézek. Jsou robustní konstrukce a umožňují obrábět těžké obrobky. [3]

CNC frézky

Moderní trendy ve frézování též směřují k univerzálním CNC strojům ve víceosém provedení (klasická horizontální frézka má jednu osu otáčení, vertikální frézky mají obvykle dvě osy – vřeteno lze natáčet podle vodorovné osy a tím naklonit nástroj), CNC frézky mívají 3 až 5 (a někdy i více) os natáčení nástroje, které umožňují obrábět obecné tvarové plochy.



Obr. 6 CNC frézka [5]

Gravírování

Gravírování je technologie, která nahrazuje ruční rytí, a tedy lze říci, že vytváří nápis, logo, či ornament odebráním materiálu.

Gravírovací plottery - CNC stroje

Gravírovací plottery jsou počítačem řízené. Fréza těchto strojů je vedena na základě počítačového návrhu. Jejich výhodou je obvykle velká tuhost konstrukce a vedení frézy za pomoci krokových motorů, a z toho plynoucí přesnost výrobku. Servomechanismy využívající pro pohyb frézy šnekové převody a kluzná nebo valivá ložiska dosahují obecně nejvyšší přesnosti. U strojů, jejichž pohyblivé části pohání krokový motor přes ozubené řemeny, je přesnost nižší z důvodu velkých sil, vznikajících ve všech. Přesnost obrobení povrchu je dána také velikostí posunu frézovací hlavy na jeden krok motoru.

Gravírovací CNC stroje můžeme rozdělit do několika skupin:

➤ *Malé gravírky*

Malé gravírky jsou určeny pro výrobu jednoduchých štítků, návrh je vytvářen přímo v gravírce a stroj má omezené možnosti zpracování návrhu. Výhodou je krátká doba pro zpracování. [7]

Některé z těchto strojů umožňují jednoduchou grafiku, např. nabalení textu na kružnici, deformace textu apod. Destičky a předměty určené ke gravírování se upínají do jednoduchého svěráku, na vakuový stůl, případně se lepí na plastovou podložku. [8]

➤ *Gravírovací a rytecké plotry*

Jsou to velmi tuhé stroje vhodné pro frézování, vrtání a gravírování do plastů, mosazi, hliníku ale i do velmi tvrdých materiálů. Většina těchto plotrů je stacionálních, některé z menších jsou přenosné s možností gravírování do velkých nebo objemných předmětů (stroj se upne například přísavkami přímo na gravírovaný předmět). Většina těchto plotrů má řízen pohyb frézovací hlavy i v ose „z“, a proto ve spojení s počítačovými programy pro práci ve 3D vytvářet plastické reliéfy, případně při práci ve 2,5 D je možné vyrábět velmi kvalitní štočky pro tisk, zlatotisk apod. Tyto plotry bývají v základní verzi vybaveny gravírovací hlavou s rozsahem otáček od 8000 do 25000 ot./min, jako nadstandard jsou dodávány hlavy s otáčkami až 60000 ot/min. Upínání fréz bývá do sklíčidel, kleštin, případně pomocí závitové vložky. U některých strojů je možné frézovací hlavu nahradit vypalovací jehlou (pro práci se dřevem), vyjiskřovací jehlou apod. Gravírované desky případně jiné předměty se upínají do jednoduchého, většinou symetricky se rozvírajícího svěráku, na upínací desku nebo na vakuový stůl.

➤ *Gravírovací plotry pro gravírování do rotačních předmětů*

Plotry, kde pohyb stolu v jedné ose je nahrazen rotací obráběného předmětu. Tyto stroje se používají pro rytí a gravírování do pohárů a podobných rotačních předmětů. Poháry jsou upínány do sklíčidel případně svírány mezi pryžové kužely, jedná-li se o sklo. Některé z těchto strojů jsou upraveny pro porývání malých desek.

➤ *Univerzální deskové plotry*

Jsou to univerzální stroje umožňující kreslení, řezání fólií a po výměně řezací hlavy za gravírovací i frézování a gravírování. Upínání desek bývá elektrostatické nebo vakuové. [8]



Obr. 7 Gravírovací stroj



Obr. 8 Gravírovací plotter pro gravírování do rotačních předmětů [10]

Gravírovací nástroje

Gravírovací nástroje lze také rozdělit. Různé nástroje jsou vhodné pro různě tvrdé materiály, pro odřezávání, práci s drolivými materiály apod.

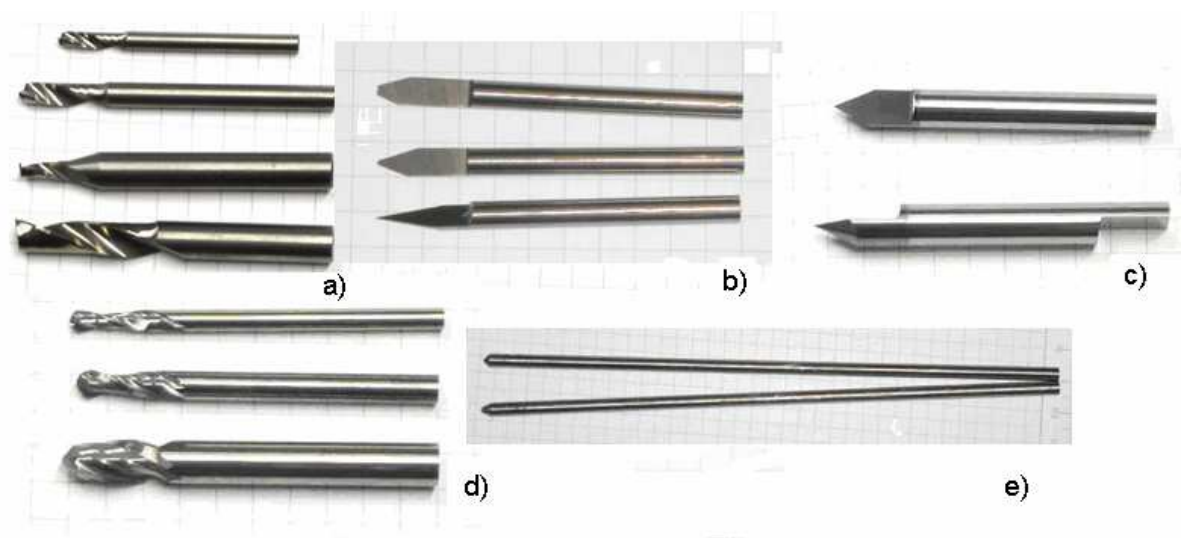
Diamantový hrot broušen do tvaru kužele se při gravírování netočí, pouze do materiálu ryje. Používá se např. do zlata, stříbra a nerez, a to všude tam, kde je nutno vytvořit velmi jemnou rytinu. Napodobuje vlastně ruční rytí.

Diamantový hrot (broušen jako jehlan nebo kužel a je asi o 0,02 mm vyosený), který se při rytí točí. Tímto nástrojem ryjeme do skla, mramoru a dalších tvrdých křehkých materiálů

Diamantové korunky mají větší plochu gravírování a používají se do podobných materiálů jako diamantové hroty, pro vytvoření velikých obrazců.

Půlené frézy jsou nejčastěji ocelové. Je to univerzální a nejpoužívanější gravírovací nástroj. [9]

Frézy se spirálovým ostřím. Jednobřité používáme na vyřezávání z plastů, vícebřité na tvrdší materiály a frézy s profilovaným ostřím pro materiály tvrdé ale drobivé (lamináty, uhlík apod.). [8]



Obr. 9 Gravírovací nástroje

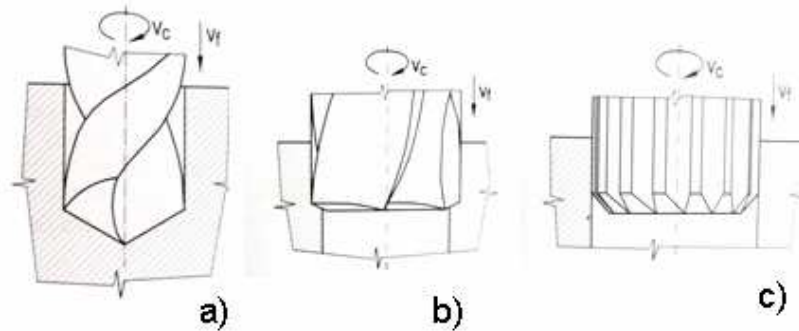
a) pro zpracování hliníku, jeho slitin, plastů, dřeva, atd., b) pro zpracování mosazi a hliníku, c) speciálně určené pro zpracování oceli a nerez, d) dvoubřité kopírovací nástroje vhodné na modelování reliéfů, univerzální e) diamantové nástroje [9]

1.1.3 Vrtání, vyhrubování, vystružování a zahlubování

Vrtání je obrábění, které je určeno pro vytváření vnitřních rotačních ploch. Při vrtání obráběcí nástroj rotuje a současně vykonává posuvový pohyb ve směru své osy.

Vyhrubování je technologická operace následující po vrtání a mající za cíl zvýšení přesnosti děr a snížení jejich drsnosti. Vyhrubování se realizuje ručně nebo strojně výhrubníkem.

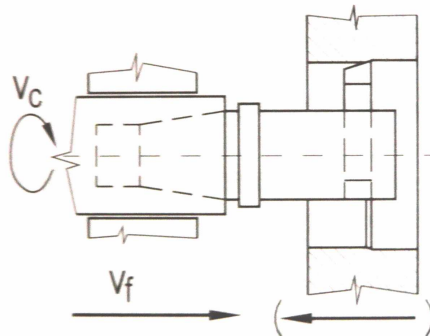
Vystružování je dokončování vyhrubovaných nebo vrtaných děr výstružníkem pro dosažení rozměrové a tvarové přesnosti. [2]



Obr. 10 a) vrtání, b) vyhrubování, c) vystružování

1.1.4 Vyvrtávání

Rozšiřování předhotovených děr nebo obrábění ploch, které s těmito dírami souvisejí. Při vyvrtávání rotuje nástroj a posuvový pohyb vykonává obrobek nebo nástroj. Metodou se dosahuje vysoké tvarové přesnosti a jakosti povrchu. [2]

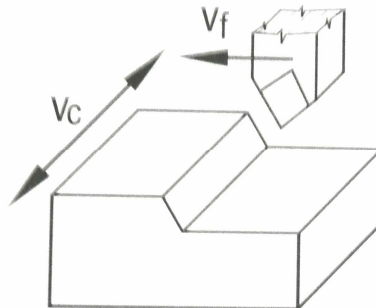


Obr. 11 Vyvrtávání

1.1.5 Hoblování a obrážení

Tyto technologie jsou určeny především pro vytváření dlouhých rovinných ploch jednobřítým nástroje – hoblovacím, nebo obrážecím nožem. Lze také vytvářet drážky i rotační plochy (pomocí zvláštních přípravků).

Při hoblování nástroj je stacionární a hlavní řezný pohyb – přímočarý – vykonává obrobek. Posuvový pohyb je přerušovaný a je realizován vždy na konci přímočarého vratného pohybu obrobku.

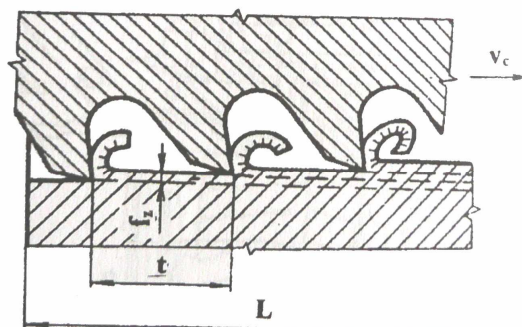


Obr. 12 Hoblování

Při obrázení obrobená součást je stacionární a hlavní řezný pohyb – přímočarý vykonává obráběcí nástroj. Posuvový pohyb je přerušovaný a je realizován vždy na konci přímočarého vratného pohybu nástroje. [2]

1.1.6 Protahování a protlačování

Protahování je vhodné pro výrobu rovinných, válcových, drážkovaných a jinak tvarovaných vnějších a vnitřních ploch. Úběr materiálu se realizuje obvykle přímým vícebřitým nástrojem (protahovacím trnem), který je tažen podél obrobku. Protlačování je principiálně stejná metoda s tím rozdílem, že nástroj (protlačovací trn) je tlačén. Zuby nástroje jsou výškově odstupňovány. [2]



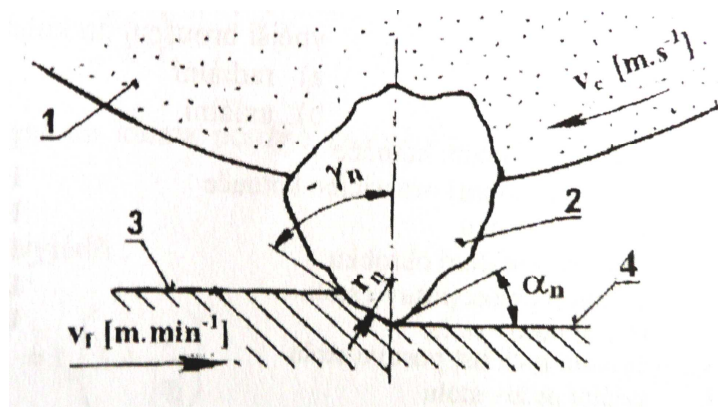
Obr. 13 Protahování

1.2 Obrábění nástroji s nedefinovanou geometrií

1.2.1 Broušení

Broušení je obrábění, při kterém se odebrává materiál obrobku zrný brusiva ve tvaru jemných třísek. Brousící kotouč vykonává rotační hlavní řezný pohyb. Posuvový pohyb vykonává obrobek nebo brousící kotouč. Broušení je určeno především pro vytváření přesných rovinných ploch, válcových ploch vnějších a vnitřních. Broušením lze také vytvářet kuželové plochy a plochy obecného tvaru. [2]

V důsledku velkých plastických deformací a vnějšího tření se určitá část třísky ohřeje natolik, že se roztaví a vytvoří kapky kovu nebo kov shoří. Jednotlivá brousící zrna mají nepravidelný geometrický tvar, vysokou tvrdost, odolnost proti teplotě, nepravidelné poloměry zaoblení ostří r_n řádu několik tisíc milimetrů.



Obr. 14 Model záběru při broušení

v_c – řezná rychlost, v_f – posuvová rychlost, γ_n – normální úhel čela, α_n – normální úhel hřbetu, r_n – poloměr zaoblení ostří

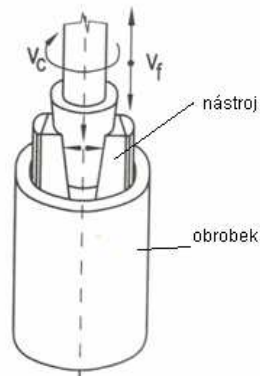
1 – brousící kotouč, 2 – brousící kotouč, 3 – obráběná plocha, 4 – obrobená plocha [3]

1.2.2 Leštění

Dokončovací technologie obrábění pro dosažení lesklého povrchu s menšími nároky na přesnost. Úběr materiálu je velmi malý a realizuje se brusivem pevně vázaným na textilní podklad (plátna, pásy, kotouče), brusivem volně rozptýleným v kapalině nebo pastě, které se nanášejí na textilní kotouče nebo pásy, nebo pouze textilními kotouči nebo pásy. [2]

1.2.3 Honování

Metoda pro jemné dokončování broušení vnitřních a méně často vnějších válcových ploch honovací hlavou. Ta má několik honovacích brousících kamenů, jejichž obálkou je válcová plocha. Honovací hlava vykonává rotační a vratný posuvový pohyb. Brousící kameny jsou přitlačovány k honované ploše určitým tlakem. [2]



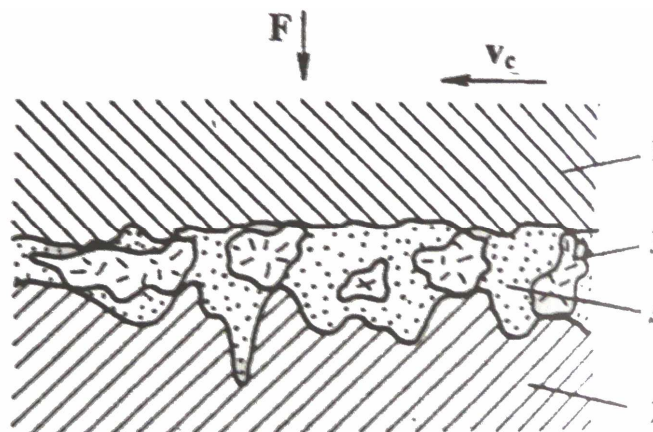
Obr. 15 Princip honování

1.2.4 Lapování

Dokončovací technologie obrábění, jíž je možno dosáhnout nejvyšší přesnosti rozměrů i geometrického tvaru a povrchů s nejnižší drsností. [2]

Používá se pro dokončování rovinných, válcových a tvarových vnějších i vnitřních ploch.

Lapování je zvláštní druh broušení, při němž k úběru materiálu dochází volným brusivem, které se přivádí mezi vzájemně se pohybující lapovací nástroj a obrobek.



Obr. 16 Schéma řezného procesu při lapování

1 – lapovací nástroj, 2 – lapovaná část, 3- brusivo, 4 – lapovací prostředí

v_c – rychlost lapování, F – síla vyvolávající tlak p_k mezi nástrojem a obrobkem [3]

1.2.5 Superfinašování

Je to zvláštní druh broušení, při němž se z dokončovaného povrchu odřezávají vrcholky nerovnosti velmi jemnými zrny brousícího nástroje – superfinašovacího kamene. Superfinašování je charakterizováno kmitavým pohybem superfinašovacího kamene, definovanou silou vyvolávající nízký tlak na obráběnou plochu a malými řeznými rychlostmi.

Superfinašovací kameny se používají s brusivem z umělého korundu a keramickou, nebo bakelitovou vazbou pro ocel, z brusiva karbidu křemíku pro litiny a oceli s nižší pevností. Pro superfinašování vysoce legovaných ocelí se používá kubický nitrid bóru v keramické vazbě, pro slinuté karbidy syntetický diamant. [3]

2 NEKONVENČNÍ METODY

Nekonvenčních metod obrábění se využívá hlavně pro materiály, které jsou běžným mechanickým způsobem těžce obrobitelné nebo jsou neobrobitelné, jsou to např. kompozitní materiály s kovovou maticí, monolitické a kompozitní keramické materiály, některé polymery apod. Těžkosti vznikající při obrábění těchto materiálů vyplývají z jejich vysoké tvrdosti, křehkosti, žárupevnosti, nevhodných tepelných vlastností, chemické reaktivity s řezným nástrojem, nehomogenní mikrostruktury apod. [6]

Tab. 1 Základní rozdělení nekonvenčních technologií [11]

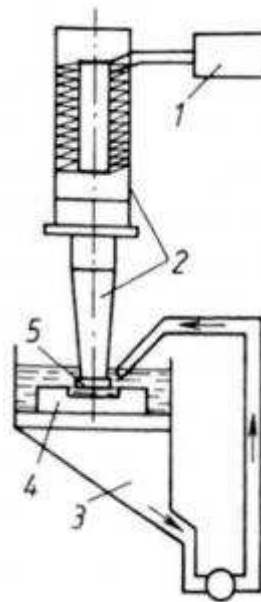
Mechanické procesy	Obrábění ultrazvukem	USM Ultrasonic Machining
	Obrábění proudem brusiva	AJM Abrasive Jet Machining
		AFM Abrasive Flow Machining
	Obrábění vodním paprskem	WJM Water Jet Machining
AWJM Abrasive Water Jet Machining		
Chemické procesy	Chemické obrábění	CM Chemical Machining
	Fotochemické obrábění	PCM Photochemical Machining
Elektrochemické procesy	Elektrochemické obrábění	ECM Electrochemical Machining
	Elektrochemické broušení	ECG Electrochemical Grinding
Elektrotepelné a tepelné procesy	Elektrojiskrové obrábění	EDM Electrodischarge Machining
	Obrábění laserem	LBM Laser Beam Machining
	Obrábění paprskem elektronů	EBM Electron Beam Machining
	Obrábění paprskem iontů	IBM Ion Beam Machining
	Obrábění paprskem plasmy	PAM Plasma Arc Machining

2.1 Mechanický princip úběru materiálu

2.1.1 USM – obrábění ultrazvukem (Ultrasonic Machining)

Obrábění ultrazvukem představuje proces, který využívá ultrazvukové vlny s frekvencí okolo 20kHz na úběr materiálu rozrušováním povrchu nárazovým účinkem rozkmitaného brusiva.

- Ultrazvukové obrábění (USIG alebo USM – ultrasonic impact grinding) – technologie ultrazvukového obrábění s použitím brusné suspenze a nerotujícího nástroje.
- Rotační ultrazvukové obrábění (RUM – rotary ultrasonic machining) – ultrazvukové obrábění rotačním nástrojem bez použití abrazivní suspenze. [11]



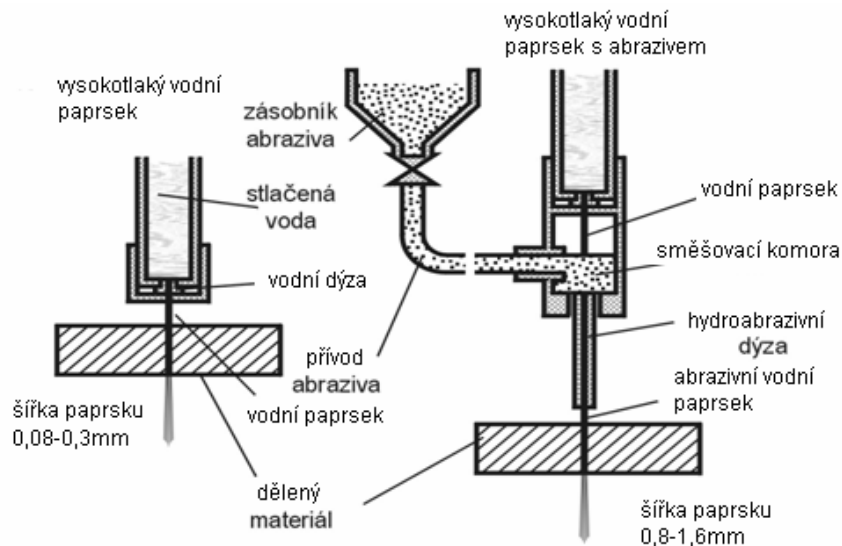
Obr. 17 Zařízení pro
obrábění ultrazvukem

1 – generátor ultrazvukových kmitů, 2 – systém pro vytvoření mechanických kmitů, 3 – přívod broušicích zrn a kapaliny, 4 – obrobek, 5 – nástroj [12]

2.1.2 WJM – obrábění vodním paprskem (Water Jet Machining)

Tlaková pumpa spolu s intenzifikátorem dodají vodnímu paprsku vysoký tlak 250-400 Mpa s průchodem přes dýzu o průměru 0,076 - 0,5 – 2 mm.

Rychlost paprsku je dvakrát vyšší jako rychlost zvuku. Přestavuje to vysokou koncentraci vodního paprsku na velmi malé ploše.



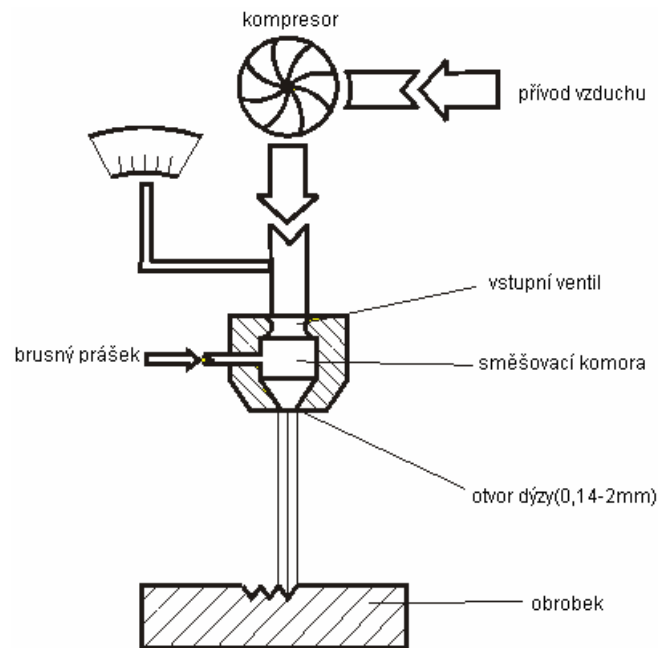
Obr. 18 Vysokotlaký vodní paprsek, vysokotlaký vodní paprsek s abrazivem

Výhody metody:

- studený řez bez tepelného ovlivnění, možnost řezání těžko obrobitelných materiálů, vysoká přesnost, vysoká rychlost řezání, malé stráty průřezu, řezání bez emisí, možnost řezat v různých směrech, možnost řízení pomocí pc. [11]

2.1.3 AJM – opracování abrazivním paprskem (Abrasive Jet Machining)

AJM je opracování povrchu mechanickým nárazem částice, kde k úběru materiálu dochází po dopadu vysokorychlostního proudu abrazivních částic s vysokou kinetickou energií. Je to proces pomalého úběru materiálu, generuje méně tepla, protože se používá stlačený vzduch jako nosné médium pro brusný prášek a je to proces lacinější. Materiál je při AJM odstraňovaný mechanickým působením směsi stlačeného vzduchu anebo jiného průmyslového plynu s velmi jemnými brusnými částicemi ve formě brusných prášků.



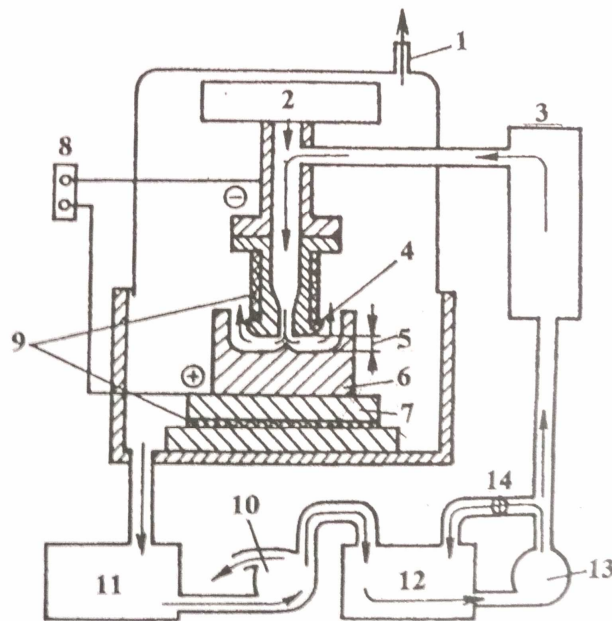
Obr. 19 Princip obrábění abrazivním paprskem [11]

2.2 Chemický a elektrochemický princip úběru materiálu

2.2.1 ECM – elektrochemické obrábění (Electrochemical Machining)

Elektrochemické obrábění je metoda beztliskového (bezsilového) řízeného obrábění elektricky vodivých materiálů. Využívá poznatků o působení elektrického proudu na elektrolyt, podstatou metody je fyzikální jev zvaný elektrolýza.

Obrobek (anoda) je ponořen do elektrolytu a dochází na něm k reakci, při níž se kationty elektrolytu slučují s anionty kovu na povrchu anody a postupně rozrušují (ubírají) kov z anody. Anoda kopíruje tvar katody (nástrojové elektrody). Měrný úběr materiálu závisí na minimální pracovní mezeře mezi elektrodami, jejím udržení na stále stejné velikosti (cca 0,05 až 1 mm), na teplotě, rychlosti proudění a složení elektrolytu [13]



Obr. 20 Princip elektrochemického obrábění

1 – odvod plyných produktů, 2 – posuv nástroje, 3 – filtr, 4 – nástroj, 5 – pracovní mezera, 6 – obrobek, 7 – přípravek, 8 – zdroj stejnosměrného proudu, 9 – izolace, 10 – odstředivka, 11- použitý elektrolyt, 12 – regenerovaný elektrolyt, 13 – čerpadlo, 14 - ventil

Elektrolyty jsou obvykle vodní roztoky anorganických solí, jako je chlorid sodný, chlorid draselný nebo nitrid sodný. Elektrolyt může obsahovat i jiná aditiva. [3]

Charakteristickým jevem je, že opotřebení nástrojové elektrody je nepatrný, nedochází k výrazné změně tvaru nástrojové elektrody. [11]

2.2.2 CM – chemické obrábění (Chemical Machining)

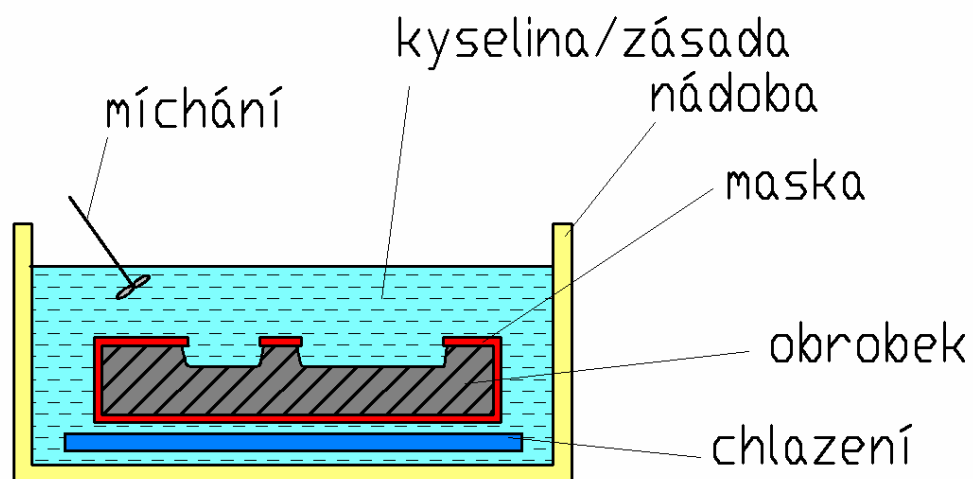
Tři směry chemického obrábění:

1. Chemické obrábění - využívá účinek leptání kyselinami nebo zásadami. Do této skupiny patří chemické frézování, chemické leštění a čištění.
2. Fotochemické obrábění – technologie chemického leptání tvarových otvorů do velmi tenkých materiálů a do fólií, které využívá poznatky fotochemické techniky.
3. Termické odstraňování materiálu – proces vyvinutý a používaný na odstraňování otřepů, který využívá tepelný účinek chemické reakce.

Princip technologie úběru materiálu spočívá v řízeném odstraňování (odleptávání) materiálu z povrchu obrobku o hloubce několik desetin milimetrů až několik milimetrů. Řízené odleptávání je založené na chemické reakci mezi obráběným materiálem a reaktivním prostředím, které tvoří kyselina nebo zásada. Místa, které mají zůstat neporušené se zakrývají tzv. maskami, chemicky odolnými látkami nebo speciálními povlaky.

Reaktivní prostředí nebo leptadlo – chemická sloučenina se speciálními přísadami pro zvýšení snášivosti. Pro Al-slityny a oceli se používají kyseliny, pro Ni a Cu slitiny zásady.

Masky – tvoří chemicky odolnou vrstvu, která musí být lehko odstranitelná před a po leptání. Hloubka masky se pohybuje v rozmezí 0,2 – 0,4 mm. Druhy doporučených materiálů pro masky a způsob jejich nanášení je dodáváný obvykle výrobcí zařízení pro chemické obrábění spolu s technologií.



Obr. 21 Princip chemického obrábění [27]

Nevýhoda: max. hloubka odleptání materiálu do 12 mm

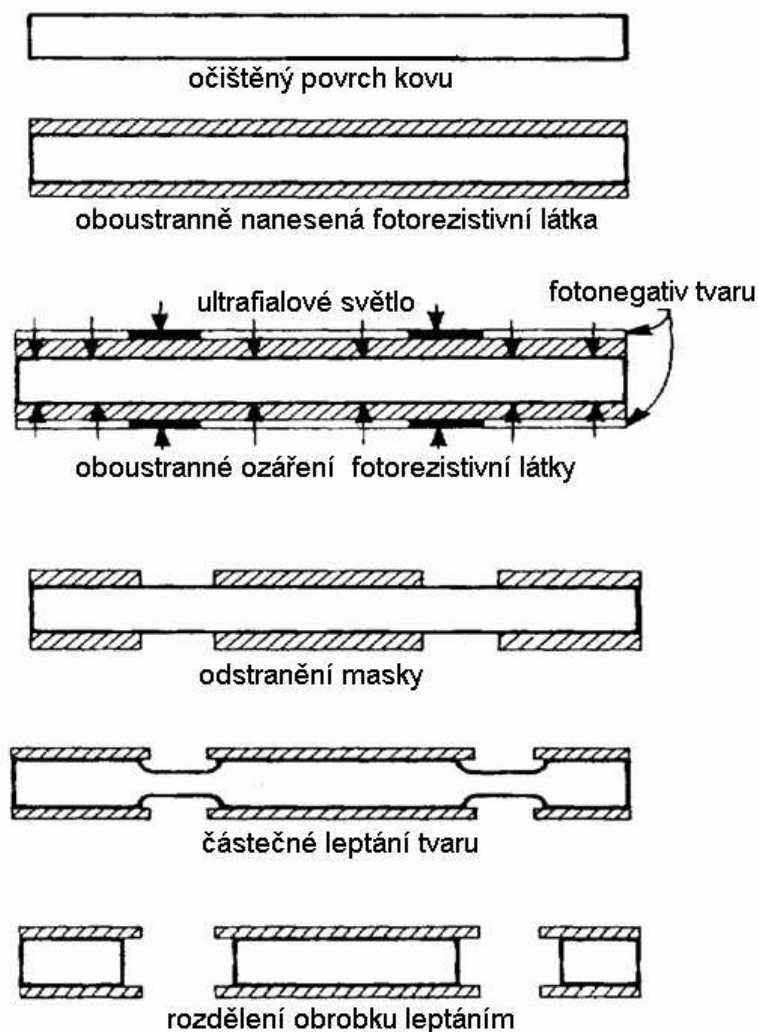
Výhody: nízké náklady na zařízení [11]

Fotochemické obrábění (PCM *Photochemical Machining*)

- modifikace chemického frézování, při kterém je materiál odebraný z povrchu fotografickou technikou. Je vhodné pro přesné tvarování kovových i nekovových materiálů.

Patří mezi metody určené pro fotolitografické zpracování materiálů v elektrotechnickém, strojírenském a polygrafickém průmyslu. Jsou to roztoky organických světlocitlivých látek a filmtvorných polymerů v rozpouštědlech, s jejich pomocí lze připravit na různých podložkách vrstvou citlivou k UV světlu. Po expozici a vyvolání těchto vrstev se získá na podložce reprodukce exponované předlohy. Vrstva, která zůstala na podložce, slouží jako ochrana vůči leptadlu, zatímco místa obnažená vyvoláním mohou být odleptána.

Podle způsobu zpracování se světlocitlivé roztoky rozlišují na negativně a pozitivně pracující. V prvním případě se exponovaná místa účinkem světla zesílí a zůstávají po vyvolání na podložce, zatímco místa, kde světlo nedopadlo, se ve výbojce rozpustí. Naopak u roztoků pozitivních dochází ke zvýšení rozpustnosti v alkalické výbojce, takže osvětlené plochy se vyvoláním obnaží. [27]



Obr. 22 Princip fotochemického obrábění [11]

2.3 Elektrotepelný princip úběru materiálu

2.3.1 EDM – elektroerozivní obrábění (Electrodischarge Machining)

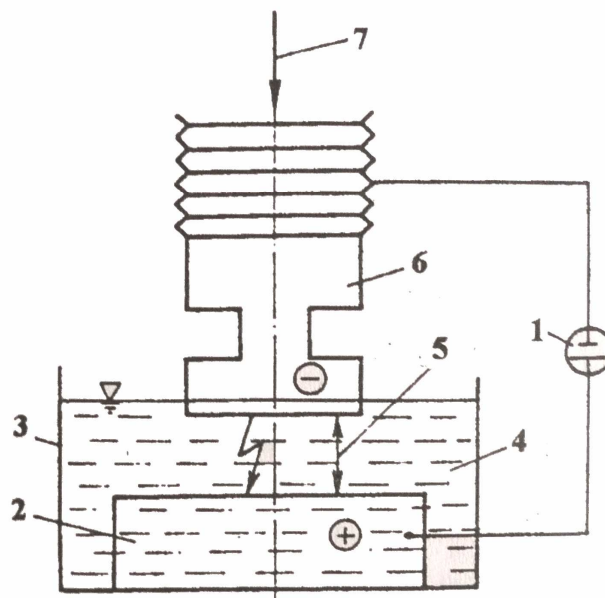
Elektroerozivní obrábění zahrnuje řadu metod, které mají jeden společný znak – úběr materiálu je vyvolán periodicky se opakujícími elektrickými, popř. obloukovými výboji.

Obrábění probíhá na dvou elektrodách oddělených jiskrovou mezerou velikosti 0,01 – 0,5 mm a ponořených v dielektrické kapalině. Výboj mezi elektrodami vzniká v místě nejsilnějšího elektrického napětového pole, které vytváří ionizovaný kanál umožňující přechod jiskry mezi nástrojem a obrobkem.

Každá jiskra produkuje teplo dostatečné k roztavení nebo odpaření malého množství materiálu. Na povrchu zůstávají mikroskopické krátery.

Oddělení materiálu probíhá tak, že stejnosměrný proud je dodáván do pracovního okruhu v pulzech, které mají čtvercový průběh. Přitom každý pulz vytváří jiskru. [3]

Z mezery mezi nástrojem a obrobkem jsou produkty elektrolýzy odnášeny pomocí dielektrické kapaliny, která mezi nimi proudí. [11]



Obr. 23 Princip elektroerozivního obrábění

1 – generátor, 2 – obrobek, 3 – pracovní vana, 4 – pracovní kapalina, 5 – pracovní mezera, 6 – nástrojová elektroda, 7 – posuv nástrojové elektrody [26]

Rozdělení v závislosti na fyzikálních podmínkách:

- Elektrojiskrové
- Elektroimpulzní
- Elektrokontaktní
- Anodomechanické

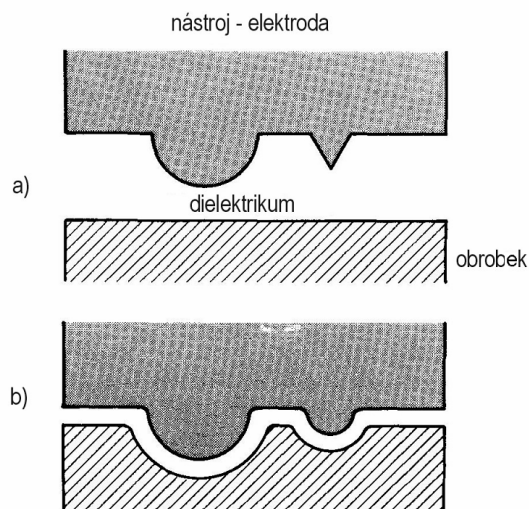
Rozdělení pomocí technologických možností:

- hloubení, nebo tvarové elektroerozivní obrábění
- drátové řezání
- broušení [11]

Elektroerozivní hloubení

Elektricky vodivý materiál se obrábí jiskrovými výboji mezi elektrodou zapojenou na záporný pól a obráběným předmětem zapojeným na kladný pól, mezi kterými je dielektrické prostředí.

Nástrojová elektroda se při obrábění automaticky posouvá a udržuje se nastavená hodnota mezery. Tvar elektrody se kopíruje do obrobku, přičemž se elektroda částečně opotřebovává. [11]



Obr. 24 Konfigurace elektrod při hloubení

a) Výchozí tvar nástrojové elektrody a obrobku

b) Konečný tvar nástrojové elektrody a obrobku po hloubení

Dielektrikum

Jako dielektrika se používají strojní olej, transformátorový olej, petrolej, destilovaná voda, deionizovaná voda a speciální dielektrika. Přívod dielektrika mezi obrobek a nástrojovou elektrodu, tzv. vyplachování, je možné realizovat několika způsoby: vnější vyplachování- Nejčastěji se používá při obrábění dutin o větší hloubce. Je vhodné použít jej v kombinaci s pulzním vyplachováním.

vnitřní tlakové vyplachování- Dielektrikum je přiváděno otvorem v nástrojové elektrodě přímo do pracovního prostoru. Nevýhodou je menší tvarová přesnost boků vyráběné dutiny. vyplachování odsáváním- realizuje se odsáváním dielektrika dutinou v nástrojové elektrodě nebo v obrobku. Vyznačuje se velmi dobrou tvarovou přesností obráběné dutiny.

pulzní vyplachování: je charakterizováno přerušením procesu elektroeroze na 0,15 až 10 s za současného oddálení nástrojové elektrody od obrobku, čímž se zvětší pracovní mezera mezi obrobkem a elektrodou, a dosáhne se tak jejího dokonalého vypláchnutí. Tento způsob vyplachování je výhodný při výrobě hlubokých dutin, při použití tenkých elektrod nebo při obrábění načisto.

kombinované vyplachování: jedná se o kombinaci vnitřního tlakového vyplachování a odsávání, čímž lze dosáhnout přesných tvarů obráběné dutiny. [26]

U moderních strojů se na zlepšení účinnosti odplavení používají vysokofrekvenční vibrace. [11]

Nástrojové elektrody

Jako nástroje se u elektroerozivního obrábění používají nástrojové elektrody, které jsou důležité z hlediska technického i ekonomického. Nástrojová elektroda se navrhuje a konstruuje pro každý případ obrábění samostatně. Náklady na její zhotovení činí až 50 % z celkových výrobních nákladů. Důležité je pečlivě volit materiál, způsob výroby a také způsob upínání ve vřetenu podle použitého stroje, u strojů s automatickou výměnou elektrod také uložení a identifikaci elektrody v zásobníku nástrojů.

Materiály pro výrobu elektrod: - kovové: elektrolytická měď, slitina wolframu a mědi, slitina wolframu a stříbra, ocel, slitina chromu a mědi, mosaz

- nekovové: grafit

- kombinované: kompozice grafitu a mědi.

Materiál nástrojové elektrody se volí podle materiálu obrobku, použitého stroje a relativního objemového opotřebení nástrojové elektrody. Při stanovení rozměrů nástrojových elektrod se vychází: z požadovaného rozměru dutiny, z velikosti pracovní mezery, z požadované drsnosti obrobeného povrchu, z tloušťky narušení obrobeného povrchu, z minimální hodnoty, o kterou musí být nástroj menší, aby se dosáhlo požadovaného rozměru dutiny. [26]

Dosahované parametry

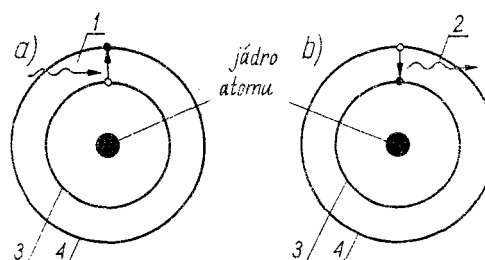
Kvalita povrchu opracované plochy je dána její drsností a také jejím stavem, tzn. složením. Dosahovaný úběr materiálu obrobku činí 8 až 10 mm³.min⁻¹. [26]

2.3.2 LBM – laserové obrábění (Laser Beam Machining)

Slovo laser [lejzr] pochází z angličtiny. Je složené z počátečních písmen anglického názvu popisujícího jeho funkci: Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation, což by se dalo přeložit jako zesílení světla pomocí vynucené (stimulované) emise záření. České pojmenování laseru je kvantový generátor světla Z definice vyplývá, že laser je zařízení, které přeměňuje dodávanou energii na laserové světlo. energii můžeme dodávat různým způsobem, například opticky, chemicky, elektricky atd. Vzhled samotných laserů je velmi různorodý. [14]

Fyzikální podstata laseru

Princip funkce laseru je možné objasnit na základě pojmu kvantové fyziky pomocí zjednodušeného planetárního modelu atomu.



Obr. 25 Model atomu

1 - absorbovaná energie $E_1 - E_0$, 2 - emitovaná energie $E_1 - E_0$, 3 - dráha odpovídající základní energetické hladině E_0 , 4 - dráha odpovídající vyšší energetické hladině E_1

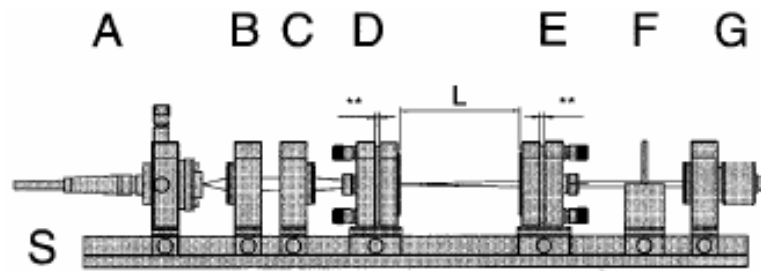
V tomto modelu okolo kladně nabitého jádra - protonu - krouží na uzavřených drahách elektrony, které podléhají přitažlivým elektrostatickým silám. Každé dráze přísluší přesně určené množství energie, zvané energetická hladina. Čím je dráha elektronu bližší jádru, tím je jeho energie menší. Za normálních podmínek se atom nachází v kvantovém stavu s nejmenší energií a tento stav se nazývá stavem základním. U atomu v základním stavu zaujímají všechny elektrony nejnížší energetické hladiny, příslušné drahám o nejmenších poloměrech. Energie elektronu v atomu může nabývat pouze určité hodnoty, a tedy elektron se může nacházet pouze na vymezených energetických hladinách. To znamená, že změny energie elektronu nemohou probíhat plynule, ale jen po skocích. [28]

Přechod elektronu ze základní energetické hladiny E_0 na vyšší energetickou hladinu E je doprovázen absorpcí a přechod z hladiny vyšší na základní - emisí přesně určené hodnoty energie. Tato hodnota energie, nazvaná kvantem, je rovna rozdílu energií mezi sousedními hladinami neboli rozdílu energetických hladin a je ve své podstatě elektromagnetickým zářením o určité frekvenci. [29]

Při popisu principu laseru se setkáváme s těmito třemi základními pojmy:

1. Inverze populace: Situace, při které je na vybuzené hladině více elektronů než na hladině základní. Toho se může docílit vhodným čerpáním aktivní látky. Toto čerpání může být optické, elektrické, chemické, čerpání jadernými reakcemi atd.
2. Aktivní prostředí: Látka, ve které se elektrony nebo molekuly dají vhodným čerpáním vybudit na požadovanou pracovní hladinu, ze které pak mohou emitovat záření. Pracovní látkou může být plyn, kapalina, krystal, polovodič, molekuly nebo plazma.
3. Otevřený rezonátor: Dutina, do které se vkládá aktivní látka a která zajišťuje jev zpětné vazby. Většinou je tvořena dvěma zrcadly, ze kterých je jedno polopropustné a druhé odrazné. V podstatě jde o to, že emitovaná vlna z aktivní látky se odráží nazpět a při zpětném přechodu vzbuzuje další a další vynucené emise fotonů.

Pro realizaci laseru je třeba zvolit takové aktivní prostředí, ve kterém lze vytvořit inverzi populace energetických hladin elektronů a současně zabezpečit pomocí otevřeného rezonátoru kladnou zpětnou vazbu pro zesilování generovaného záření. [30]



Obr. 26 Schéma laseru

S - optická lavice, A - laserová dioda, B - spojná čočka, C- sférická spojná čočka, D - Nd:YAG krystal, D-E - optický rezonátor, G - detektor výstupního záření [15]

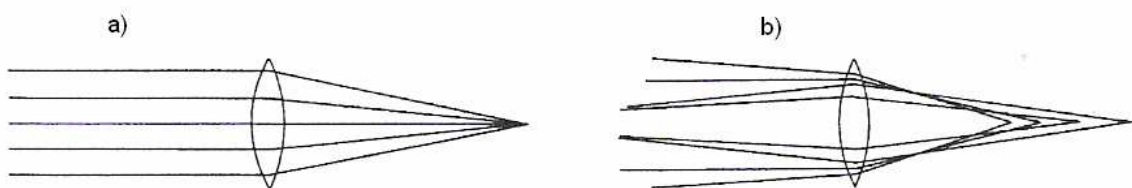
Základní vlastnosti laserového svazku

Bylo již uvedeno, že laser využívá tzv. stimulovanou emisi záření na produkci světelného paprsku, který má tyto základní vlastnosti:

- je vysoce monochromatické (jednobarevné) – světlo laserového paprsku má prakticky jen jednu vlnovou délku.

Vlnová délka (udávaná v nanometrech) určuje, v jaké části spektra se bude laserový paprsek pohybovat. Vlnová délka je navíc důležitá i pro velikost stopy laseru. [31]

Díky tomu, že laserové světlo je monochromatické a rovnoběžné, lze ho soustředit do intenzivního úzkého bodového svazku. Na obrázku vidíme srovnání laserového světla (a) a fokusovaného neparalerního světla (b), kde ohnisková vzdálenost závisí na úhlu dopadu částic paprsku.



Obr. 27 Srovnání laserového světla (a) a fokusovaného neparalerního světla (b)

- má vysoký stupeň prostorové a časové koherence (uspořádanosti) - záření je prostorově koherentní (všechny částice světelné vlny kmitají se stejnou fází v rovině kolmé na směr šíření paprsku), záření je časově koherentní (všechny částice světelné vlny kmitají se stejnou fází ve směru šíření paprsku).

- má minimální divergenci (rozbíhavost) - záření se v prostoru nešíří všemi směry, ale v úzkém svazku a fokusací na malou plochu lze dosáhnout extrémně vysoké hustoty výkonu (až 10^{14} Wcm^{-2}).
- má vysokou výstupní intenzitu $I [\text{W.cm}^{-2}]$, která není nijak limitována zákony záření absolutně černého tělesa.
- má módovou strukturu (TEM – „transverse electromagnetic mode“) - tvar průřezu svazku záření je významně závislý nejen na vlnové délce fotonů, ale také na sousostí, vzdálenosti a zakřivení zrcadel a na průměru laserové trubice (u CO_2 laserů výbojové trubice).

V příčném průřezu paprsek vytváří buď jen jednoduchou stopu – základní mód nebo složitější obrazce pravouhle nebo kruhově symetrické. Je to dané tím, že uvnitř laserového rezonátoru získává elektromagnetické pole generované stimulovanou emisí záření určitou konfiguraci – mód, v závislosti na okrajových podmínkách rezonátoru. Největší hustoty energie při dané výstupní energii laseru je možné dosáhnout lasery pracujícími v základním módu označovaném TEM_{00} (index charakterizuje symetrii elektromagnetického pole v rovině kolmé na směr šíření paprsku). Mód laseru určuje jeho vhodnost pro průmyslové použití. [11]

průřez A v rovině kolmé na směr paprsku	průřez B kolmý na A	půdorys	označení TEM (použití)
			TEM_{00} řezání
			TEM_{01} svařování, kalení
			TEM_{21}
			TEM_{32}
			multimód (řezání)
			multimód (nevhodné pro řezání)

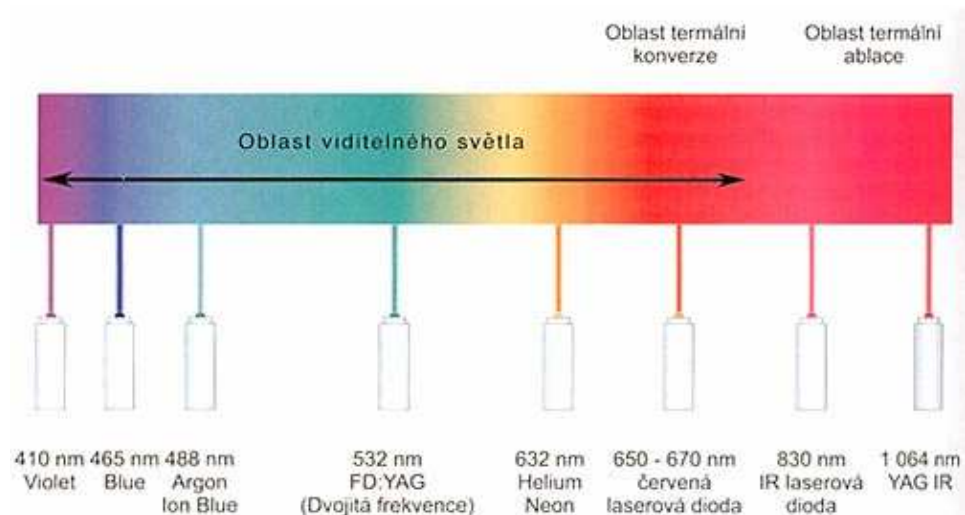
Obr. 28 Vybrané módy s jejich označením a vhodností použití [11]

Jak již bylo řečeno dříve, laserový paprsek díky jeho vlastnostem umožňuje jeho fokusaci do malého bodu s mimořádně vysokou hustotou energie v místě dopadu paprsku což má za následek natavení až odpaření materiálu, čímž se dosahuje výsledného efektu obrábění. Průměr nefokusovaného paprsku bývá řádově až několik milimetrů, takový paprsek není vhodný pro aplikace, kde je potřeba malá tepelně ovlivněná oblast jako třeba u řezání a svařování, proto je nutné laserový paprsek soustředit do úzkého svazku. [16]

Druhy laserů

Rozdělení laserů pomocí vlnové délky, ve které pracují:

Vlnové délky nám lasery dělí na lasery infračervené (IR), u kterých je vlnová délka vyšší jak 630nm, lasery pracující ve viditelném světle (380 – 630nm) a lasery ultrafialové (UV) pracující v oblasti pod 380nm.



Obr. 29 Vlnové délky pro různé typy laserů [27]

Rozdělení laserů pomocí aktivního prostředí: plynové, plynové excimerové, kapalinové, pevnolátkové a polovodičové.

Tab. 2 Rozdělení typů laserů podle aktivního média [27]

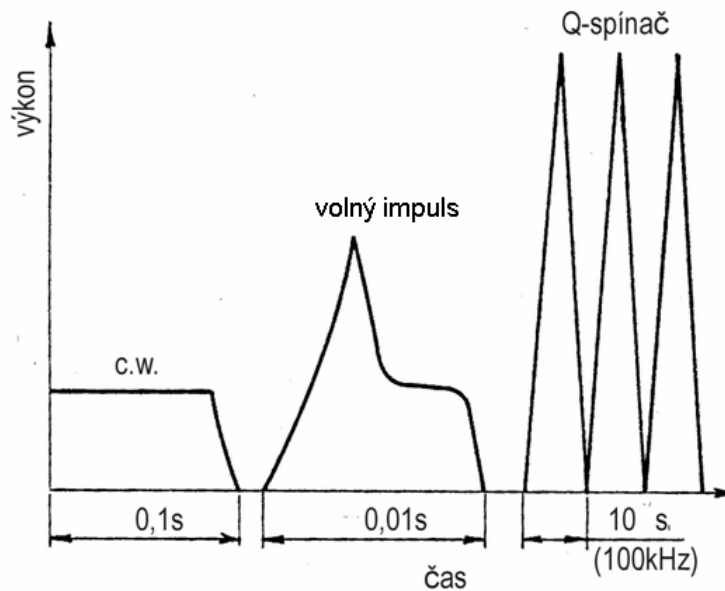
Aktivní médium:	Vlnová délka	Barva / spektrální oblast	Příklady použití	Poznámky
Plynové excimerové lasery:				Pulsní, výkon 20W až 250W
ArF	193 nm	UV	oční lékařství, fotolitografie	
KrCl	222 nm	UV	oční lékařství, laserová ablace	
KrF	248 nm	UV	oční lékařství	
XeCl	308 nm	UV	oční lékařství	
XeF	351 nm	UV	oční lékařství	
Ostatní plynové lasery:				
Argonový	488 nm, 514 nm	modrá, zelená	oční lékařství, spektroskopie	Kontinuální nebo pulsní, výkon 1 až 5000W
dusíkový	337 nm	UV		Pulsní
fluorovodíkový	2,7 μm	IR	nedestruktivní testování	Kontinuální, střední výkon 10KW
hélium-neonový	543 nm, 633 nm	zelená, červená	zaměřování polohy	Kontinuální, stř. výkon 0,05W
hélium-kadmiový	325 nm, 442 nm	UV, modrá		Kontinuální, stř. výkon 0,1W
kryptonový	476 nm, 528 nm, 568 nm, 647 nm	modrá, zelená, žlutá, červená	světelné show, oční lékařství	
CO ₂	10,6 μm	IR	svaření, řezání, zubní lékařství, strojírenství	vysoký výkon až 15 000W, kontinuální či pulsní
Barvivové (kapalinové) lasery:				
Rhodamin 6G	570-650 nm	žlutá, oranžová, červená	dermatologie	Laditelný
Kumarin C30	504 nm	zelená	oční lékařství, chirurgie	
Pevnolátkové lasery:				
rubínový	694 nm	červená	holografie, ostraňování tetování	Výkon 5W, pulsní
Nd:YAG	1064 nm	IR	litografie, chirurgie, pájení, spektroskopie, strojírenství	Kontinuální, výkon až 1200W
Ho:YAG	2,1 μm	IR	chirurgie, zubní lékařství	pulsní
Er:YAG	2,94 μm	IR	chirurgie, zubní lékařství	pulsní
Ti:safir	690 - 1000 nm	červená, IR	spektroskopie	laditelný
Polovodičové lasery:				
GaAs	650 nm, 840 nm	červená, IR	laserová ukazovátka, tiskárny	Výkon 2 až 10mW, pulsní
GaAlAs	670-830 nm	červená	telekomunikace, přehrávače CD, displeje	barva závisí na složení, střední výkon 1W
AlGaInP	650 nm	červená	přehrávače DVD	
GaN	405 nm	modrá	Blu-ray disky	
InGaAlP	630-685 nm	červená	lékařství	

Rozdělení laserů podle režimu, v kterém pracují: kontinuální režim, pulsní režim, Q režim

V kontinuálním režimu (continuous wave – CW) pracují v něm převážně plynové lasery. Dosahují se zde výkony řádově $10^4 - 10^5$ W.

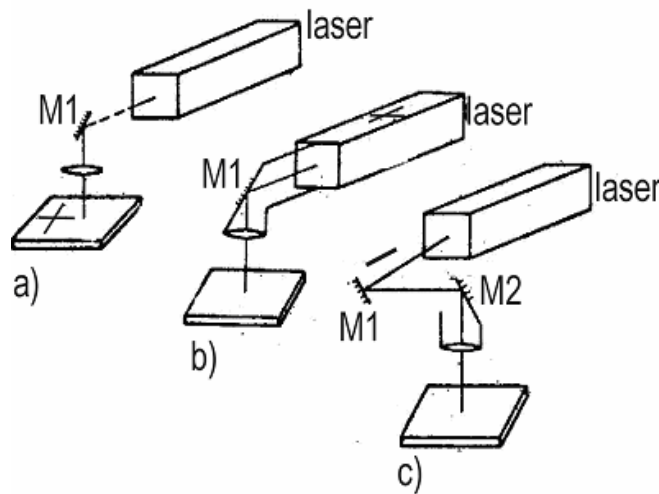
Pulsním režimu (pulsed wave – PW) dochází k přerušování budícího elektrického výboje v dutině laseru. Dosahují se zde výkony $10^{12} - 10^{13}$ W.

V režimu Q (switched – Qs) pracují hlavně nejčastěji pevnolátkové lasery. Výsledkem je poté okamžitý výstupní výkon o vysoké hustotě energie. [11]



Obr. 30 Druhy režimů laserů

A nakonec můžeme lasery dělit podle konstrukce zařízení, kde záleží na přenosu laserového paprsku na pracovní stůl.



Obr. 31 Rozdělení podle konstrukce laseru

- a) Systém pevného laseru a pohyblivého stolu, na kterém je upnutý obrobek
- b) Pohyblivý laserový systém a nepohyblivý obrobek.
- c) Systém pohyblivého paprsku, který je zabezpečený zrcadly a laserová hlavice a obrobek jsou stacionární (nepohyblivé) [11]

Gravírování (mikrofrézování) laserem

Gravírování se používá pro vytváření jednoduchých i velmi složitých reliéfů, především do kalených ocelí (např. do forem pro vstřikování plastů a zápustek), keramických materiálů, dřeva, gumy apod. Podstatou metody je odpařování materiálu v místě, kde působí paprsek laseru. Gravírování může být v rovině, v několika různých hloubkách nebo lze vytvářet prostorové reliéfy. Pro gravírování do kovových a keramických materiálů se používají především Nd:YAG lasery, pro gravírování do dřeva a gumy jsou vhodné CO₂ lasery. [17]

Fyzicky značení laserem spočívá v modifikaci povrchu materiálu vlivem laserového paprsku buď formou chemické reakce se změnou barvy povrchu (kovy, dřevo, speciální plasty), anebo odstraněním tenké vrstvy materiálu jeho vypařením. [18]



Obr. 32 Příklad gravírování laserem [17]

Používané typy laserů

Většina popisovacích zařízení používá plynové CO₂ nebo pevnolátkové Nd:YAG lasery. CO₂ lasery vyzařují na vlnové délce 10,6 μm a jsou vhodné pro značení nekovových materiálů, tj. dřeva, skla, některých plastů apod. Popis kovů tímto typem laserů je ztížen vzhledem k velmi vysoké odrazivosti (kolem 99 %), proto jsou v tomto případě vhodnějším kandidátem Nd:YAG lasery vyzařující na vlnové délce 1,06 μm. Nd:YAG lasery se rovněž používají na popis plastů, přičemž se pro zvýšení kontrastu do základního materiálu často přidávají aditiva (pigmenty), které vlivem laserového záření výrazně mění svoji barvu. [18]

Ve speciálních aplikacích, například při precizním značení či rytí kovů nebo při popisování plastů necitlivých k infračervenému světlu, se setkáváme s nasazením ultrafialových laserů. Vlastní laserový svazek slouží jako nástroj pro obrábění materiálu, ale se svazkem či vzorkem je třeba definovaně pohybovat. Většina laserových značících strojů tedy používá galvoskenner nebo XY plotrový systém. [18]

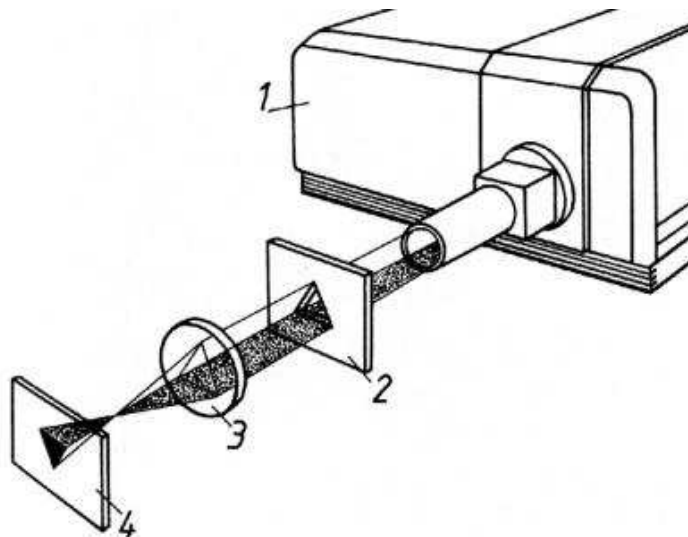
U plotrových systémů je fokusační hlava upnutá na pohyblivých kolejnicích, na nichž jsou umístěna i zrcadla, která směřují paprsek od laserového zdroje. Plotrové systémy umožňují značení a řezání na velkých plochách. Většina systémů tohoto typu je vybavená CO₂ lasery o výkonu od 25 W do 300 W. [18]

Alternativou k XY plotrům jsou systémy s řízením laserového paprsku pomocí galvoskenneru. Výstupní paprsek laserového generátoru se vychyluje dvěma zrcadly, čímž je

zajištěn pohyb paprsku po povrchu obráběného dílu v obou osách. Každé z těchto zrcadel je nasazeno na osu nezávisle řízeného galvoelementu. Takto uspořádaný systém se používá ve spojení jak s CO₂, tak i s Nd:YAG laserem. Galvoskenner oproti XY plotru poskytuje značně vyšší rychlost značení, avšak na menší ploše. Ve své nejjednodušší (2D) podobě gravírování není ničím jiným než hlubokým značením. Ovšem potřebujeme-li složitější profil, například šikmé okraje motivu (2,5D) nebo pravé trojrozměrné (3D) rytí, musíme zvolit laserový stroj s vysokou kvalitou svazku, vybavený zvláštním softwarem a systémem posuvu ohniska paprsku do hloubky materiálu. [18]

Existují dvě základní metody popisování laserem:

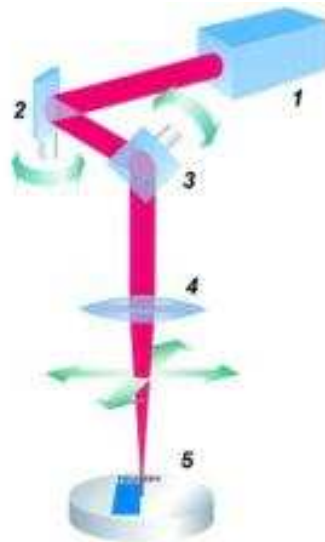
popis přes masku - celý text popisu je vyříznut v masce, která se vyrábí z mosazi, bronzu nebo ušlechtilé oceli. Paprsek laseru osvítlí najednou nebo po řádcích masku, a tím je popis přenesen na výrobek. Místa zakrytá maskou zůstávají nepopsána. Používají se lasery CO₂, Nd:YAG i excimerové. Mezi výhody této metody patří jednoduchý popisovací systém, relativně malé pořizovací náklady a vysoká rychlost popisování (až 3 000 znaků za minutu). Hlavními nevýhodami jsou malé popisovací pole (10 až 40 mm²), poměrně horší kvalita popisu, malá flexibilita a vyšší náklady spojené se změnou popisu, neboť je nutné vždy vyrobit a vyměnit celou masku. Metoda je vhodná především pro velké série popisovaných součástí.



Obr. 33 Princip popisování součástí přes masku

1 - laser, 2 - maska, 3 - objektiv pro zaostření paprsku, 4 – obrobek [19]

popis vychylováním paprsku laseru - paprsek vycházející z laseru je vychylován dvěma vzájemně kolmými zrcadly, jejichž pohyby řídí počítač. Používají se CO₂ lasery o výstupním výkonu 8 až 20 W nebo Nd:YAG lasery o výstupním výkonu 50 až 100 W. U CO₂ laserů má popisovací pole většinou rozměr 60 x 60 mm a rychlost popisování je maximálně 1 mm.s⁻¹. U pevnolátkových Nd:YAG laserů má popisovací pole velikost až 260 x 260 mm, rychlost značení je až 4 m.s⁻¹. Pro přenos paprsku lze použít vláknovou optiku, což umožňuje popisovat součásti také na málo přístupných místech. Při této metodě se dosahuje vysoká kvalita popisu s ohledem na jeho dokonalou čitelnost a kontrast. Významnou předností je vysoká operativnost a rychlost změny psaného textu, neboť jde pouze o provedení změny řídicího programu prostřednictvím počítače, čímž odpadá výroba a výměna masky.

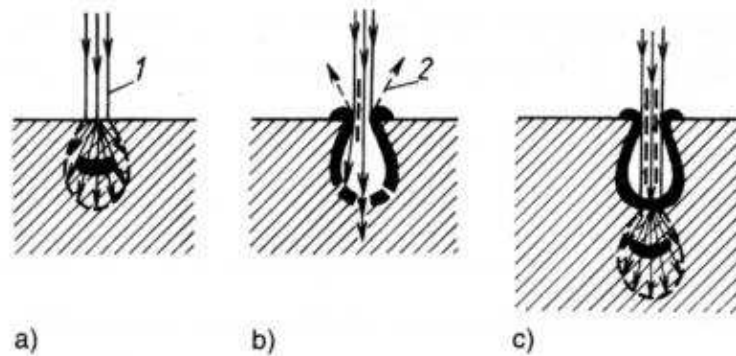


Obr. 34 Princip popisování
součástí vychylováním
paprsku laseru

1 - laser, 2, 3 - vychylovací zrcátko, 4 - objektiv, 5 – obrobek [19]

2.3.3 EBM – obrábění elektronovým paprskem (Elektron Beam Machining)

Obrábění elektronovým paprskem je založeno na využití kinetické energie proudu urychlených elektronů.



Obr. 35 Princip metody obrábění elektronovým paprskem:

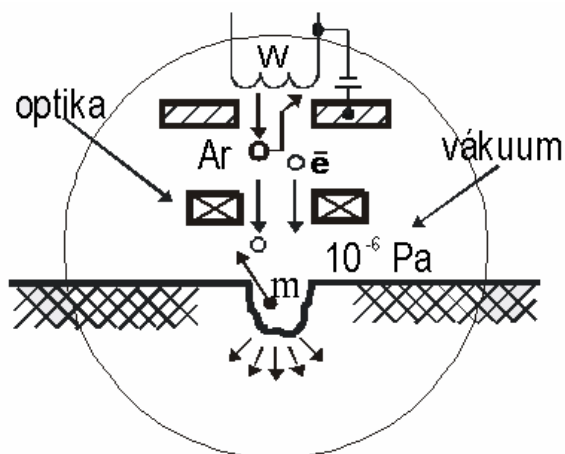
a) vnik elektronů do materiálu, b) erupční odpařování materiálu, c) opětový vnik elektronů do materiálu

1 – elektronový paprsek, 2 – páry odpařeného kovu

V místě dopadu paprsku elektronů se jejich kinetická energie mění v energii tepelnou. Materiál obrobku se taví a následně odpařuje. [20]

2.3.4 IBM – obrábění iontovým paprskem (Ion Beam Machining)

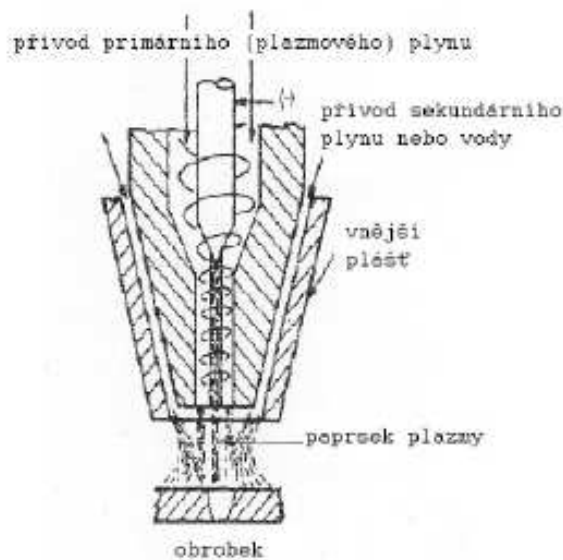
Je to proces, který probíhá ve vakuu, kde nabité ionty ze zdroje bombardují povrch obrobku pomocí urychlovacího napětí. Kinetická energie iontů při dopadu překračuje energii vazby atomů v materiálu to má za následek vypuzení atomů z povrchu. Používá se pro obrábění v mikro a nanorozměrech, a to při iontovém frézování, nanášení tenkých vrstev a modifikaci povrchu. [11]



Obr. 36 Princip obrábění iontovým paprskem

2.3.5 PAM – obrábění plazmovým paprskem (Plasma Arc Machining)

Plazma, jako čtvrté skupenství látky, je elektricky vodivý stav plynu, který se na zemi vyskytuje jen výjimečně. [11] Základem obrábění plazmatem je ohřev nebo tavení materiálu za extrémně vysokých teplot (nad 1 000 °C), které vznikají rozkladem molekul plynu při jejich průchodu elektrickým obloukem. Oblouk hoří mezi netavící se katodou vyrobenou z wolframu a anodou, která je tvořena opracovávaným materiálem nebo tělesem hořáku. [21]



Obr. 37 Základní konfigurace hořáku pro plazmový oblouk

Záporně nabitá elektroda a kladně nabitý obrobek tvoří oblouk. Plazmový plyn je ionizovaný a ohříván na vysokou teplotu. Sekundární přívod plynu chrání oblast tavení materiálu. [11]

3 KONSTRUKCE A VÝROBA PLÁŠŤŮ PNEUMATIK

3.1 Konstrukce plášťů pneumatik

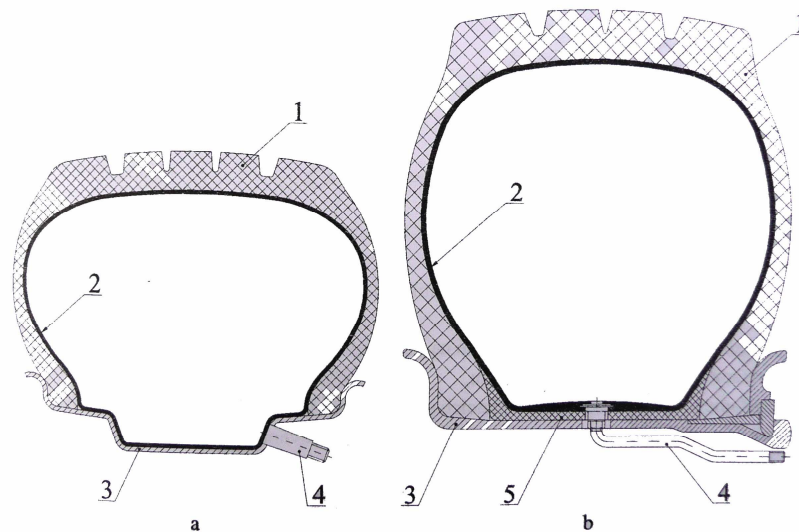
3.1.1 Pneumatika

U velkých vozů závisí na pneumatikách velká část jízdních vlastností a také na nich závisí naše bezpečnost. Pod názvem pneumatika si musíme představit konstrukční celek, který obsahuje samotný autoplášť, disk, ventil a další součásti, které zajišťují správnou funkci celé pneumatiky.

Úkolem pneumatiky je zajistit bezprostřední styk vozidla s vozovkou. Musí přenášet zatížení vozidla, zprostředkovat přenos krouticího momentu a reakce na volant, zajistit uspokojivé vlastnosti při jízdě. [22]

Pneumatika je strukturálně složitý celek, tvořící uzavřený prstenec ve tvaru toroidu. Pracuje na principu tlakové nádoby, u které stěny tvoří pružná membrána.

Pneumatiky se rozdělují podle jejich provedení na pneumatiky s duší a bezdušové pneumatiky.

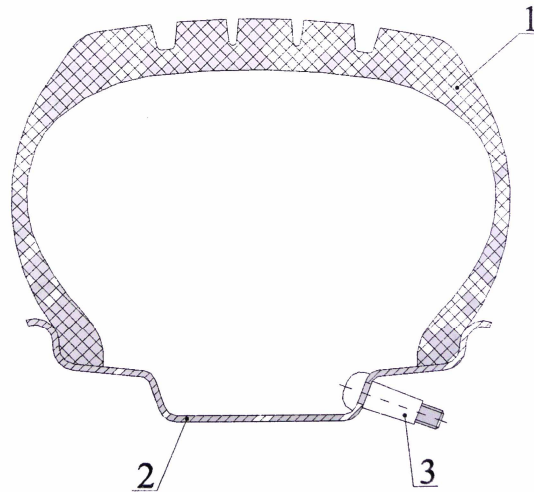


Obr. 38 Pneumatika s duší

a – pneumatika pro osobní automobily, b – pneumatika pro nákladní automobily.

1- plášť, 2-duše, 3-ráfek, 4-ventil, 5-ochranná vložka

Funkci duše u bezdušové pneumatiky nahrazuje hrubší gumová vrstva na vnitřním povrchu pláště (tzv. vnitřní guma), která má malou propustnost pro plyny.



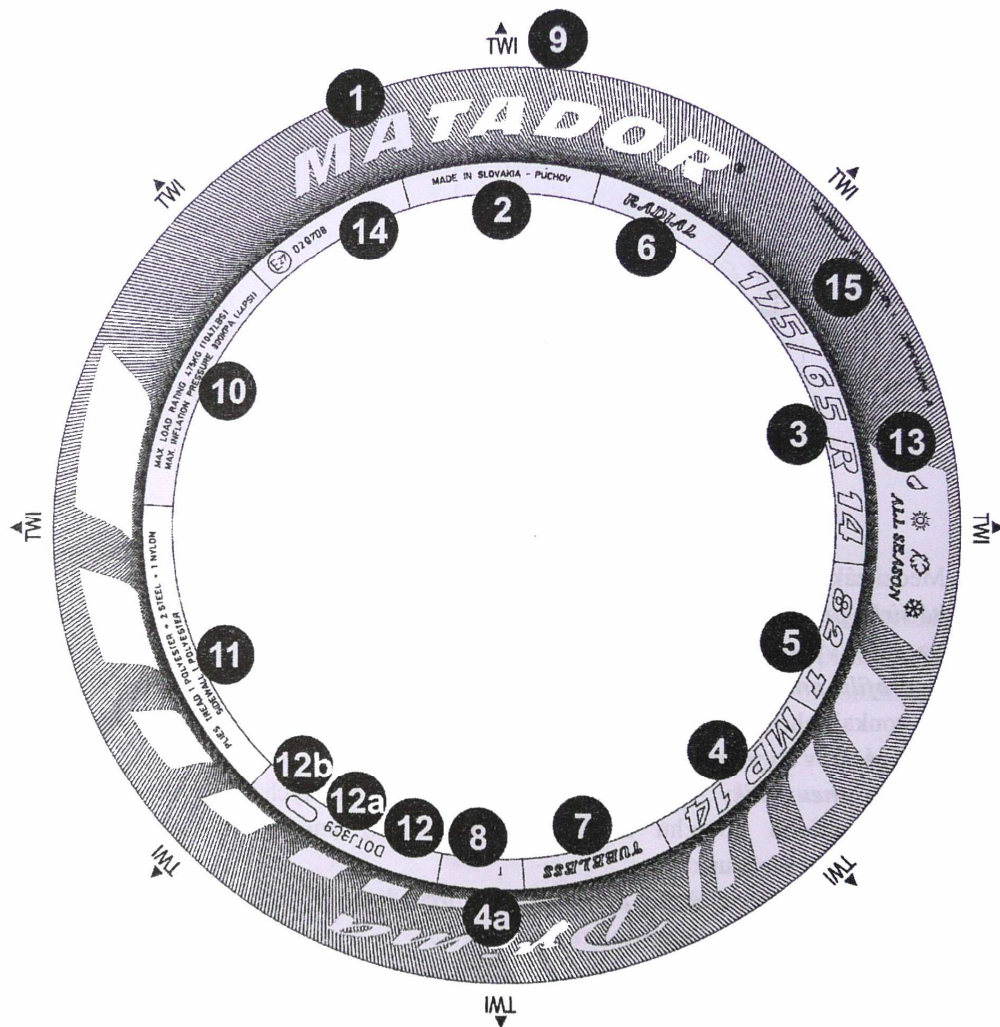
Obr. 39 Bezdušová pneumatika

1- plášť, 2- ráfek, 3- ventil

Plášť je pružná vnější část pneumatiky, která zabezpečuje styk s vozovkou a svou patkovou částí dosedá na ráfek. Duše je tenkostěnný gumový uzavřený prstenec, sloužící pro udržení potřebného tlaku vzduchu v pneumatice. Ventil umožňuje nahuštění a vypuštění vzduchu nebo jiného tlakového média. Ochranná vložka je gumový tvarovaný prstenec, chránící duši před možným poškozením způsobeným ráfkem. A nakonec ráfek je jedno nebo vícedílný prstenec, vytvarovaný pro uchycení pláště. Přenáší hnací sílu anebo brzdící sílu mezi patkou pláště a střední nosnou částí kola.[23]

3.1.2 Značení pneumatik

Každý výrobce pneumatik na pláště značí údaje, které udávají určité provozní údaje a další informativní hodnoty pro provoz pneumatiky.



Obr. 40 Značení bočnice pláště pro osobní automobily

- 1 – název výrobce
- 2 – označení lokality výrobce
- 3 – označení rozměru pláště
- 4 – označení dezénu
- 4a – obchodní název výrobku
- 5 – index nosnosti a index rychlosti
- 6 – konstrukce pláště
- 7 – provedení pláště
- 8 – označení pořadového čísla vyrobené formy
- 9 – TWI (Tread Wear Indication) – indikátor opotřebení dezénu

10 – údaje o maximální nosnosti pláště (v kg a Lbs), maximálním huštění (kPa a PSI)

11 – údaje o počtu vložek a jejich složení

12 – označení pro vývoz do USA

12a – J3 – kód výrobce Matador Úchov

C9 – kód rozměru pláště

12b – datum výroby (týden/poslední číslo resp. dvojčíslí roku výroby)

13 – označení pro celoroční použití pláště

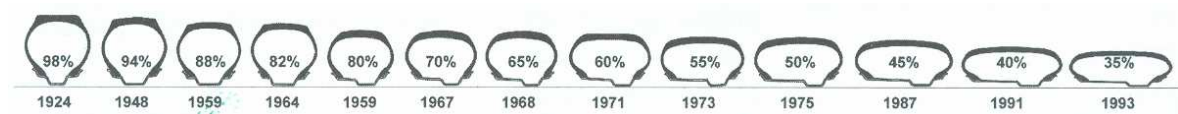
14 – homologizační znak

15 – označení podle předpisu UTQG:

- odolnost opotřebení běhounu
- velikost součinitele adheze
- odolnost proti dynamické únavě [23]

Vývoj profilového čísla v historii výroby pneumatik

Profilové číslo je vlastně poměr výšky profilu a šířky pláště udávaný v procentech. Díky zdokonalení automobilů a jejich systému odpružení je tendence vyrábět pneumatiky s větší šířkou pro dobrý přenos krouticího momentu a výkonu na vozovku a s menší výškou profilu pro dobrou trakci při zatáčení.



Obr. 41 Vývoj profilového čísla

Index nosnosti

Každý výrobce udává také index nosnosti LI, který udává maximální povolené zatížení jednotlivé pneumatiky. U osobních automobilů se index nosnosti pohybuje od 70 (335kg) do cca 95 (690kg).

Kategorie rychlosti

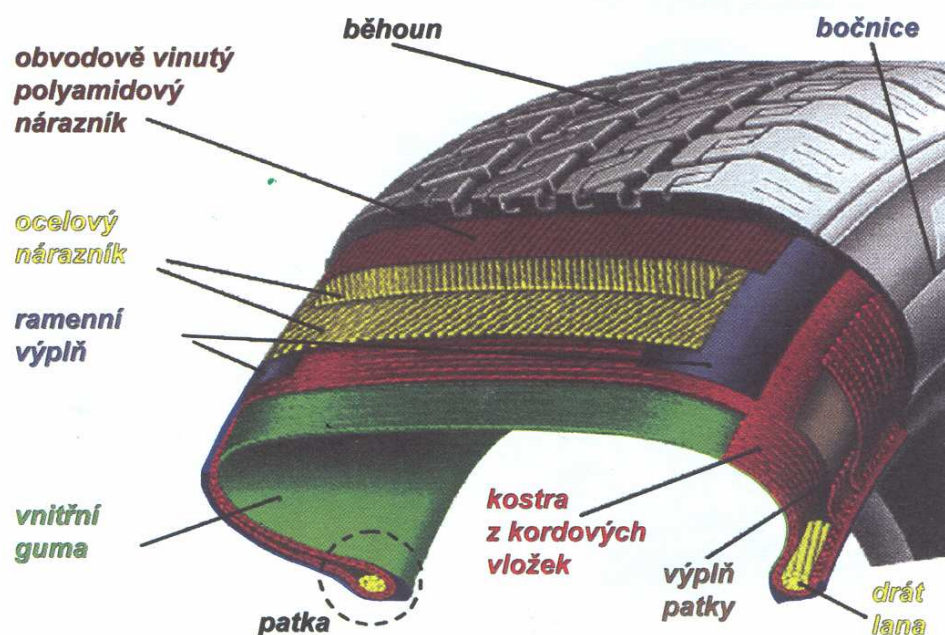
Kvůli zaručení bezpečnosti při použití určitého typu pneumatiky pro danou aplikaci udává výrobce tzv. SS (speed symbol) který udává maximální rychlost, při které může být pneumatika bezpečně použita. Dnes se nejčastěji pneumatiky vyrábí v rozmezí T (do 190km/h) do W (270 km/h). [22]

SS	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	B	C	D	E	F	G
km/h	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	60	70	80	90

J	K	L	M	N	P	Q	R	S	T	H	V	W	Y	ZR
100	110	120	130	140	150	160	170	180	190	210	240	270	300	max.

Obr. 42 Kategorie rychlosti

3.1.3 Plášť



Obr. 43 Struktura pláště [22]

- Kostra pláště – základní nosný prvek tvořený jednou, anebo více vložkami z pogumovaného kordu, které jsou zakotveny okolo patkových lan

- Patková lana – tvořená ocelovými dráty nebo pásky vysoké pevnosti. Spolu s gumovými a textilními výplněmi zabezpečují plynulé a bezpečné ukotvení kostrových vložek a usazení pláště na ráfek.
- Vnitřní guma – vrstva gumy nacházející se na vnitřní straně pláště. [23] Fólie nebo profil ze speciální plynonepropustné kaučukové směsi (halobutylu), která zabraňuje prostupování síry při vulkanizaci, vyrovnává nerovnosti uvnitř pláště a u bezdušových pláštů zaručuje plynonepropustnost. [22]
- Bočnice – chrání boční část pláště proti poškozením a povětrnostním vlivům. Je vyrobená ze směsi odolné vůči prolamování a vzniku trhlin.
- Běhoun – důležitá část pláště, která je v přímém styku s povrchem vozovky. Je vyrobený ze směsi, která má dobré adhezní vlastnosti a vysokou odolnost proti opotřebení.
- Nárazník – zachycuje obvodové namáhání, příčné síly a tlumí nárazy od vozovky. Je tvořený z jednotlivých, navzájem překřížených vrstev pogumovaného kordu.
- Výplně patky – jsou tvarované gumové profily, jejichž účelem je zlepšení plynulosti přechodu mezi jednotlivými konstrukčními prvky pláště. [23]

3.1.4 Konstrukce pláštů

Podle druhu konstrukce se pláště dělí na tři typy:

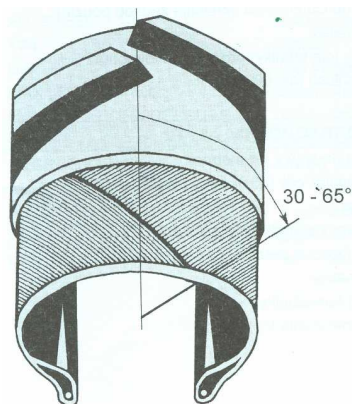
- diagonální pláště
- pláště smíchané konstrukce
- radiální pláště

Diagonální pláště

Jeho kostra je tvořena vložkami, u kterých se kordy v jednotlivých vrstvách kříží pod úhlem menším jak 90° . Může být doplněn nárazníkem o malé pevnosti, který nepřenáší obvodové namáhání, ale jen vyztužuje oblast kostry pláště. [23]

V současné době je výroba těchto pláštů v útlumu. Jedinou výhodou oproti radiální konstrukci pláštů je, že mají zvýšenou odolnost proti průrazu a deformaci v boku pláště.

Také výrobní náklady jsou nižší, než u radiální konstrukce. V současné době se s diagonální konstrukcí vyrábí jen některé typy autoplášťů pro agro stroje.



Obr. 44 Diagonální konstrukce pláště [22]

Pláště smíchané konstrukce

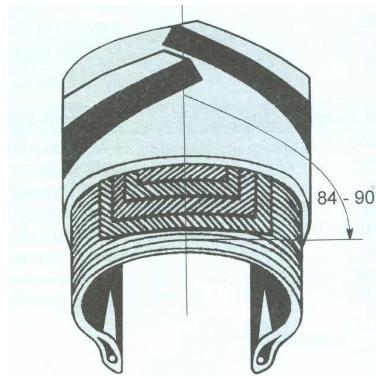
Nazývá se také někdy diagonální plášť s pásem. Má diagonální kostru s nárazníkem, které zachytává značnou část obvodového namáhání. Tvoří přechod mezi diagonálním a radiálním pláštěm. V současnosti se tato konstrukce nepoužívá. [23]

Radiální autoplášťě

Tato konstrukce se používá pro většinu dnešních plášťů zejména kvůli lepším vlastnostem. Hlavní přednosti těchto plášťů jsou: lepší záběr na vozovce, menší spotřeba pohonných hmot, širší plocha záběru dezénu s vozovkou, vyšší odolnost proti smyku, pohodlnější jízda, nižší valivý odpor a kratší brzdná dráha.

Při konstrukci se používá lichý nebo sudý počet kordových vložek, úhel jejich řezu je $84^\circ - 90^\circ$, u nárazníků je úhel řezu $18^\circ - 28^\circ$. Pro nákladní pláště až do 60° . [22]

Kostra je vyztužená v běhounové části pláště nárazníkem, který zachytává všechny namáhání v obvodovém směru. V porovnání s diagonálním pláštěm má tužší běhounovou část a ohebnější bočnicovou část. [23]

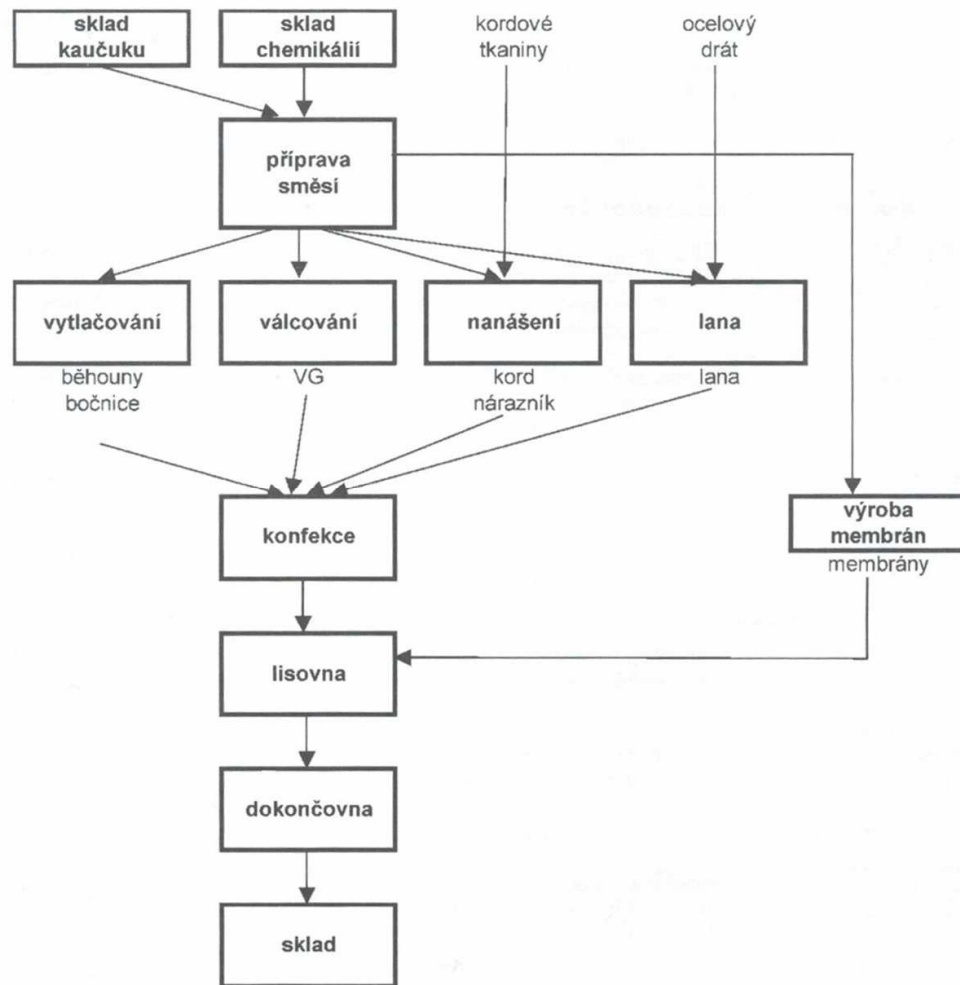


Obr. 45 Radiální
konstrukce pláště [22]

3.2 Výroba pláštěů pneumatik

3.2.1 Schéma toku materiálu ve výrobě osobních radiálních pláštěů

Výroba osobních autopláštěů je komplikovaný výrobní proces, který se skládá z mnoha technologických operací, které je potřeba skloubit do jednoho celku, tak aby byla dodržena kvalita a pružnost dodávky výrobků k odběrateli.



Obr. 46 Schéma toku materiálu [22]

3.2.2 Míchání směsí

Tento proces probíhá v dvouválcových strojích v hnětičích nebo kontinuálních hnětičích. Míchání probíhá v několika stupních. V prvním stupni se míchá pouze základ směsi (přírodní nebo syntetický kaučuk) s přísadou urychlovačů. Po zchlazení a odležení se přechází na další stupeň míchání a domíchávají se zde další přísady (vulkanizační činidla, aktivátory vulkanizace, antidegradanty, saze, změkčovadla atd.).

3.2.3 Příprava polotovarů

Jde o výrobu výztužných materiálů, které mají za úkol zajistit potřebné konstrukční požadavky, ty se pak pogumovávají a řezou podle potřeby. Je zde výroba patních částí pneumatiky, kostry, nárazníku.

K přípravě polotovarů také patří vytlačování profilů, kde je materiál tvářen průchodem přes hubici daného tvaru a je vytlačován do volného prostoru. Vyrábějí se tak polotovary potřebné k výrobě pneumatiky a to jsou bočnice, jádra, běhouny.

3.2.4 Konfekce pláštěů pneumatik

Konfekce pláštěů je výrobní proces, při kterém kompletováním jednotlivých, přesně stanovených polotovarů za přítomnosti médií konfekčního dojde stroje ke zhotovení surového pláště.

Konfekce diagonálních pláštěů

Při konfekci diagonálního pláště jsou jednotlivé kovové vložky ukládané na konfekční buben tak, že následující vložka má vždy opačný sklon kordových nití (čímž se zvyšuje odolnost proti mechanickému poškození). Výsledkem je surový diagonální plášť válcovitého tvaru, který se následně v procesu vulkanizace tvaruje ve vulkanizační formě.

Konfekce radiálních pláštěů

Tento způsob můžeme rozdělit podle technologie výroby na:

- b) dvoustupňová konfekce
- c) jednostupňová konfekce
- d) konfekce na velkokapacitních na vícebubnových linkách

Dvoustupňová konfekce – v prvním stupni dojde k zhotovení kostry, která má válcový tvar, poté v druhém stupni je kostra upevněná v patkách na konfekční buben a je vytvarován část ocelokordových nárazníků a běhounu.

Jednostupňová konfekce – princip spočívá v tom, že surový plášť je zhotovený na jednom stroji. A na jednom konfekčním bubnu, který je pevný, ale dokáže vytvarovat kostru pláště pro vytvoření nárazníků a běhounu.

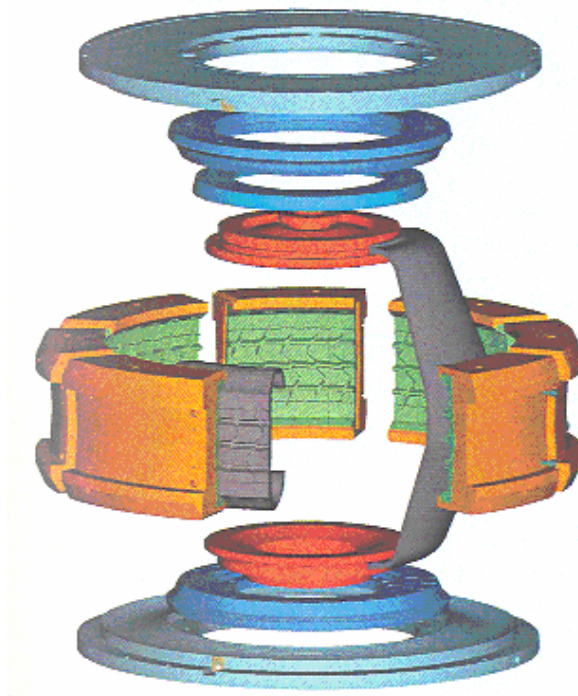
Konfekce na velkokapacitních na vícebubnových linkách – tyto linky jsou vybaveny více konfekčními bubny, na kterých se v jednom čase vykonávají operace v poloautomatickém nebo automatickém režimu. [22]

3.2.5 Lisování a vulkanizace pláštěů pneumatik

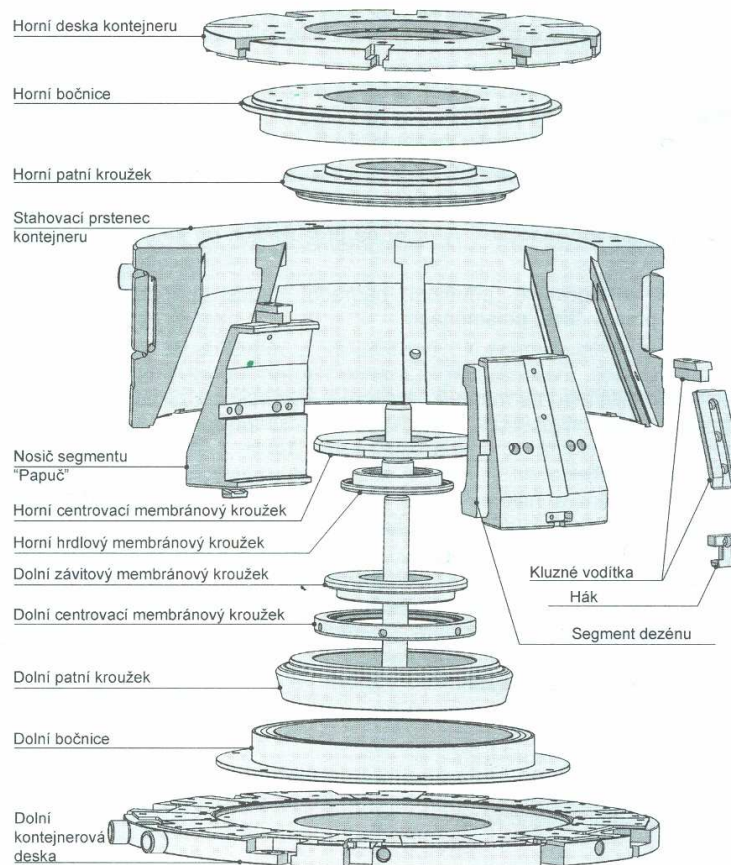
Pláště pneumatik obdrží konečný tvar a požadované vlastnosti procesem lisování a vulkanizace. Oba děje probíhají současně za přítomnosti vulkanizačních činidel teploty, tlaku a času. Lisování se děje v počátku procesu nástupem lisovacího tlaku při současném prohřevu surového pláště. Působením tlaku a teploty zaplní směs všechny části formy. S dalším prohřevem dochází ke zvyšování teploty nad 120°C začne probíhat vlastní proces vulkanizace. Teprve vulkanizací vzniká elastická pryž s potřebnými vlastnostmi důležitými pro užitnou hodnotu výrobku. Tyto vlastnosti jsou elasticita, tažnost, tvrdost, odolnost proti opotřebení, povětrnostním a chemickým vlivům. Lisování je proces závislý na tlaku, vulkanizace je děj, při kterém dochází ke strukturálním změnám. Makromolekuly kaučuku se vážou s molekulami vulkanizačních činidel a vznikají příčné vazby, materiál převážně plastický se mění v elastický. [22]

3.2.6 Formy pro výrobu pláštěů

Vulkanizační forma je zařízení, v kterém působením tepla a tlaku (vulkanizací) získává surový plášť výsledný tvar, rozměry a požadované fyzikálně-mechanické vlastnosti.



Obr. 47 Počítačový model řezu pláště, membrány a segmentové vulkanizační formy



Obr. 48 Popis částí vulkanizační formy [22]

Vulkanizační formy můžeme dělit na:

- dvojdílné vulkanizační formy
- segmentové vulkanizační formy

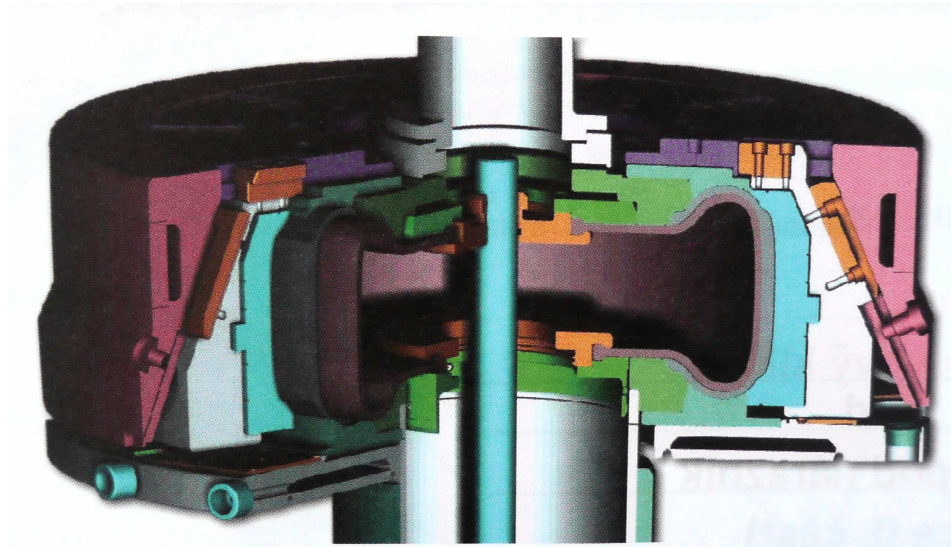
Dvojdílné vulkanizační formy

Jsou to formy s jednou horizontální dělicí rovinou složené obecně z horní a dolní poloviny. Tyto formy jsou poměrně jednoduché a mají využití hlavně při výrobě technologicky méně náročných diagonálních pláštů a při výrobě některých speciálních pláštů. Výhodou těchto forem je nízká cena a jednoduchá údržba.

Segmentové formy

Jsou to v podstatě vícedílné formy, sestávající v několika dezénových segmentů, horní a dolní bočnicové desky a patkových kroužků. Segmentové formy tvoří nejdůležitější konstrukční skupinu forem pro výrobu radiálních autopláštů. Někdy mají název radiálně dělené formy. Jsou s porovnáním s dvojdílnými formami několikanásobně dražší a náročnější

na údržbu i manipulaci, ale naproti tomu jiné výhody. A tou hlavní výhodou je, že díky radiálnímu pohybu segmentů se chovají ve fázi otvírání a zavírání formy k plášti šetrněji. To znamená, že nedochází k poškození dezénu a deformaci pláště, díky čemuž mají pláště vysokou kvalitu a přesnost.



Obr. 49 Řez segmentovou formou pro osobní pláště [22]

3.2.7 Výroba vulkanizačních forem

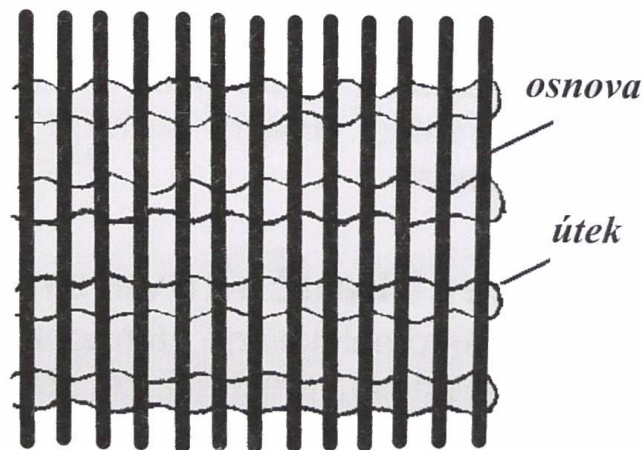
Donedávna nejrozšířenější technologií výroby dezénových částí bylo odlévání malých hliníkových segmentů, které se pak skládaly po celém obvodu formy. Tato technologie ale neměla dostatečnou přesnost a kvalitu povrchu a proto je již na ústupu. Více se využívá gravitační lití, které je poměrně dost využíváno při výrobě diagonálních plášťů.

Hlavními výrobními technologiemi pro výrobu moderních forem je v současnosti přesné lité do sádky a také frézování. [27]

4 MATERIÁLY AUTOPLÁŠŤŮ A POŽADAVKY NA NĚ

4.1 Výztužné materiály

Hlavními požadavky na výztužné materiály jsou pevnost v tahu a dále odolnost proti přetržení. Dále musí mít dobrou přilnavost ke kaučukové směsi. A v neposlední řadě také dobrou technologickou zpracovatelnost.



Obr. 50 Kordová tkanina [22]

4.1.1 Textilní materiály

Používají se pro kordy, nárazníky, monofil, monolino. Většinou jsou vyrobeny z materiálů jako je PAD, popřípadě PES pro speciální aplikace se používají i Nomexové (kevlarové) tkaniny.

Kordové tkaniny

Osnovu kordové tkaniny tvoří kordové příze různé konstrukce, tloušťky a pevnosti. Útek je vyroben z bavlny, nebo speciálního vlákna, je velmi tenký a pouze udržuje tkaninu v dostavě před nanesením kaučukové směsi. Jsou upraveny impregnací pro dobrou přilnavost ke kaučukové směsi.

Technické křížové tkaniny

Jsou to různé druhy technických tkanin s plátňovou vazbou, které se používají například na patní pásy a podobně.

4.1.2 Ocelové materiály

Ocelové kordy

Patří k materiálům s největší perspektivou. Dostavu tvoří pouze osnovní ocelové nitě splétané z tenkých drátků dle potřeby, jsou bez útku. Pro zvýšení adheze s kaučukovou směsí se pomosazují.

Dráty pro patní lana

Nejčastěji se používá ocelový pomosazený drát o průměru 0,89mm. [22]

4.2 Polotovary kaučukových směsí

Pro výrobu klíčových částí polotovarů jako jsou běhoun, bočnice, vnitřní guma, jádra lan, nárazníkové vrstvy, poduška, meziguma, patní pásek, nánosové vrstvy a různé druhy výplní potřebujeme různé druhy kaučukových směsí. Hlavní složkou je kaučuk, do kterého jsou přimíchány přísady pro získání určitých užitných vlastností.

4.2.1 Základní druhy kaučuků

Kaučuk je makromolekulární látka, která je primárně v termoplastickém stavu a působením vulkanizačních činidel mění své fyzikální vlastnosti na stav převážně elastický. Této chemické reakci říkáme vulkanizace.

Přírodní kaučuk

Je obsažen v latexu kaučukodárných stromů a keřů. Nejvýnosnějším druhem pro výrobu přírodního kaučuku je *Hevea Brasiliensis*, která se pěstuje převážně na plantážích v okolí rovníku. Výroba kaučuku začíná čepováním latexu, který vytéká z řezu stromů do připravené misky. Latex obsahuje asi 40% kaučuku, který se z něj dostává vysrážením pomocí kyseliny mravenčí, nebo octové. Získané bloky se propírají vodou, suší a konzervují uzením. [22]

Syntetický kaučuk

Je to důležitá surovina pro gumárenský průmysl. Nahrazuje přírodní kaučuk. V některých případech má lepší fyzikálně mechanické vlastnosti. Základní surovinou pro výrobu syntetických kaučuků je ropa.

Tab. 3 Některé druhy syntetických kaučuků, jejich označení a použití

Název	Označení a použití
Butadienstyrenový k.	Označuje se jako SBR, nejvíce se používá pro výrobu běhounových směsí.
Butadienový k.	Označuje se jako BR, zlepšuje mechanicko fyzikální vlastnosti běhounových směsí. Používá se v kombinaci s přírodním kaučukem a SBR.
Izoprenový k.	Značí se IR a lze jej použít do všech částí pláště, obvykle s přírodním kaučukem.
Butylkaučuk	Značení IIR, nepoužívá se pro výrobu pláštěů (nespojuje se s jinými druhy), hlavní použití má pro výrobu membrán pro lisování pláštěů a výrobu technické pryže.
Chlorbutyl	Značí se CIIR

4.3 Příspěvky do kaučukových směsí a pomocné látky

4.3.1 Vulkanizační činidla

Jsou to látky schopné vytvářet chemickou reakci za vzniku příčných vazeb mezi řetězci kaučukového uhlovodíku.. Nejpoužívanější je síra, oxidy kovů, reaktivní pryskyřice.

4.3.2 Urychlovače

Podporují činnost vulkanizačních činidel. Nejznámější jsou: Vulkacit, MOZ, Thiofise, Thiotax.

4.3.3 Aktivátory vulkanizace

Zvyšují účinek vulkanizačních činidel. Nejpoužívanější je zinková běloba a Stearin.

4.3.4 Retardéry vulkanizace

Zpomalují nástup vulkanizace do 120°C. [22]

4.3.5 Změkčovadla

Jsou to přísady změkčující tuhost kaučukové směsi a upravující tak její zpracovatelnost. [23] Také zvyšují lepivost směsi. Nejznámější jsou: Parafin, Cerezin, Ropné oleje, Asfalty, Dehty, Pyskyřice, Kalafuna apod. [22]

4.3.6 Plniva

- a) Ztužující- zlepšují fyzikálně mechanické vlastnosti, pevnost, pružnost, tvrdost, odolnost proti opotřebení. Nejpoužívanější jsou saze, Silika apod.
- b) Neztužující - zvětšují objem a tím zlevňují výrobek. Používá se křída a kaolin.

4.3.7 Antidegradanty, antioxidanty, antiozonanty

Zabraňují předčasnému stárnutí pryže vlivem působení kyslíku, ozónu, světla, dynamického namáhání. Nejpoužívanější jsou: Santoxlex IP, Antioxidant CD, PBN fenylbetanaftylamin.

4.3.8 Plastikační činidla

Zkracují dobu plastikace, odbourávají tuhost kaučuku. Nejpoužívanější jsou: Peptazin, Renacit.

4.3.9 Regenerát

Nahrazuje z části kaučuk, používá se do méně kvalitních směsí. Vyrábí se regenerací staré pryže.

4.3.10 Zvláštní přísady

- nadouvadla, faktivy, pigmenty, barviva. [22]

5 STANOVENÍ CÍLŮ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Dle zadání diplomové práce a obsahu teoretické části vyplývají následující úkoly pro praktickou část:

1. Dle požadavků zadání navrhnout možnosti pro popis dutiny formy na výrobu pneumatik využitím dostupných konvenčních a nekonvenčních metod obrábění (frézováním, fotochemickým obráběním, laserovým obráběním a elektroerozivním obráběním). Provést experimentální obrábění kovových dílců s následnou výrobou pryžových vzorků na lisu.
2. Provést analýzu těchto metod s cílem nalezení optimálního řešení jak po stránce technologické tak ekonomické.

II. PRAKTICKÁ ČÁST

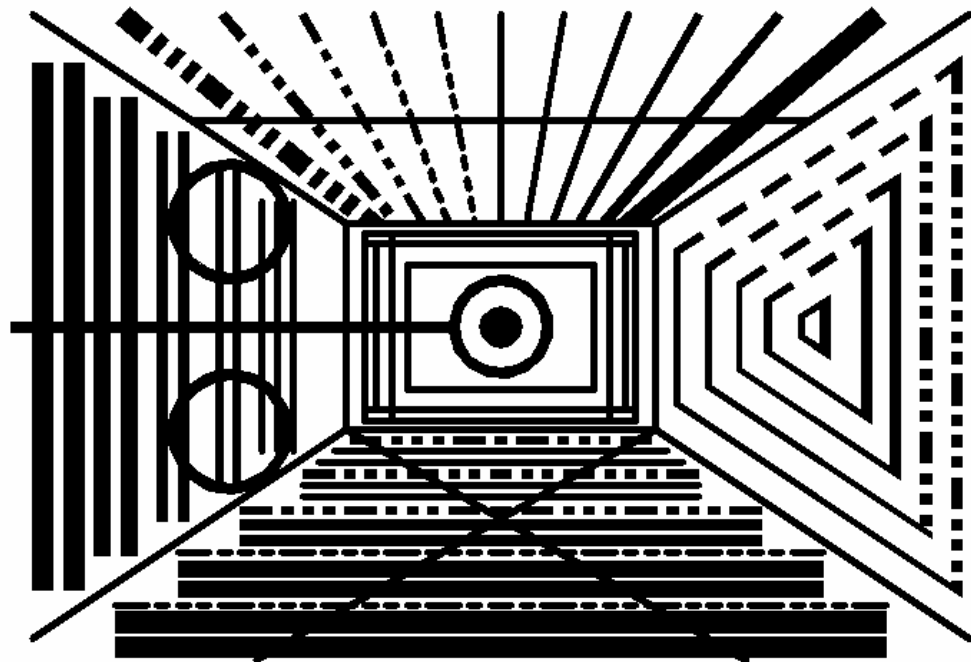
6 NÁVRH MONITORU NA POPIS VZORKŮ

Byly navrženy dva druhy monitoru. Jeden, který byl využit u frézování a laserového obrábění a druhý, který jsme použili pro fotochemické obrábění. Monitory byly vytvořeny v programu Autocad 2002.

Popis vzorků je složen z různě tlustých čar různé geometrie. Geometrie monitoru musí obsahovat mnoho záležitostí, které mají svoje opodstatnění. Monitor obsahuje různé entity: čáry různých druhů, čáry pod různým úhlem a také kružnice, které tyto entity protínají. Tyto prvky nám dovolí pozorovat všechna kritická místa, které se při popisování mohou vyskytnout.. Některé tyto čáry mají minimální rozestup, což nám při vyhodnocování ukáže, jestli po výrobě monitoru a následném vylisování pryžového vzorku nedojde k jejich slití čar s minimálním rozestupem, nebo jiným nepřesnostem a kolizím.

6.1 Frézování, laserové obrábění

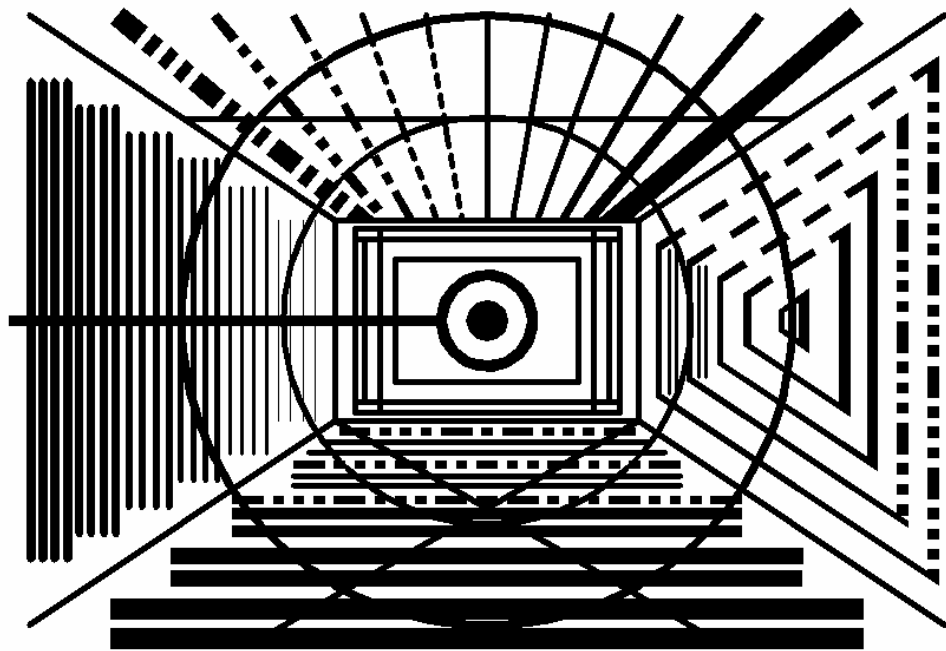
Tloušťky použitých čar jsou 0,5, 0,7, 1, 1,5 a 2 mm.



Obr. 51 Navržený monitor pro frézování

6.2 Fotochemické obrábění

Monitor použitý pro frézování byl pozměněn tak, abychom na vyrobeném vzorku mohli pozorovat všechny eventuální problematiky, které při této technologii mohou nastat. Byly použity i menší tloušťky čar a menší rozestupy mezi nimi. Toto nám později ukáže kritická místa, kde už dojde ke slítí čar vlivem podřezání, které při chemickém obrábění vzniká. Díky čárám a kružnicím, které se kříží s ostatními čárami uvidíme jaké rohy nám při použití této technologie vzniknou.



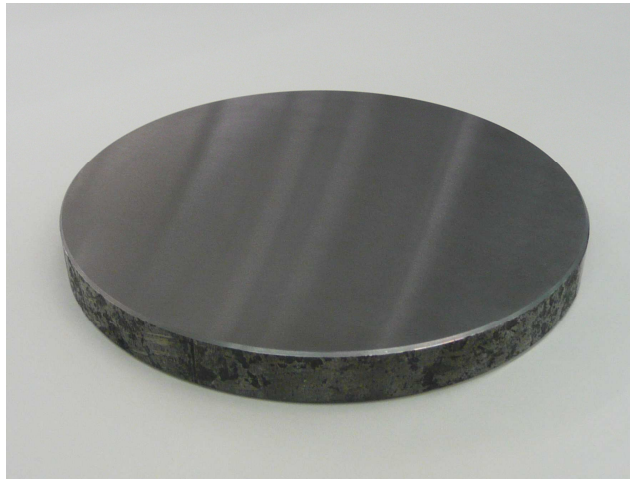
Obr. 52 Navržený monitor pro fotochemické obrábění

7 FRÉZOVÁNÍ

7.1 Polotovar pro frézování

Polotovarem pro frézování byly desky o průměru 140 mm nařezané z kulatiny, tloušťka desek je zhruba 15 mm. Materiál desek je běžně dostupná ocel 11600.

Čelní plochy těchto desek musely být srovnány na soustruhu a dále přebroušeny na brusce tak, abychom dosáhli rovnoběžnosti těchto ploch, která je pro výrobu popisu při frézování velice důležitá. Případná nerovnost by byla při obrábění nežádoucí a změna hloubky při obrábění vlivem této nerovnosti by měla vliv na životnost nástroje.



Obr. 53 Polotovary

7.2 Použitý stroj

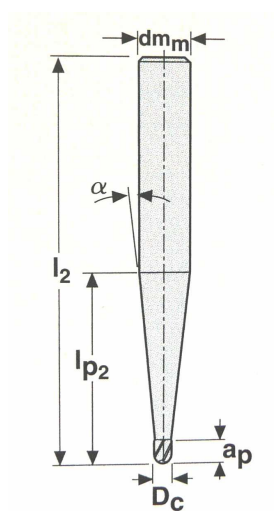
Výroba popisu pomocí frézování byla prováděna na univerzitní frézce typu HWT C-442 CNC.



Obr. 54 Použitá frézka

7.3 Použitý nástroj číslo jedna – rádiusová fréza

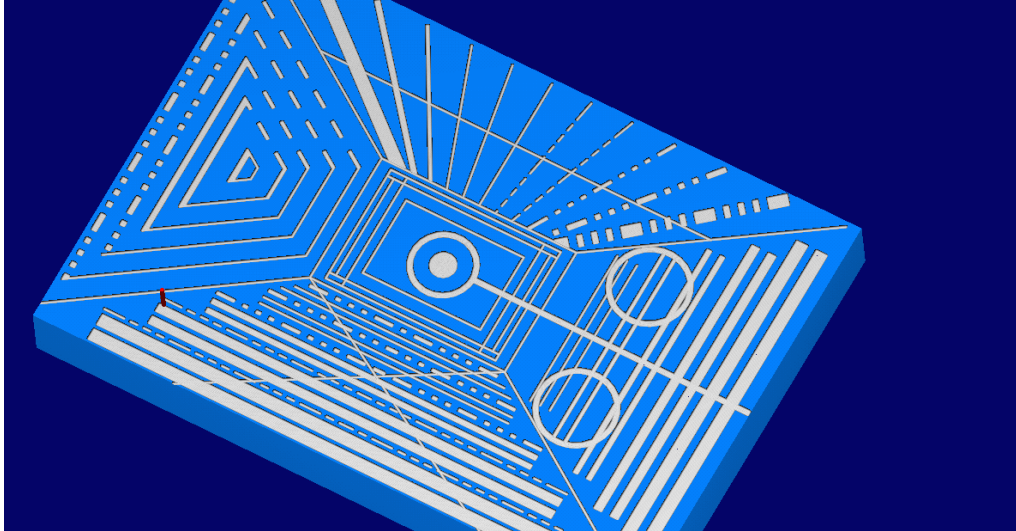
Jako nástroj byla zvolena mini rádiusová fréza o průměru 0,5 mm od firmy SECO. Jde o monolitní rádiusovou frézu z tvrdokovu 915005-MEGA-T pro mikro frézování. Tento nástroj představuje stále rostoucí trend pro popisování forem. Tyto frézy se vyrábějí již od průměru 0,2 mm, takže lze vyrábět čáry již od šířky 0,2 mm. Kvůli větší životnosti nástroje byl pro náš případ zvolen průměr 0,5 mm.

Obr. 55 Rádiusová
fréza

7.3.1 Výroba monitoru pomocí rádiusové frézy

Tvorba CNC programu

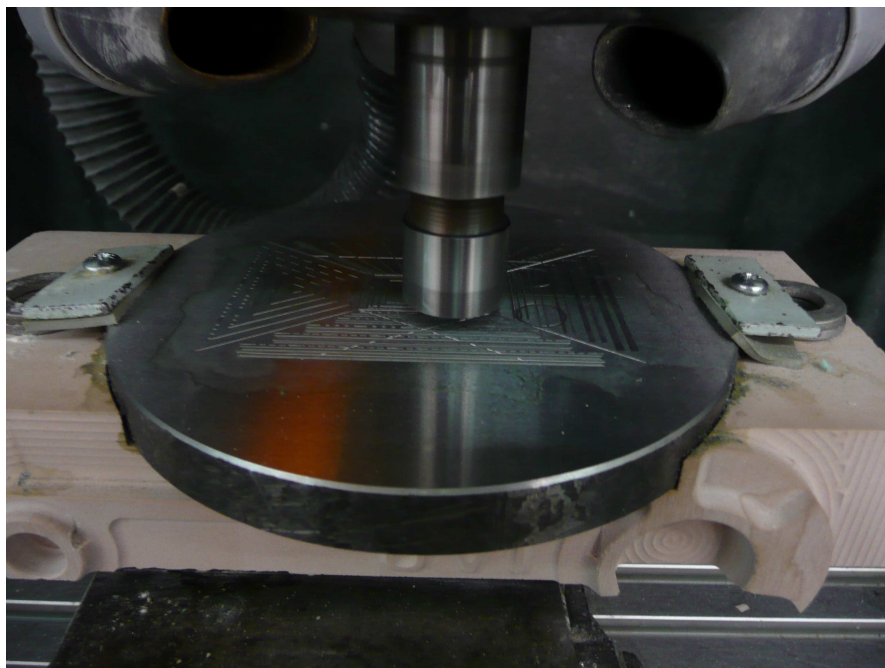
Všechny obráběcí programy byly vytvořeny pomocí programu Surfcam 2000.



Obr. 56 Verifikace CNC dat pro rádiusovou frézu

Frézování pomocí rádiusové frézy

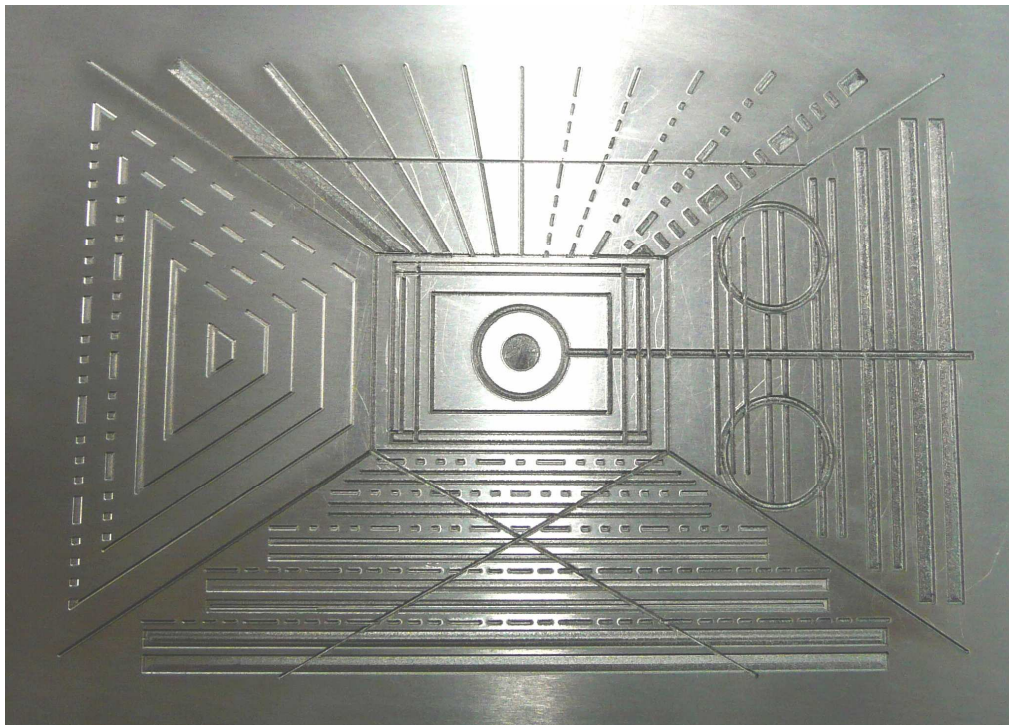
Pro uchycení polotovaru pro frézování byl vyroben přípravek, který zajišťuje rovinnost obráběné plochy se strojem. Do tohoto přípravku byl obráběný polotovar upnut.



Obr. 57 Frézování monitoru pomocí rádiusové frézy

7.3.2 Vyrobený monitor

Hloubka nápisu vytvořeného pomocí rádiusové frézy je cca 0,12 mm. Hloubka není při této metodě nijak limitována. V našem případě jsme vyrobili tuto hloubku, neboť jsme byli limitováni trvanlivostí nástroje. Při dalším frézování otupeným nástrojem by byl obrobený povrch nekvalitní. Vyrobená hloubka nám pro naše potřeby dostačovala. K malé životnosti nástroje přispěly vlastnosti obráběného materiálu. Jak již bylo řečeno byla použita ocel 11600, která je relativně měkká a tím pádem hůře obrobitelná. Dalším negativním faktorem bylo chvění stroje a házení vřetene. To všechno přispělo k rychlému otupení nástroje, i když je tento nástroj vhodný i pro obrábění kalených materiálů. K obnově řezných vlastností nástroje by došlo po přebroušení nástroje, ke kterému ovšem v našich podmínkách nebyly možnosti.



Obr. 58 Popis vytvořený pomocí rádiusové frézy

Po obrobení byl vzorek zbaven otěpů pomocí brusného papíru pro broušení pod vodou.

7.3.3 Ekonomické ohodnocení

Vstupní parametry:

- pořizovací cena stroje 500 000,- Kč
- pořizovací cena nástroje 1610,- Kč

- mzda pracovníka 120,- Kč/hod
- výrobní režie 40,- Kč/hod
- zisk 10 %
- pracovní dny za rok 253
- jednosměnný provoz, tj. 8 hodin i dvousměnný provoz, tj. 16 hodin
- paušální částka za návrh 800,- Kč
- použití rovnoměrného odpisování
- doba potřebná pro obrobení jedné vrstvy 80 minut = 1,3 hod

Tab. 4 Sazby pro rovnoměrné odpisování

Odpisová skupina	Sazba v prvním roce odpisování	Sazba v druhém a třetím roce odpisování
1	20 %	40 %

Výpočet:

Odpis v prvním roce: $(500000/100) \cdot 20 = 100000,-\text{Kč}$

Odpis v druhém roce: $(500000/100) \cdot 40 = 200000,-\text{Kč}$

Odpis ve třetím roce: $(500000/100) \cdot 40 = 200000,-\text{Kč}$

Vypočet hodinových prací stroje s obsluhou pro jednosměnný provoz

- 1.rok : $100000 / 253 = 395,-\text{Kč} / \text{den}$, z toho hodinová práce je $395/8 + 120 = 170 - \text{Kč} / \text{h}$

-2.rok: $200000 / 253 = 791,-\text{Kč} / \text{den}$, z toho hodinová práce je $791/8 + 120 = 219 - \text{Kč} / \text{h}$

-3.rok: $200000 / 253 = 791 - \text{Kč} / \text{den}$, z toho hodinová práce je $791/8 + 120 = 219 - \text{Kč} / \text{h}$

Průměrná hodinová práce stroje s obsluhou pro jednosměnný provoz je 203,-Kč

Celková cena hodinové práce pro jednosměnný provoz (průměrná hodinová mzda práce stroje – stroj + obsluha + výrobní režie + zisk)

Průměrná hodinová práce stroje + výrobní režie = $203 + 40 = 243,-$ Kč

Zisk – 10 % z hodnoty 243 = 25,- Kč

Celková hodinová práce (bez materiálu) = $243 + 25 = 268,-$ Kč

Vyfrézování dvou vrstev = $268 \cdot 2 \cdot 1,3 = 697,-$ Kč + cena nástroje = $697 + 1610 = \underline{2307,-}$ Kč

Cena + DPH = $2307 + 19\% = \underline{2746,-}$ Kč

Při jednosměnném provozu vyjde vyfrézování pomocí rádiusové frézy do námi vyrobené hloubky na 2746,- Kč.

Vypočet hodinových prací stroje s obsluhou pro dvousměnný provoz

-1.rok: $100000 / 253 = 396,-$ Kč / den , z toho hodinová práce je $396 / 16 + 120 = 145,-$ Kč / h

-2.rok: $200000 / 253 = 791,-$ Kč / den , z toho hodinová práce je $791 / 16 + 120 = 170,-$ Kč / h

-3.rok: $200000 / 253 = 791,-$ Kč / den , z toho hodinová práce je $791 / 16 + 120 = 170,-$ Kč / h

Průměrná hodinová práce stroje s obsluhou pro dvousměnný provoz je 162,-Kč

Celková cena hodinové práce pro dvousměnný provoz (průměrná hodinová mzda práce stroje – stroj + obsluha + výrobní režie + zisk)

Průměrná hodinová práce stroje + výrobní režie = $162 + 40 = 202,-$ Kč

Zisk – 10 % z hodnoty 202 = 21,- Kč

Celková hodinová práce (bez materiálu) = $202 + 21 = 223,-$ Kč

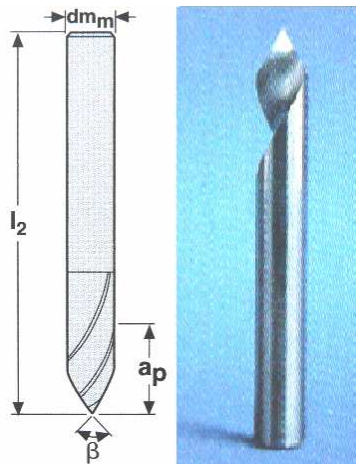
Vyfrézování dvou vrstev = $223 \cdot 2 \cdot 1,3 = 580,-$ Kč + cena nástroje = $580 + 1610 = \underline{2190,-}$ Kč

Cena + DPH = $2190 + 19\% = \underline{2607,-}$ Kč

Při dvousměnném provozu vyjde vyfrézování pomocí rádiusové frézy do námi vyrobené hloubky na 2607,- Kč.

7.4 Použitý nástroj číslo dva – fréza pro popisování

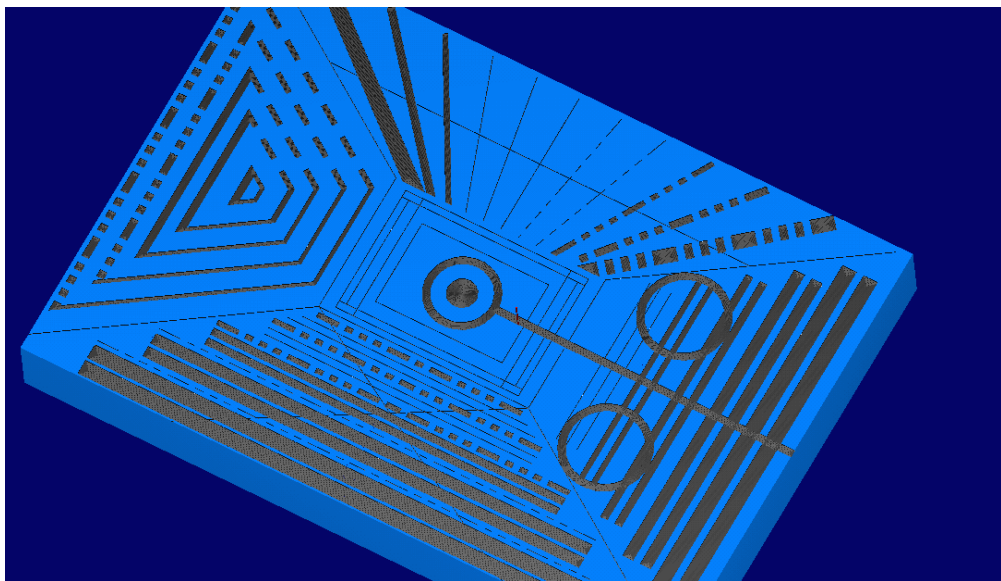
Použitým nástrojem byla monolitní karbidová fréza pro popisování 29040 od firmy SECO.



Obr. 59 Fréza pro popisování

7.4.1 Výroba monitoru pomocí frézy pro popisování

Tvorba CNC programu



Obr. 60 Verifikace CNC dat pro frézu pro popisování

Frézování pomocí frézy pro popisování

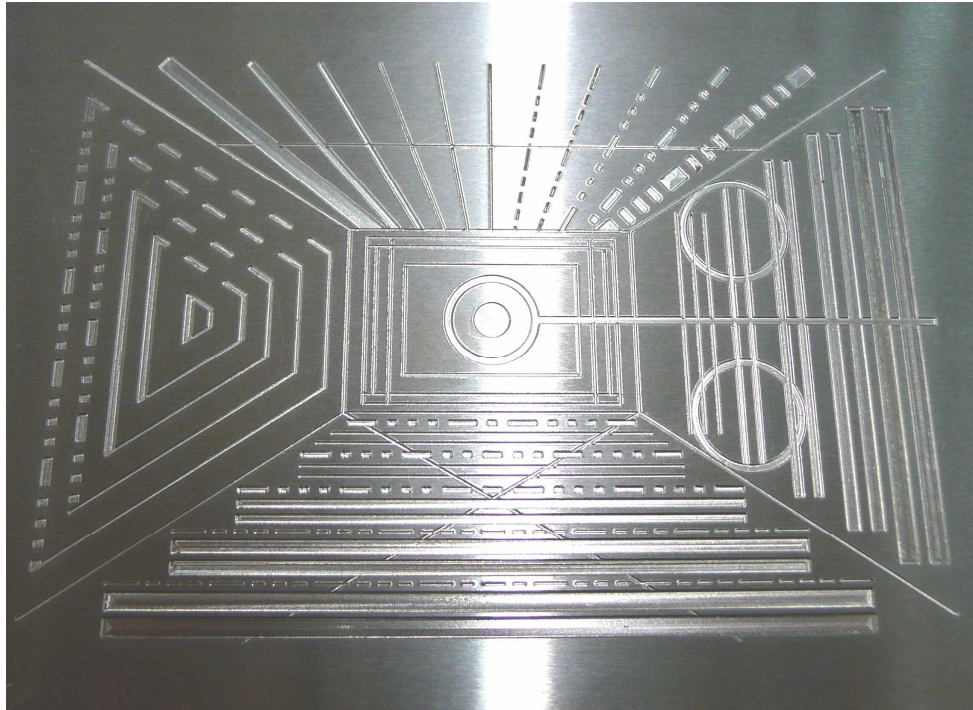
Polotovár byl upnut do stejného přípravku jako při předešlém frézování.



Obr. 61 Frézování monitoru pomocí popisovací frézy

7.4.2 Vyrobený monitor

Hloubka vyrobeného monitoru je stejná jako u použití prvního nástroje. Životnost tohoto nástroje je menší než u rádiusové frézy, použité v předešlém případě. Z toho důvodu bylo nutno nástroj třikrát přebrousit.



Obr. 62 Monitor vytvořený pomocí frézy na popisování

Vyfrézovaný vzorek nebylo potřeba zbavovat otřepů, protože ty díky geometrii nástroje nevznikly.

I když se předpokládalo, že obrobený povrch bude při použití prvního nástroje kvalitnější, ukázalo se, že v našich podmínkách bylo dosaženo lepších výsledků obrábění frézou pro popisování. Kvalita vytvořeného povrchu bude vyhodnocena v jiné části práce.

7.4.3 Ekonomické ohodnocení

Vstupní parametry:

- pořizovací cena stroje 500 000,- Kč
- pořizovací cena nástroje 986,- Kč
- mzda pracovníka 120,- Kč/hod
- výrobní režie 40,- Kč/hod
- zisk 10 %
- pracovní dny za rok 253
- jednosměnný provoz, tj. 8 hodin i dvousměnný provoz, tj. 16 hodin

- paušální částka za návrh 800,- Kč
- použití rovnoměrného odpisování
- doba potřebná pro obrobení jedné vrstvy 80 minut = 1,3 hod
- doba potřebná pro jedno přebroušení nástroje 15 minut = 0,25 hod

Tab. 5 Sazby pro rovnoměrné odpisování

Odpisová skupina	Sazba v prvním roce odpisování	Sazba v druhém a třetím roce odpisování
1	20 %	40 %

Výpočet:

Odpis v prvním roce: $(500000/100) \cdot 20 = 100000,-\text{Kč}$

Odpis v druhém roce: $(500000/100) \cdot 40 = 200000,-\text{Kč}$

Odpis ve třetím roce: $(500000/100) \cdot 40 = 200000,-\text{Kč}$

Vypočet hodinových prací stroje s obsluhou pro jednosměrný provoz

-1.rok : $100000 / 253 = 395,-\text{Kč} / \text{den}$, z toho hodinová práce je $395 / 8 + 120 = 170 - \text{Kč} / \text{h}$

-2.rok: $200000 / 253 = 791,-\text{Kč} / \text{den}$, z toho hodinová práce je $791 / 8 + 120 = 219 - \text{Kč} / \text{h}$

-3.rok: $200000 / 253 = 791 - \text{Kč} / \text{den}$, z toho hodinová práce je $791 / 8 + 120 = 219 - \text{Kč} / \text{h}$

Průměrná hodinová práce stroje s obsluhou pro jednosměrný provoz je 203,-Kč

Celková cena hodinové práce pro jednosměrný provoz (průměrná hodinová mzda práce stroje – stroj + obsluha + výrobní režie + zisk)

Průměrná hodinová práce stroje + výrobní režie = $203 + 40 = 243,- \text{Kč}$

Zisk – 10 % z hodnoty 243 = 25,- Kč

Celková hodinová práce (bez materiálu) = $243 + 25 = 268,- \text{Kč}$

Vyfrézování dvou vrstev = $268 \cdot 2 \cdot 1,3 = 697,- \text{Kč}$ + cena nástroje = $697 + 986 = \underline{1684,- \text{Kč}}$

Cena za jedno přebroušení nástroje: $120.0,25 = 30,-$ Kč

Nástroj musel být přebroušen 3krát: $3.30 = 90,-$ Kč

Cena + DPH = $(1684 + 90) + 19\% = \underline{2112,-}$ Kč

Při jednosměnném provozu vyjde vyfrézování pomocí rádiusové frézy do námi vyrobené hloubky na 2112,- Kč.

Vypočet hodinových prací stroje s obsluhou pro dvousměnný provoz

-1.rok: $100000 / 253 = 396,-$ Kč / den , z toho hodinová práce je $396 / 16 + 120 = 145,-$ Kč / h

-2.rok: $200000 / 253 = 791,-$ Kč / den , z toho hodinová práce je $791 / 16 + 120 = 170,-$ Kč / h

-3.rok: $200000 / 253 = 791,-$ Kč / den , z toho hodinová práce je $791 / 16 + 120 = 170,-$ Kč / h

Průměrná hodinová práce stroje s obsluhou pro dvousměnný provoz je 162,-Kč

Celková cena hodinové práce pro dvousměnný provoz (průměrná hodinová mzda práce stroje – stroj + obsluha + výrobní režie + zisk)

Průměrná hodinová práce stroje + výrobní režie = $162 + 40 = 202,-$ Kč

Zisk – 10 % z hodnoty 202 = 21,- Kč

Celková hodinová práce (bez materiálu) = $202 + 21 = 223,-$ Kč

Vyfrézování dvou vrstev = $223.2.1,3 = 580,-$ Kč + cena nástroje = $580 + 986 = \underline{1566,-}$ Kč

Cena za jedno přebroušení nástroje: $120.0,25 = 30,-$ Kč

Nástroj musel být přebroušen 3krát: $3.30 = 90,-$ Kč

Cena + DPH = $(1566 + 90) + 19\% = \underline{1971,-}$ Kč

Při dvousměnném provozu vyjde vyfrézování pomocí rádiusové frézy do námi vyrobené hloubky na 1971,- Kč.

8 FOTOCHEMICKÉ OBRÁBĚNÍ

Obrobení zkušebních vzorků bylo provedeno ve firmě pana Františka Vodehnala, jež provádí rytecké a chemigrafické práce.

8.1 Postup práce

8.1.1 Příprava podložky k nanesení vrstvy

Povrch na který má být nanesena vrstva světlocitlivého roztoku musí být dokonale suchý, odmaštěný a zbavený ostatních nečistot. V některých případech tohoto dosáhneme broušením, kartáčováním, nakonec se povrch opláchne vodou. Pro odmaštění povrchu se používá trichlorethylen. K odstranění kovových oxidů z povrchu se doporučuje oplachnutí zředěnou minerální kyselinou, nejčastěji kyselinou chlorovodíkovou. Podložka se nakonec důkladně opláchne vodou a suší se. U některých ocelí, které mohou mít povrch znečištěn absorbovaným plynem (např. vodíkem) se suší při vyšší teplotě, kolem 120°C. [27]

8.1.2 Nanášení vrstvy

Pomocí světlocitlivých roztoků se na podložce připraví tenký film, který musí být homogenní, rovnoměrný, bez prasklin a mechanických nečistot. K nanášení vrstvy se používá odstředivé lití, máčení, lití a nebo tlakového stříkání pistolí.

Po nanesení je třeba světlocitlivou vrstvu před dalším zpracováním zbavit zbytků rozpouštědla sušením 10 až 30 minut při teplotě 70 - 90°C, v závislosti na konstrukci sušárny, velikosti a tloušťky sušených ploch. [27]

8.1.3 Expozice

Expozici je nutné provádět zdrojem světla s bohatým obsahem ultrafialových paprsků. Aby byla reprodukce dokonalá, je třeba dosáhnout dokonalého kontaktu matrice se světlocitlivou vrstvou.

Optimální expoziční doma je stanovena experimentálně a závisí v podstatě na intenzitě světla z použitého zdroje a síle světlocitlivé vrstvy. V případě nedostačující expozice se na podložce nezíská žádný obraz, při silné předexpozici se snižuje rozlišovací schopnost, což má negativní vliv na kvalitu výrobků. [27]

8.1.4 Vyvolávání

Při tomto procesu je z povrchu odstraněna část světlocitlivé vrstvy na místech, která mají být odleptána. Dosáhne se toho ponořením podložky na dobu 1-2 minuty do vývojky a nebo postříkem povrchu podložky vývojkou. Odstranění vrstvy musí být dokonalé, jinak při leptu dochází k poruchám na místech, kde nebyla vrstva dokonale odstraněna. Proto se vyvolání musí provádět dvoustupňově, tj. po vlastním vyvolání následuje opláchnutí. U negativních roztoků čerstvou vývojkou, u pozitivních roztoků proudem vody.

Po vyvolání je možno vrstvu znovu osušit, aby dobře odolávala leptadlu. Teplota sušení se obvykle pohybuje v rozmezí 80 - 160°C, v závislosti na agresivitě leptadla. [27]

8.1.5 Leptání

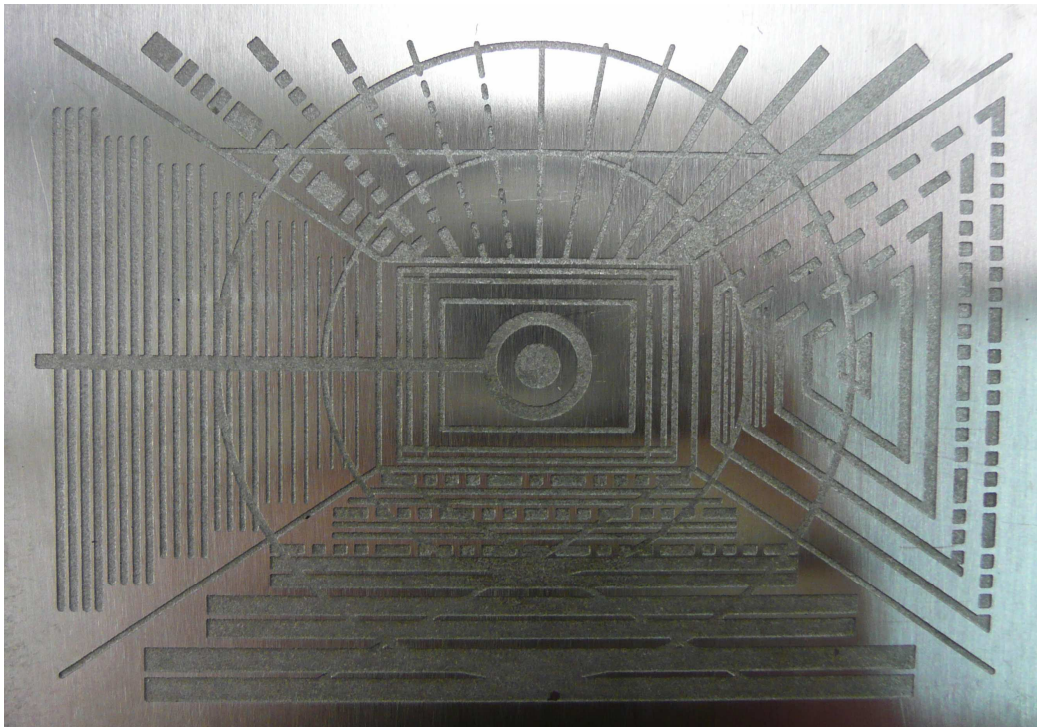
Při dalším zpracování slouží zbylá vrstva po vyvolání jako ochrana vůči leptadlu. Při leptu, zejména silnějších podložek, dochází k podleptání. Jeho velikost je charakterizována tzv. faktorem leptu, což je poměr hloubky leptu k podleptání. Závisí na charakteru leptané podložky, složení leptadla a způsobu leptu. Složení leptadla se volí podle charakteru podložky a požadované rychlosti leptání. V našem případě je pro ocel možné použít zředěnou kyselinu dusičnou, kde je leptání rychlé, a to několik minut, ale ne tak kvalitní. Nebo roztok chloridu železitého a kyseliny dusičné s níž je leptání zdlouhavější, ale kvalitnější. [27]

8.1.6 Odstranění vrstvy po leptání

Tato operace působí někdy obtíže a závisí na intenzitě sušení před leptem, které je třeba provádět při co nejnižší teplotě a v co nejkratším čase, ale tak, aby to neohrozilo kvalitu leptu. Nejjednodušší je odstranění zbytků pozitivně pracujících vrstev, které jsou chemicky nezměněny a dají se rozpustit v acetonu a nebo ředidle. Dále je možno podruhé vrstvu naexponovat a rozpustit ve vývojce. Negativní vrstvy je třeba nabobtnat v organickém rozpouštědle, výhodně v trichlorethylenu, a mechanicky setřít kartáčem nebo tampónem. Dokonalé odstranění je spálení vrstvy buď na „mokré cestě“ ve směsi koncentrované kyseliny sírové a peroxidu vodíku, nebo v kyslíku doutnavým elektrickým výbojem. [27]

8.2 Vyrobené monitory

Byly vyrobeny dva vzorky o různé vyrobené hloubce monitoru. První vzorek má hloubku 0,1 mm a druhý 0,2 mm. Jelikož u této technologie dochází k podřezání, jsou šířky vyrobených čar silnější, než byla šířka nanesené masky. U větší hloubky popisu kyselina působila na povrch delší dobu, z toho důvodu je podřezání větší. Jeli podřezání větší, jsou i šířky čar silnější. Z toho vyplývá, že mezery mezi čárami se naopak zmenšují. Zmenšení mezer mezi čárami a rozšíření čar je při porovnání vzorků patrné.

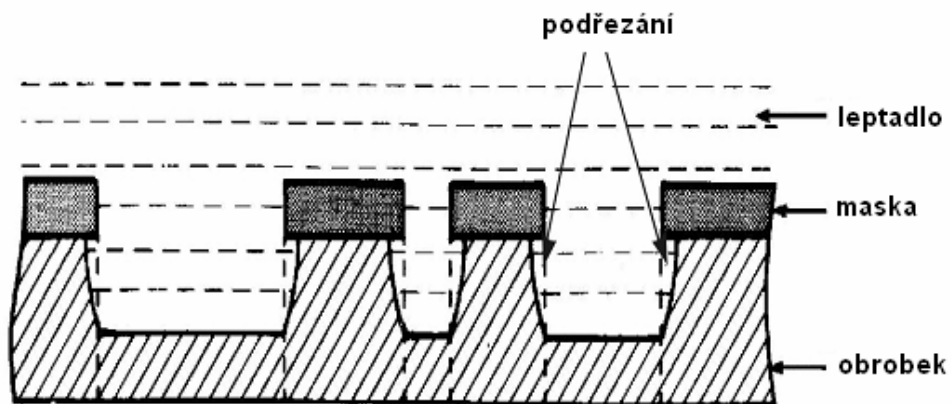


Obr. 63 Monitor o vyrobené hloubce 0,1 mm vytvořený fotochemickým obráběním



Obr. 64 Monitor o vyrobené hloubce 0,2 mm vytvořený fotochemickým obráběním
Fotochemické frézování je vhodné především pro výrobu tenkých čar. Šířkami čar nejsme u této technologie téměř omezeni.

Při návrhu popisu pro fotochemickém obrábění musíme ovšem dbát na závislost mezi šířkami jednotlivých čar, mezerami mezi nimi a požadovanou hloubkou vyrobeného popisu. Jeli mezera mezi jednotlivými čarami malých rozměrů a požadujeme vyrobit hlubší popis, může se vlivem podřezání stát, že tyto mezery budou odleptány.



Obr. 65 Vznik podřezání u fotochemického obrábění [27]

8.3 Ekonomické ohodnocení

Výpočet byl doporučen firmou, která vzorky vyráběla.

8.3.1 Hloubka vyrobeného monitoru 0,1 mm

Cena leptaných štítků je určena podle vzorce:

$$((\check{s} + 1,5) \cdot (d + 1,5) \cdot K) + 30$$

\check{s} – je šířka vzorku v centimetrech

d – délka vzorku v centimetrech

K – je koeficient závislý na druhu materiálu a hloubce leptu. U leptání kovů je v rozmezí 0,6 až 1,6, pro zhotovení filmu 0,05 až 0,25. [27]

$$\text{Cena za leptání je: } ((10 + 1,5) \cdot (10 + 1,5) \cdot 0,85) + 30 = 113,-\text{Kč}$$

$$\text{Cena za film: } ((10 + 1,5) \cdot (10 + 1,5) \cdot 0,2) + 30 = 57\text{Kč}$$

$$\text{Celková cena} = 170,-\text{Kč} + 19\% \text{ DPH} = 203,-\text{Kč}.$$

8.3.2 Hloubka vyrobeného monitoru 0,2 mm

Cena leptaných štítků je určena podle vzorce:

$$((\check{s} + 1,5) \cdot (d + 1,5) \cdot K) + 30$$

\check{s} – je šířka vzorku v centimetrech

d – délka vzorku v centimetrech

K – je koeficient závislý na druhu materiálu a hloubce leptu. U leptání kovů je v rozmezí 0,6 až 1,6, pro zhotovení filmu 0,05 až 0,25. [27]

$$\text{Cena za leptání je: } ((10 + 1,5) \cdot (10 + 1,5) \cdot 0,95) + 30 = 155,50\text{Kč}$$

$$\text{Cena za film: } ((10 + 1,5) \cdot (10 + 1,5) \cdot 0,2) + 30 = 56,5\text{Kč}$$

$$\text{Celková} = 212,-\text{Kč} + 19\% \text{ DPH} = 252,-\text{Kč}.$$

9 ELEKTROEROZIVNÍ HLOUBENÍ

Jelikož jde o technologii, která je finančně náročnější, nebyla možnost tímto způsobem vyrobit dané vzorky. V této práci budou uvedeny různé možnosti popisu pomocí této technologie a bude zde uvedeno finanční ohodnocení jednoho již vyrobeného nápisu.

Elektroerozivní obrábění je vhodné především pro nápisy, kde požadujeme ostré rohy. Technologie není omezená tvrdostí obráběného materiálu. Jediným požadavkem je elektrická vodivost obrobku.



Obr. 66 Elektrody pro elektroerozivní hloubení – příklady vyráběných nápisů

Všechny elektrody, které vidíme na obrázku byly dále použity k obrábění tvarových dutin pro vstřikovací formy. Tyto elektrody byly vyrobeny firmou Konform Zlín.

Používaný stroj pro elektroerozivní hloubení je stroj značky AGIE Agietron advance.



Obr. 67 Stroj pro elektroerozivní hloubení

9.1 Vybraný popis

V této práci bude uvedeno finanční ohodnocení výroby nápisu, který můžeme vidět na následujícím obrázku.

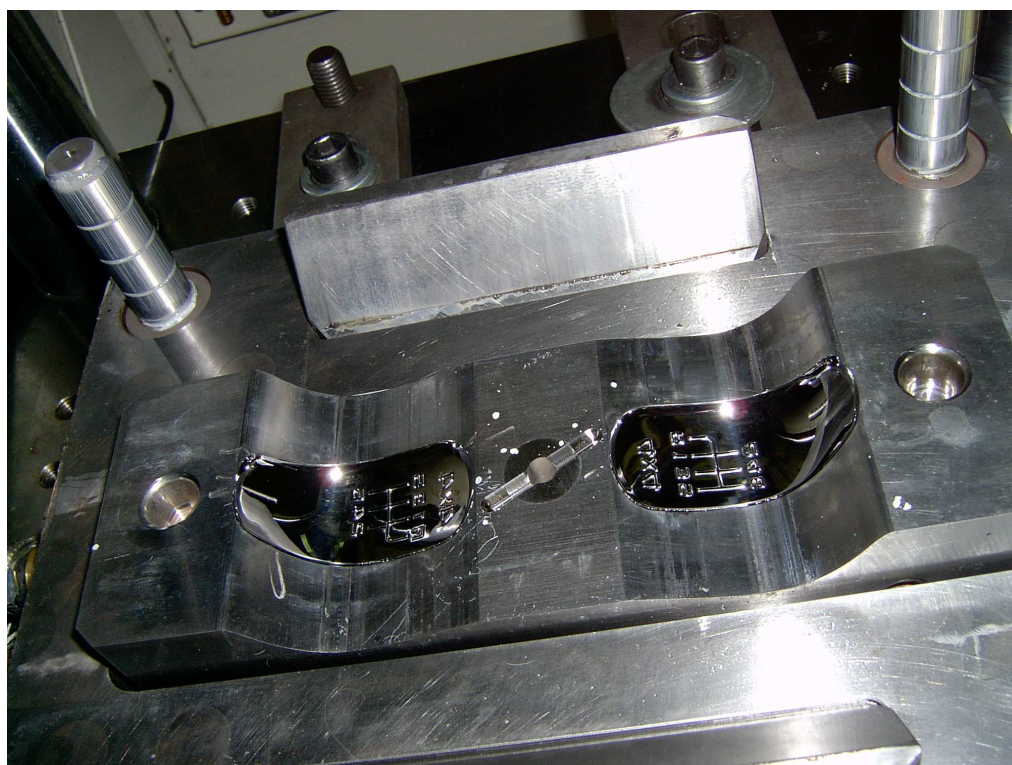


Obr. 68 Elektroda pro popis
řadící páky



Obr. 69 Detail jednoho popisu

Jde o elektrodu, která slouží pro výrobu popisu na řadící páku. Tato elektroda je dvojnásobná, lze pomocí jí vyrobít dva popisy tvarových dutin forem zároveň.



Obr. 70 Pohled do poloviny tvarové dutiny formy

Na obrázku můžeme vidět, že povrch tvarové dutiny vyrobené pomocí elektroerozivního obrábění musí být dále povrchově upraven. Jde o pohledový dílec a proto je povrch tvarové dutiny dále leštěn a pochromován.



Obr. 71 Vystříknutý výrobek

9.2 Ekonomické ohodnocení

Cena Grafitu: $2 \times 150 \text{ Kč} = 300,- \text{ Kč}$ (dvě elektrody - hrubovací + dokončovací)

Výroba elektrod na CNC: $6 \text{ hod} * 800\text{kč/hod} = 4800,- \text{ Kč}$

Práce na hloubičce: $10 \text{ hod} * 800\text{kč/hod} = 8000,- \text{ Kč}$

Čas technologa: $4 \text{ hod} * 800\text{kč/hod} = 3200,- \text{ Kč}$

Celkem za hloubený povrch v tomto případě: 16300,- Kč

10 LASEROVÉ OBRÁBĚNÍ

10.1 Polotovar pro laserové obrábění

Při výrobě monitoru při laserovém obrábění byly použity destičky 100x100x15 mm s přebroušenými čelními plochami. Použitá ocel je 11573. Tento materiál se pro výrobu forem na pneumatiky běžně používá. Při výrobě popisu pomocí laserového paprsku má druh materiálu velký vliv.

10.2 Použitý stroj

Obrobení destičky bylo provedeno ve firmě EKKA s.r.o. v Bratislavě. Použitým strojem je popisovací laser o firmy Trotec. Je to Nd- YAG laser o výkonu 15W, maximální posunová rychlost je 200 mm/s. Laser pracuje v softwaru Corel Draw.

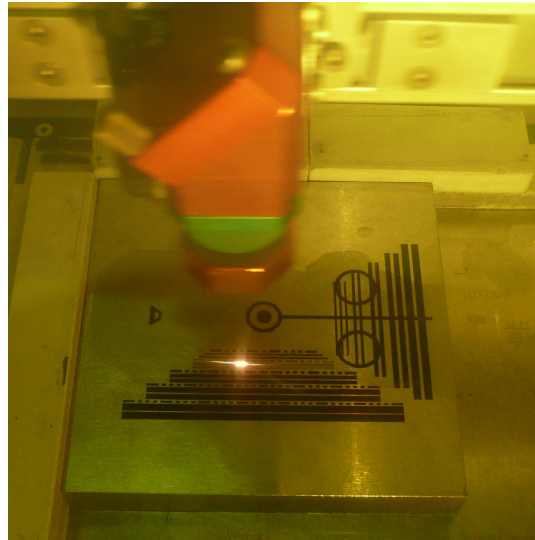


Obr. 72 Použitý stroj

10.3 Výroba monitoru

Na materiál nepůsobí během obrábění téměř žádné síly, tudíž není zapotřebí obrobek uchycovat do jakéhokoliv přípravku. Obrobek se pouze položí na pracovní plochu stroje.

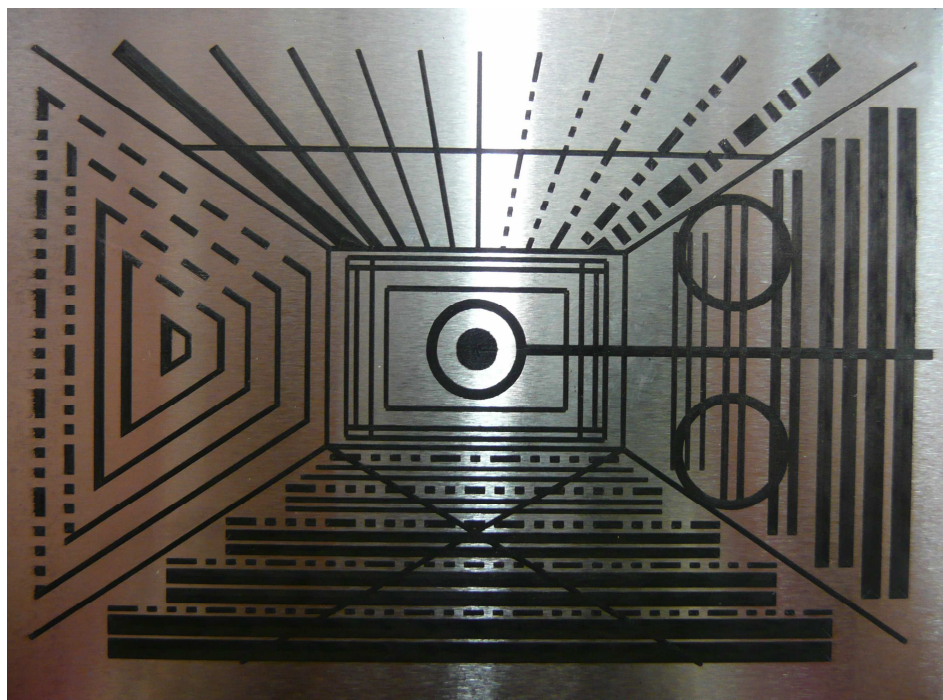
Pro obrábění byla nastavena posunová rychlost 1% z maximální posunové rychlosti. Výkon byl nastaven na 100% a frekvence 90000 Hz.



Obr. 73 Výroba monitoru laserovým obráběním

10.4 Vyrobený monitor

Jelikož měl použitý laser výkon jen 15 W, byla vyrobená hloubka popisu pouze v setinách milimetru. V našem případě monitor vznikl spíše změnou drsnosti a obarvením povrchu obrobku v důsledku interakce laser materiál. Pokud bychom chtěli dosáhnout větší hloubky popisu museli bychom monitor nechat obrobit laserem několikrát, nebo použít laser o větším výkonu.



Obr. 74 Monitor vytvořený laserovým obráběním

10.5 Ekonomické hodnocení

Vstupní parametry:

- pořizovací cena stroje 1 900 000,- Kč
- mzda pracovníka 120,- Kč/hod
- výrobní režie 80,- Kč/hod
- zisk 10 %
- pracovní dny za rok 253
- jednosměnný provoz, tj. 8 hodin i dvousměnný provoz, tj. 16 hodin
- paušální částka za návrh 1000,- Kč
- použití rovnoměrného odpisování
- doba potřebná pro obrobení jedné vrstvy 60 minut = 1 hod

Tab. 6 Sazby pro rovnoměrné odpisování

Odpisová skupina	Sazba v prvním roce odpisování	Sazba v druhém a třetím roce odpisování
1	20 %	40 %

Výpočet:

Odpis v prvním roce: $(1900000/100) \cdot 20 = 380000,-\text{Kč}$

Odpis v druhém roce: $(1900000/100) \cdot 40 = 760000,-\text{Kč}$

Odpis ve třetím roce: $(1900000/100) \cdot 40 = 760000,-\text{Kč}$

Vypočet hodinových prací stroje s obsluhou pro jednosměnný provoz

-1.rok: $380000/253 = 1502,-\text{Kč}/\text{den}$, z toho hodinová práce je
 $1502/8 + 120 = 308,-\text{Kč}/\text{h}$

-2.rok: $760000 / 253 = 3004,-\text{Kč}/\text{den}$, z toho hodinová práce je
 $3004/8 + 120 = 496,-\text{Kč}/\text{h}$

-3.rok: $760000 / 253 = 3004,-\text{Kč}/\text{den}$, z toho hodinová práce je
 $3004/8 + 120 = 496,-\text{Kč}/\text{h}$

Průměrná hodinová práce stroje s obsluhou pro jednosměnný provoz je 434,-Kč

Celková cena hodinové práce pro jednosměnný provoz (průměrná hodinová mzda práce stroje – stroj + obsluha + výrobní režie + zisk)

Průměrná hodinová práce stroje + výrobní režie = $434 + 40 = 474,- \text{Kč}$

Zisk – 10 % z hodnoty $474 = 48,- \text{Kč}$

Celková hodinová práce (bez materiálu) = $474 + 48 = 522,- \text{Kč}$

Obrobení dvou vrstev = $522 \cdot 2 \cdot 1 = 1044,- \text{Kč}$

Cena + DPH = $1044 + 19\% = \underline{\underline{1243,- \text{Kč}}}$

Při jednosměnném provozu vyjde laserové obrábění do námi vyrobené hloubky na 1243,- Kč.

Vypočet hodinových prací stroje s obsluhou pro dvousměnný provoz

-1.rok: $380000 / 253 = 1502,-\text{Kč}/\text{den}$, z toho hodinová práce je
 $1502/16 + 120 = 214,-\text{Kč}/\text{h}$

-2.rok: $760000 / 253 = 3004,-\text{Kč}/\text{den}$, z toho hodinová práce je
 $3004/16 + 120 = 308 - \text{Kč}/\text{h}$

-3.rok: $760000 / 253 = 3004,-\text{Kč}/\text{den}$, z toho hodinová práce je
 $3004/16 + 120 = 308 - \text{Kč}/\text{h}$

Průměrná hodinová práce stroje s obsluhou pro jednosměnný provoz je 277,-Kč

Celková cena hodinové práce pro dvousměnný provoz (průměrná hodinová mzda práce stroje – stroj + obsluha + výrobní režie + zisk)

Průměrná hodinová práce stroje + výrobní režie = $277 + 40 = 317,- \text{Kč}$

Zisk – 10 % z hodnoty $317 = 32,- \text{Kč}$

Celková hodinová práce (bez materiálu) = $317 + 32 = 349,-$ Kč

Obrobení dvou vrstev = $349 \cdot 2 \cdot 1 = 698,-$ Kč

Cena + DPH = $698 + 19\% = \underline{\underline{831,-}}$ Kč

Při dvousměnném provozu vyjde laserové obrábění do námi vyrobené hloubky na **831,- Kč.**

11 LISOVÁNÍ PRYŽOVÝCH VZORKŮ

Pryžové vzorky byly vylisovány na vulkanizačním lisu, viz. Obr. 75.

Technické parametry vulkanizačního lisu:

Rozměry desek – 250x250 mm

Příkon – 2400 W

Maximální teplota – 200° C



Obr. 75 Vulkanizační lis

Desky vulkanizačního lisu byly vytemperovány na teplotu 160°C.

Jelikož nebylo potřeba vyrobít pryžový vzorek v určité tloušťce, byl při lisování kaučuk vložen volně mezi desku a obroběný vzorek. Po vložení do lisu byl lis uzavřen a vzorek byl pomocí tepla, tlaku a času z vulkanizován. Doba vulkanizace byla 10 minut.

11.1 Vylisované vzorky

11.1.1 Pryžový otisk monitoru vytvořeného pomocí rádiusové frézy



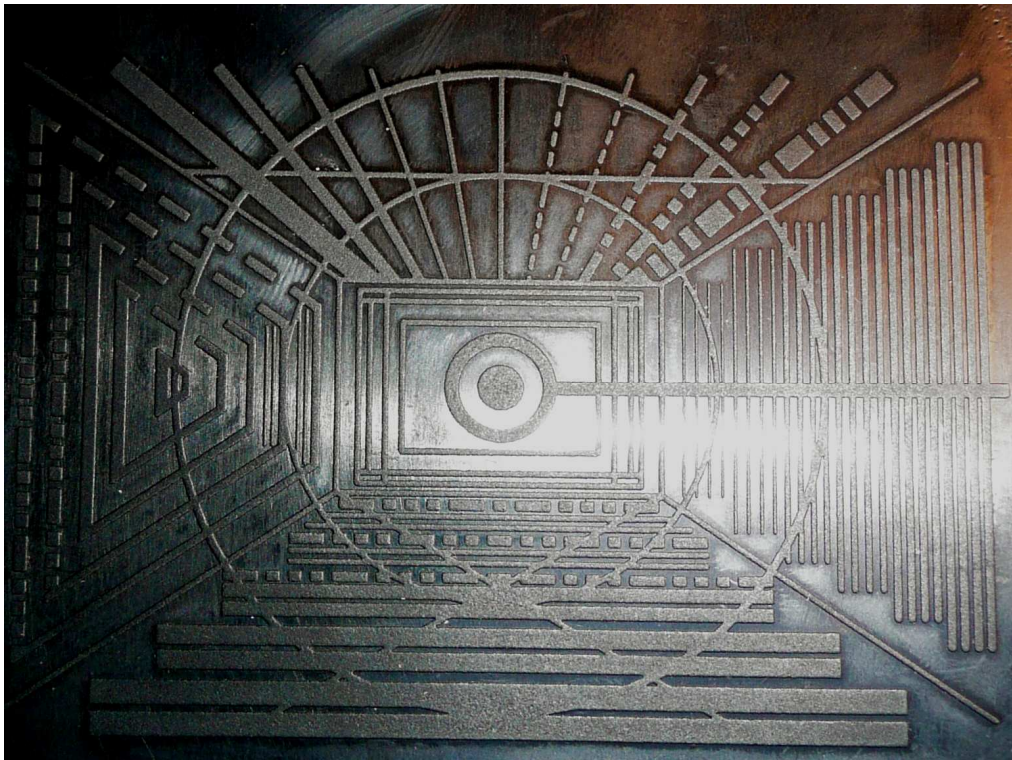
Obr. 76 Pryžový otisk monitoru vytvořeného pomocí rádiusové frézy

11.1.2 Pryžový otisk monitoru vytvořeného pomocí frézy pro popisování



Obr. 77 Pryžový otisk monitoru vytvořeného pomocí frézy pro popisování

11.1.3 Pryžové otisky monitoru vytvořeného pomocí fotochemického obrábění



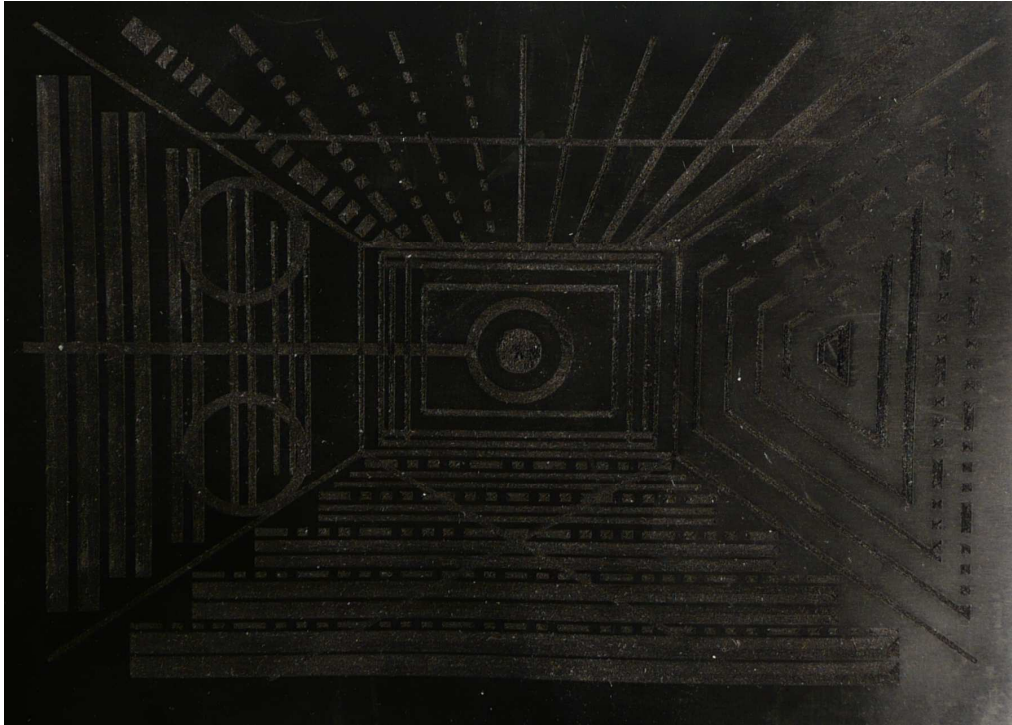
Obr. 78 Pryžové otisky monitoru s hloubkou 0,1 mm vytvořeného pomocí fotochemického obrábění



Obr. 79 Pryžové otisky monitoru s hloubkou 0,2 mm vytvořeného pomocí fotochemického obrábění

11.1.4 Pryžový otisk monitoru vytvořeného pomocí laserového obrábění

Otisk, který na pryžovém vzorku vznikl je výsledkem spíše rozdílné drsnosti laserem obrobeného a neobrobeného povrchu, než vlivem vytvořené hloubky popisu. Ta je v tomto případě minimální.



Obr. 80 Pryžový otisk monitoru vytvořeného pomocí laserového obrábění

12 VYHODNOCENÍ VZORKŮ

12.1 Zařízení použita k vyhodnocení

12.1.1 Mikrokamera ProScope HR

Pro zvětšení a lepší pozorování vyrobených povrchů byla použita mikrokamera ProScope HR. Tento přístroj umožňuje automatické doostřování obrazu. Díky tomuto přístroji můžeme lépe porovnávat nedokonalosti jednotlivých technologií. V našem případě bylo použito zvětšení 30 krát.



Obr. 81 Mikrokamera ProScope HR [27]

12.1.2 Drsnoměr – SJ 301

Pro zjištění drsnosti byl použit přístroj SJ 301 od firmy Mitutoyo. Pomocí tohoto přístroje lze charakterizovat obrobenu plochu pomocí různých norem (DIN, ISO, ANSI).

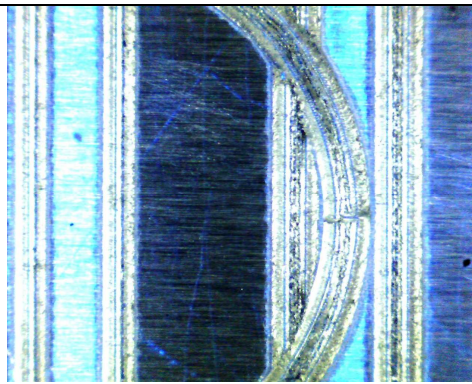
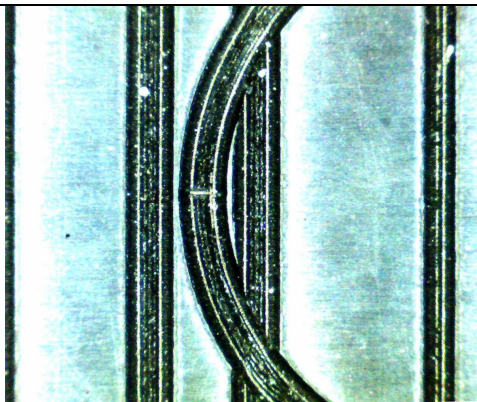
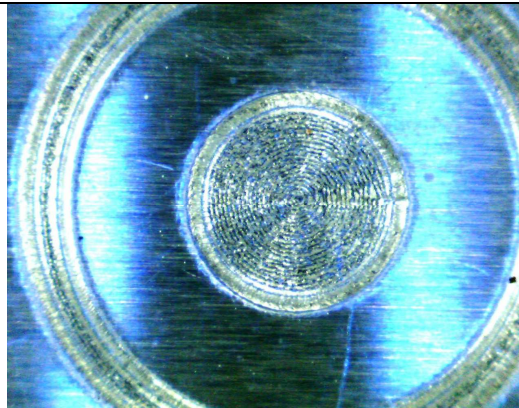
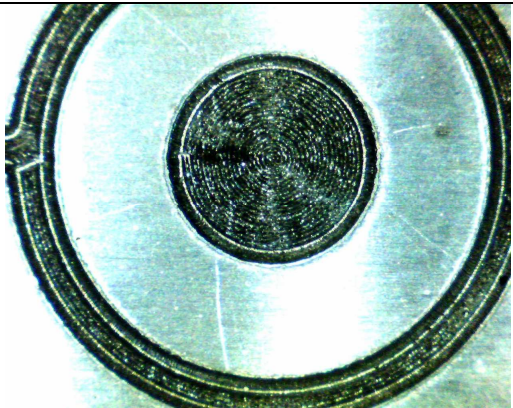
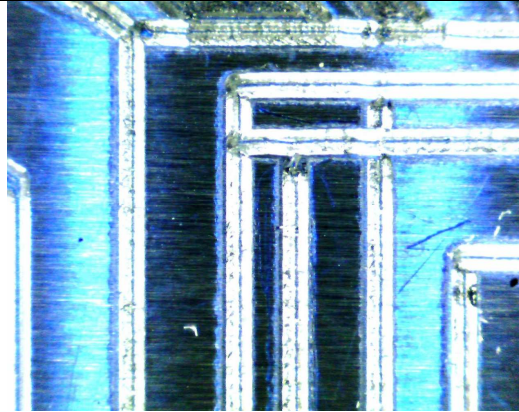
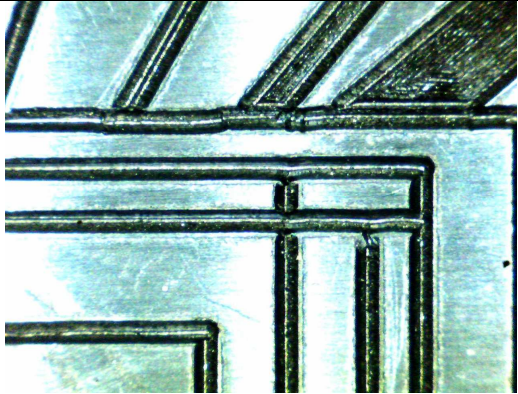
12.2 Porovnání vzorků pomocí detailních snímků

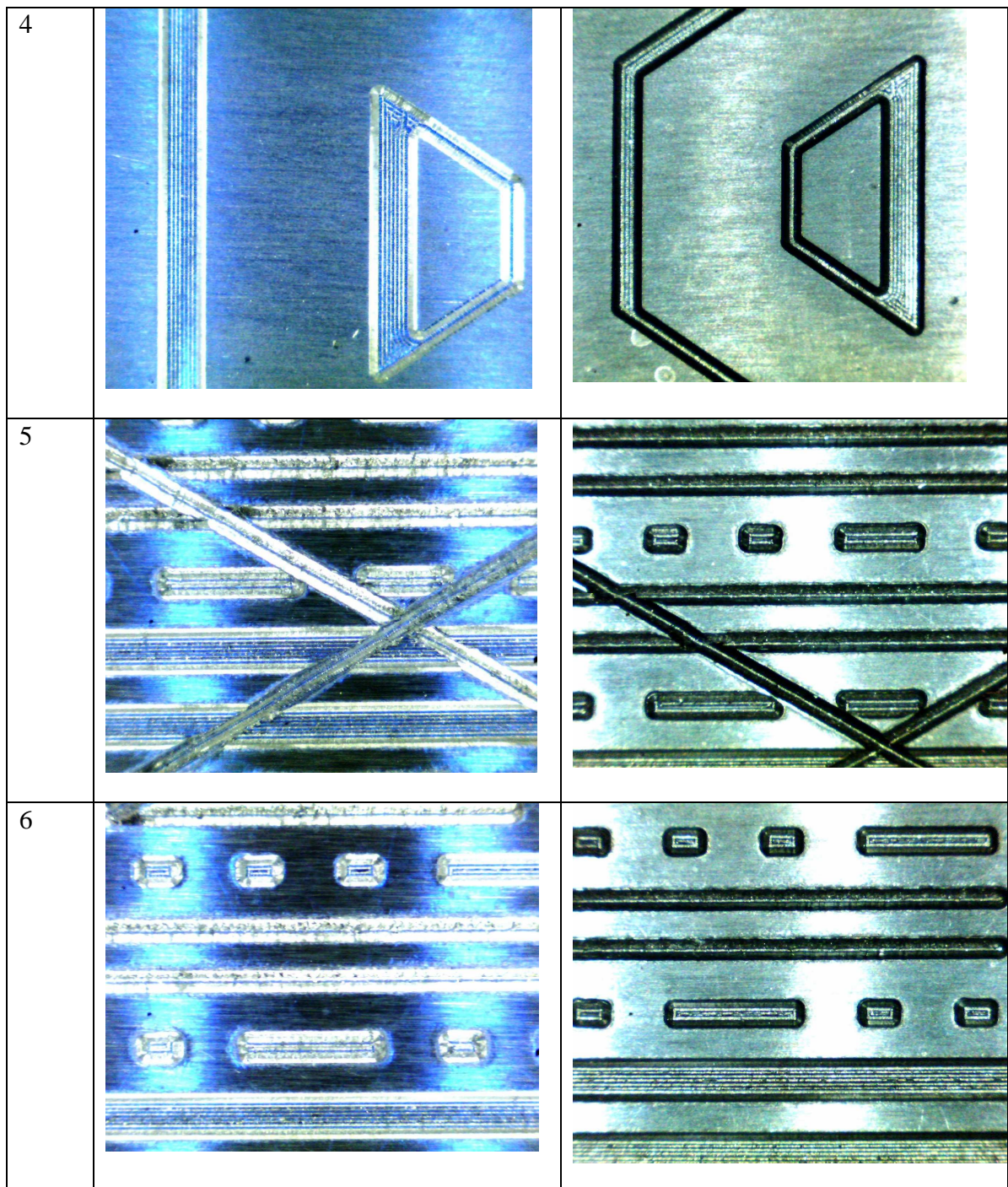
12.2.1 Vzorek vyrobený frézováním rádiusovou frézou

Z detailních snímků jsou jasně zřejmé stopy po nástroji a dráhy, po kterých nástroj postupoval. Hned na prvních snímcích můžeme pozorovat křížení čar a kružnice, na snímcích číslo 2 je dobře viditelná stopa po nástroji. Kromě snímků číslo 4 jsou vidět otřepy, které ovšem nejsou na vylisovaných pryžových vzorcích již patrné. Mezi snímky 4

a ostatními je také vidět rozdíl v kvalitě opracovaného povrchu. Povrch na snímcích 4 byl obroběn ještě ostrým nástrojem, takže kvalita v tomto místě je lepší. Na obrázcích dále můžeme pozorovat rohy, které byly vyrobeny, navazování čar, křížení čar a přerušované čáry. Vyrobené rohy nemohou být ostré, ale mají rádius 0,25 milimetrů, který je odvozený od poloměru nástroje. Jsou zde dobře viditelné úkosy vzniklé vlivem geometrie nástroje.

Tab. 7 Detailní snímky vzorků vyrobených frézováním rádiusovou frézou

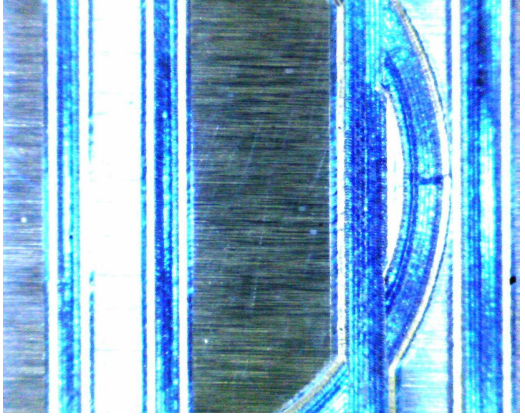
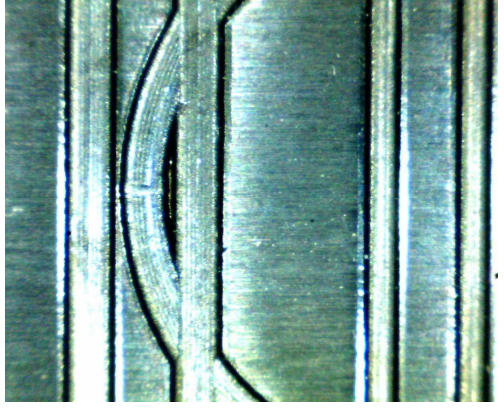
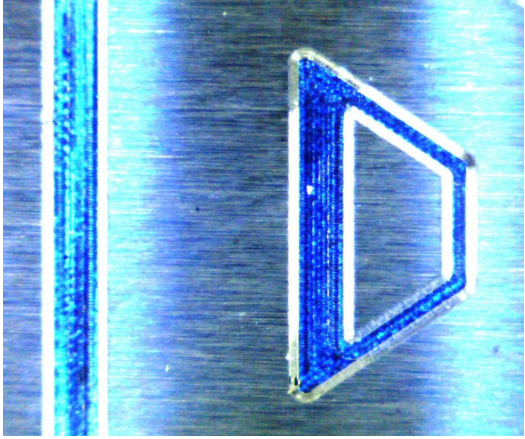
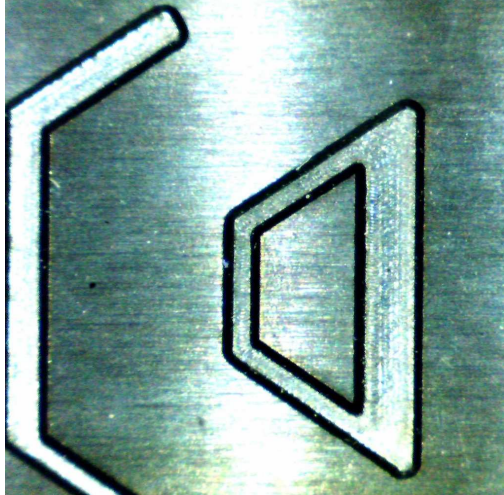
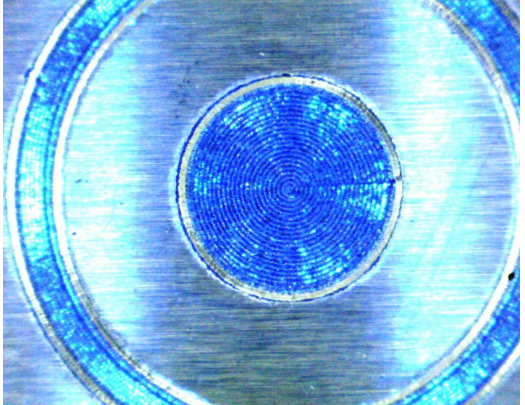
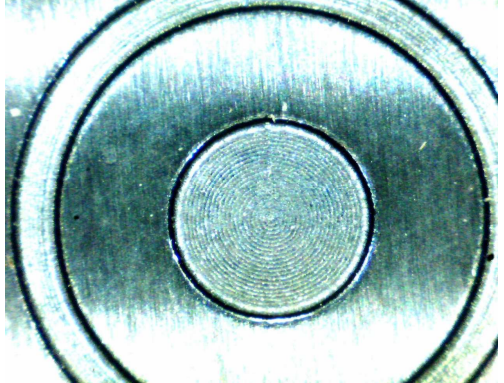
Číslo	Povrch obrobenej desky	Povrch pryžového vzorku
1		
2		
3		

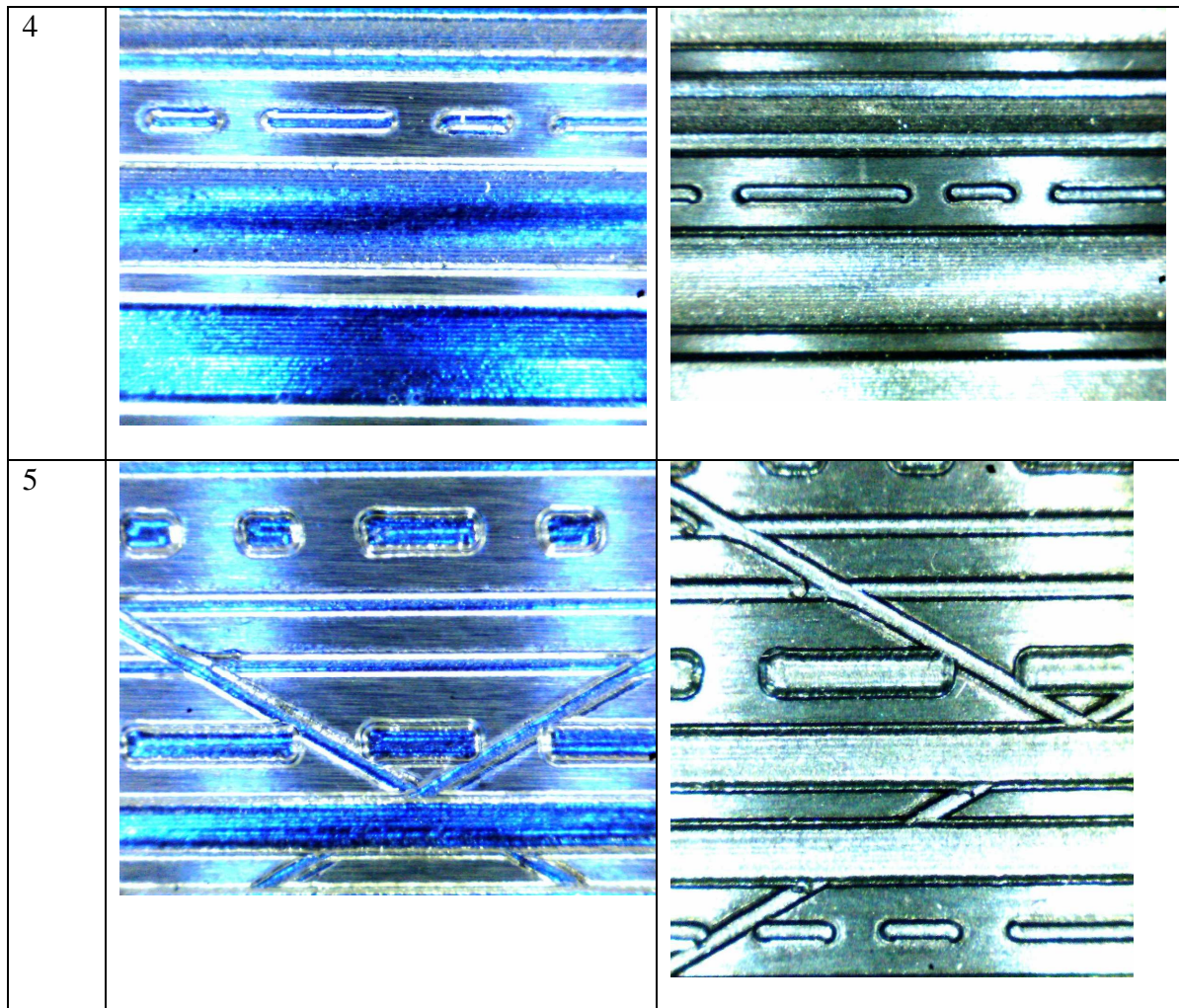


12.2.2 Vzorek vyrobený frézováním frézou pro popisování

Na těchto snímcích můžete také pozorovat stopy po nástroji, které jsou na vylisovaných vzorcích již nepatrné. Rohy nejsou ostré ani v tomto případě a i zde jsou zaoblené. Na těchto vzorcích nejsou patrné žádné otřepy. Na obrázcích dále můžeme pozorovat rohy, které byly vyrobeny, navazování čar, křížení čar a přerušované čáry.

Tab. 8 Detailní snímky vzorků vyrobených frézováním frézou pro popisování

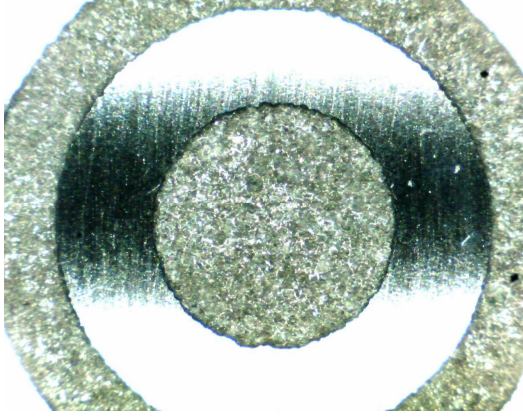
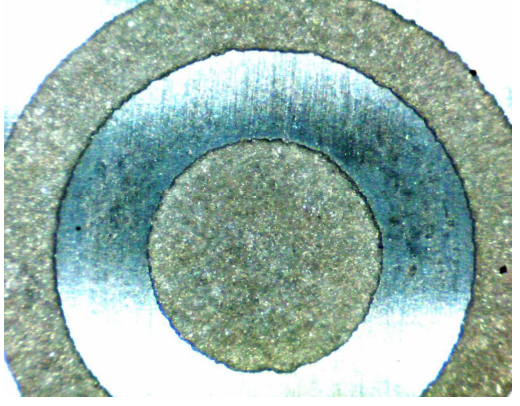
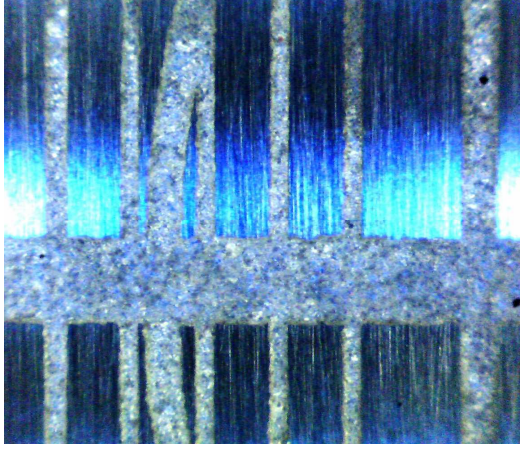
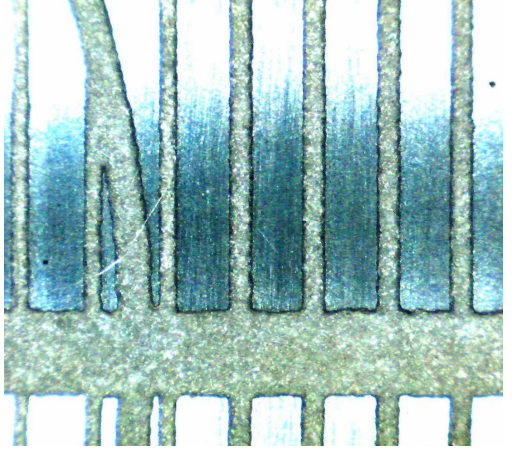
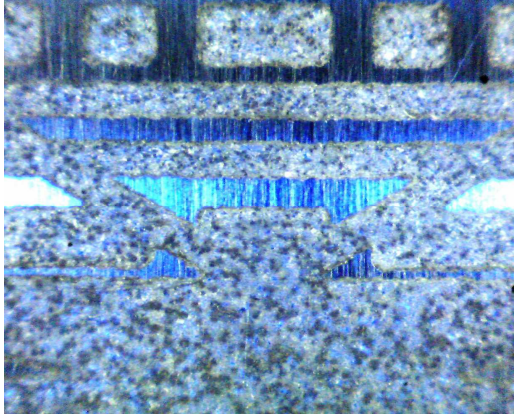
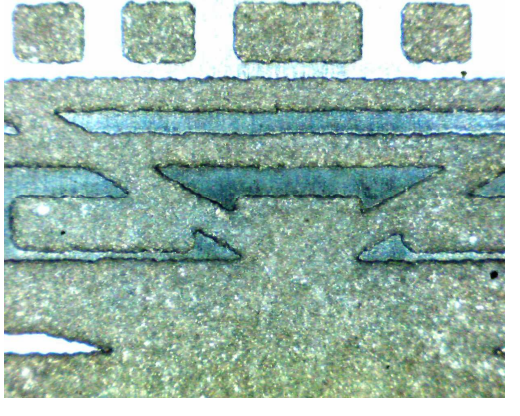
Číslo	Povrch obrobenej desky	Povrch pryžového vzorku
1		
2		
3		

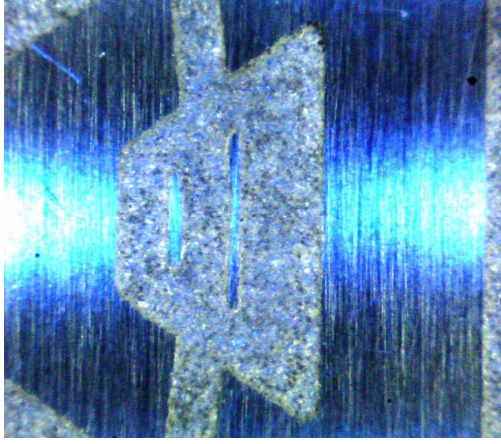
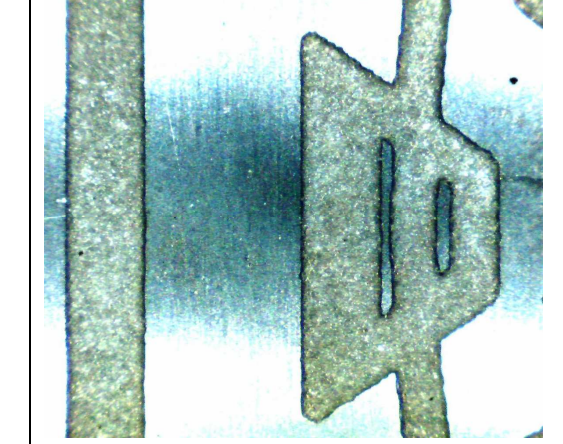
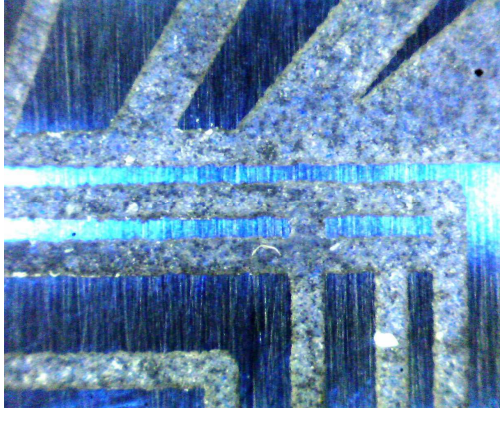

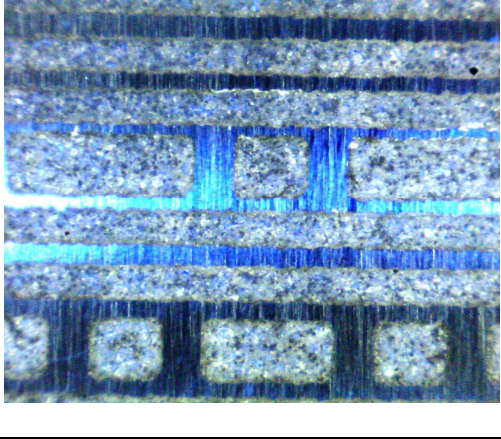
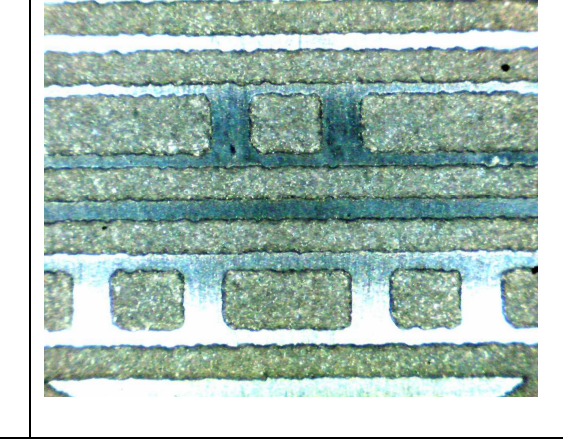
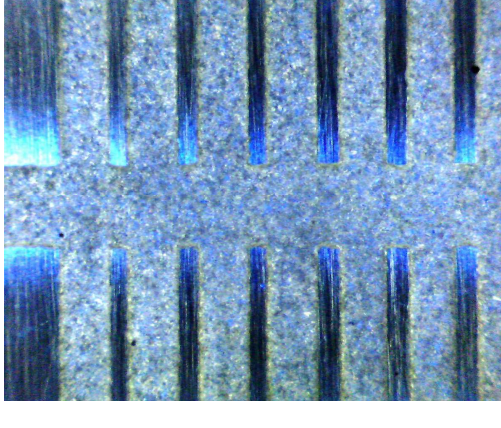
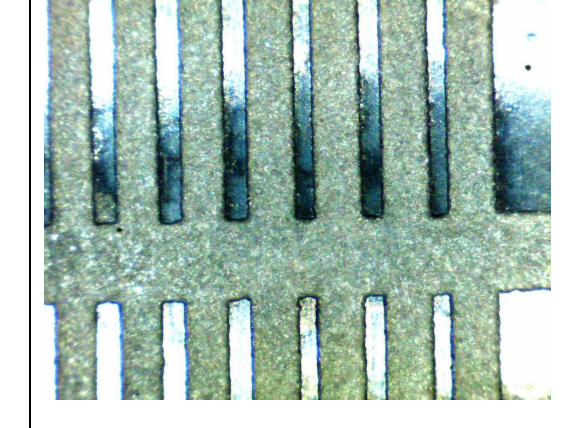


12.2.3 Vzorky vyrobené pomocí fotochemického obrábění

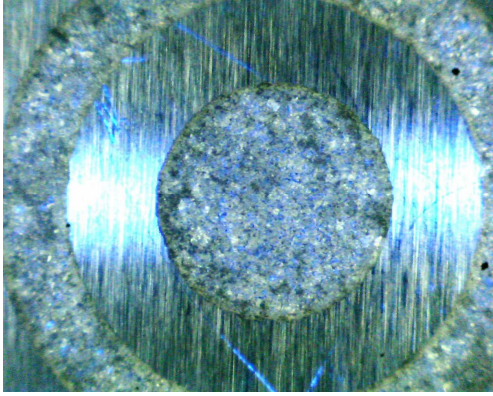
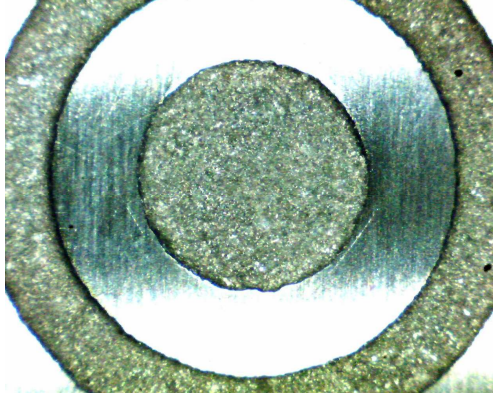
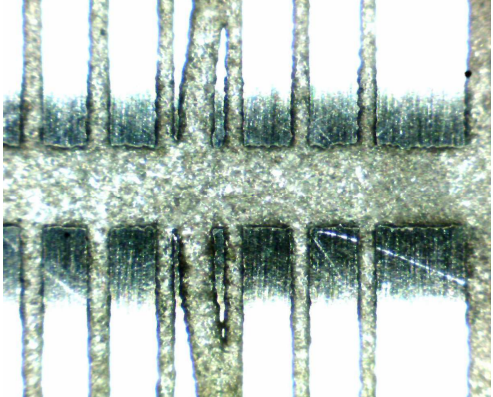
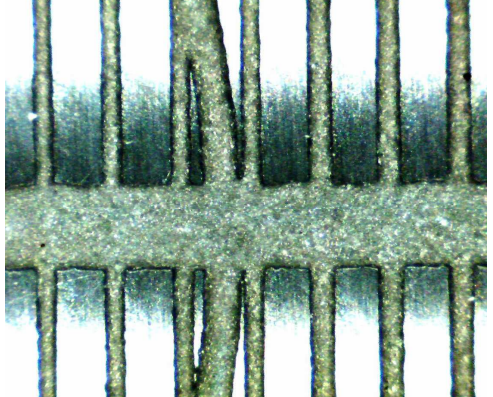
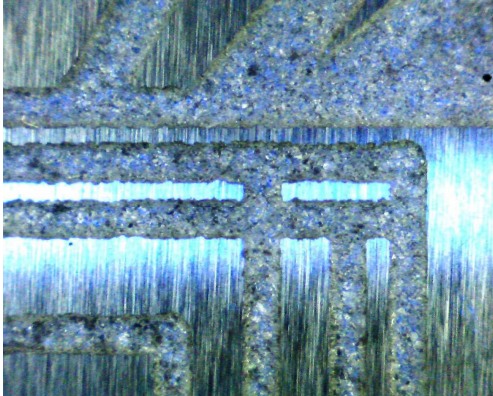
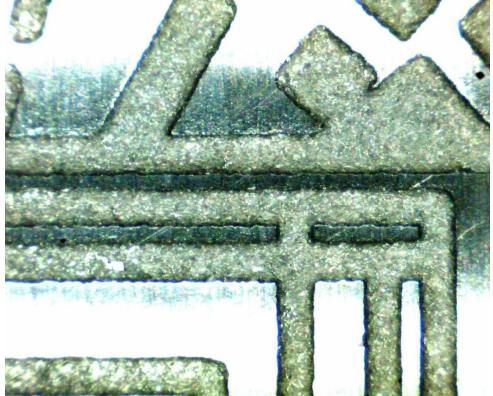
Z detailních snímků lze vidět zrnitý povrch, který při leptání vzniká. Na rozdíl od jiných metod, vzniklé kontury nejsou dokonale rovné. Ani v tomto případě jsme nedosáhli ostrých rohů. Vzniklé rohy jsou ovlivněny podleptáním, které při této technologii vzniká. Tímto faktorem je také ovlivněno křížení a napojování čar.

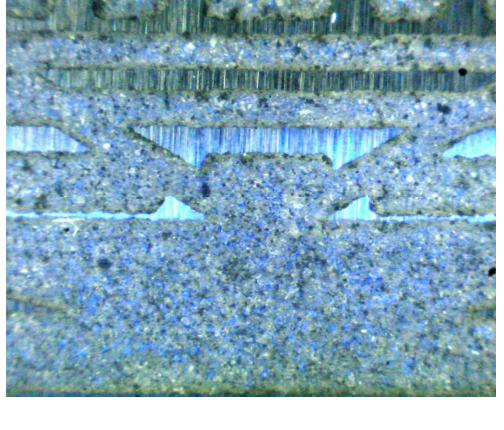

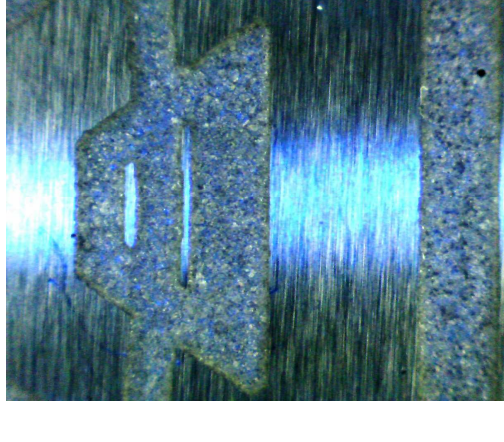
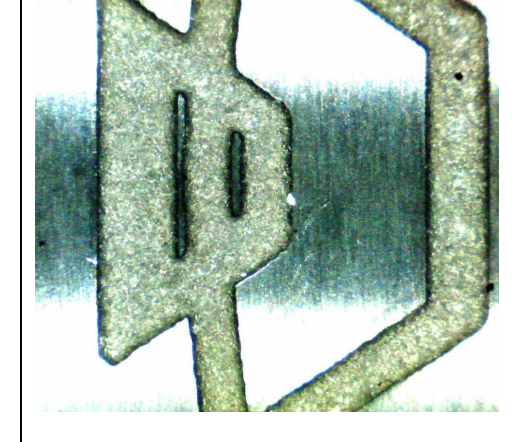
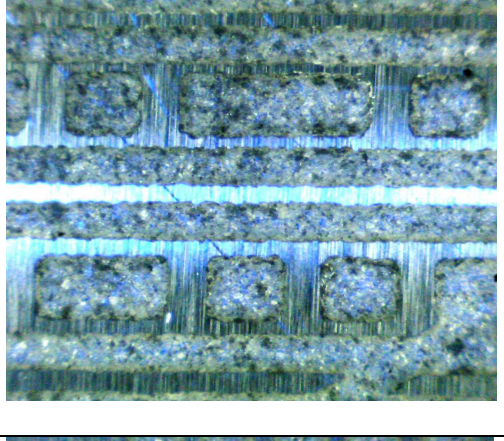
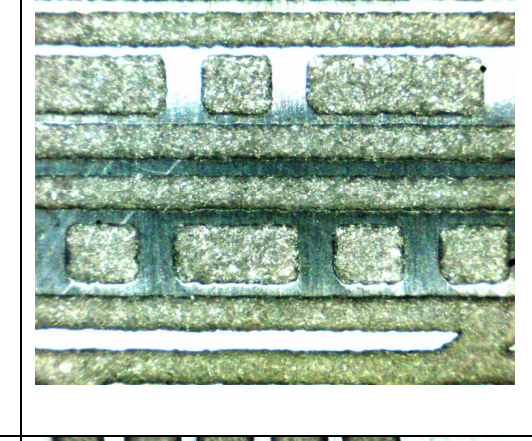
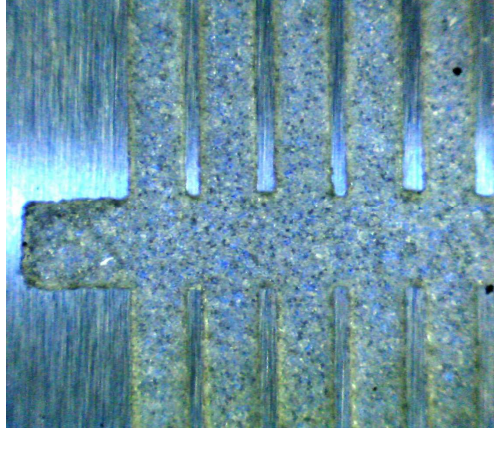
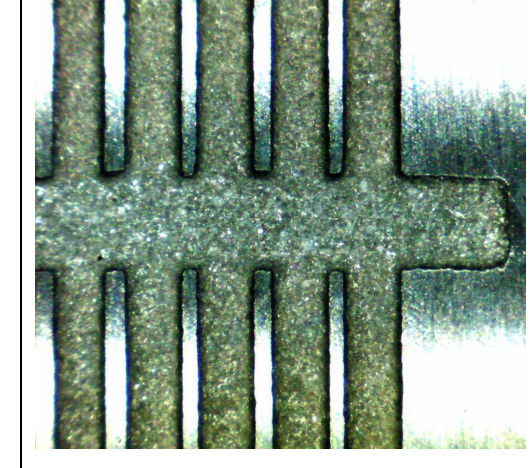
Tab. 9 Detailní snímky vzorků vyrobených fotochemickým obráběním při výrobné hloubce 0,1 mm

Čísl o	Povrch obrobenej desky	Povrch pryžového vzorku
1		
2		
3		

4		
5		
6		
7		

Tab. 10 Detailní snímky vzorků vyrobených fotochemickým obráběním při vyrobené hloubce 0,2 mm

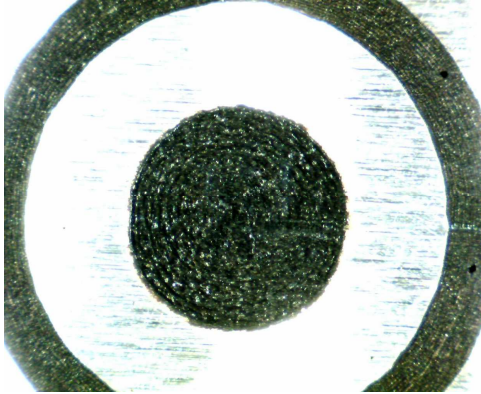
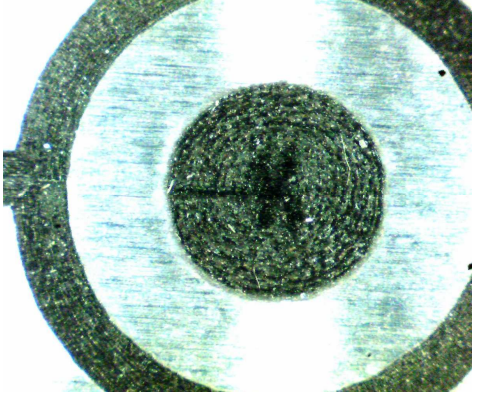
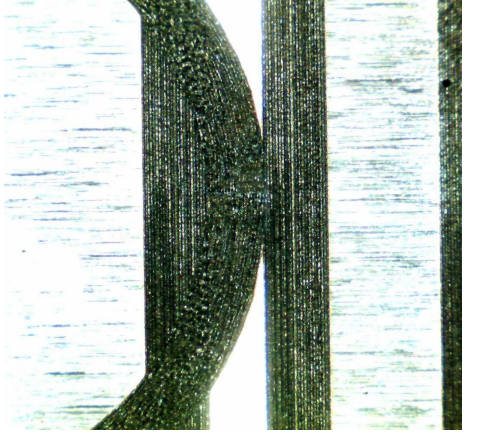
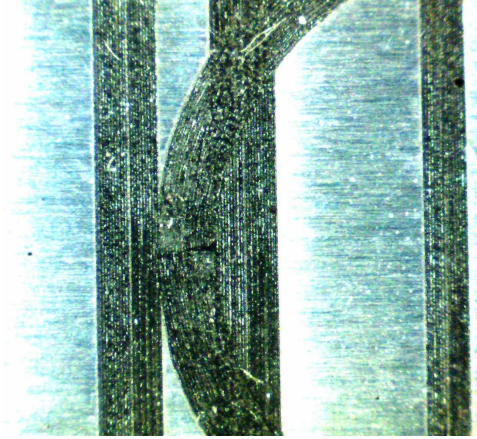
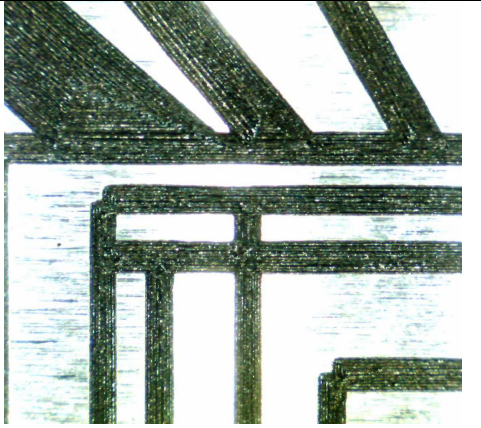
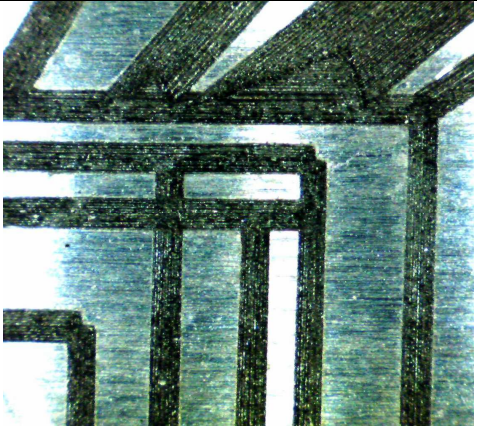
Číslo	Povrch obrobenej desky	Povrch pryžového vzorku
1		
2		
3		

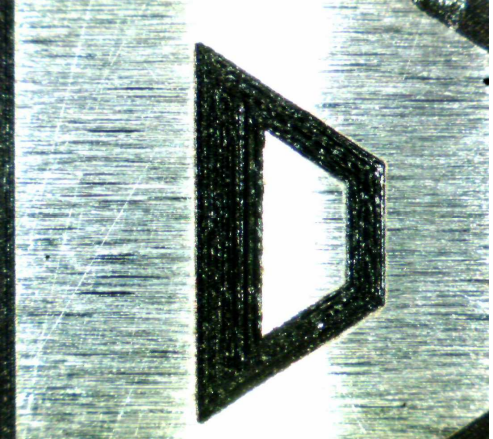
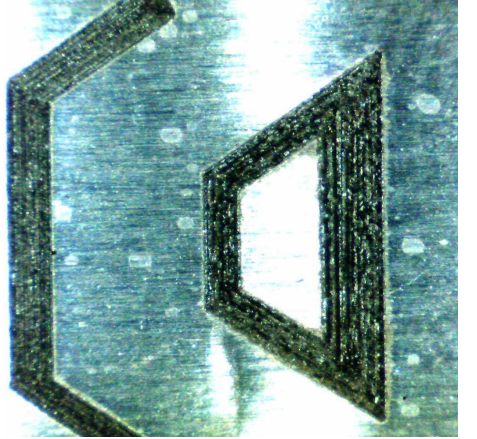
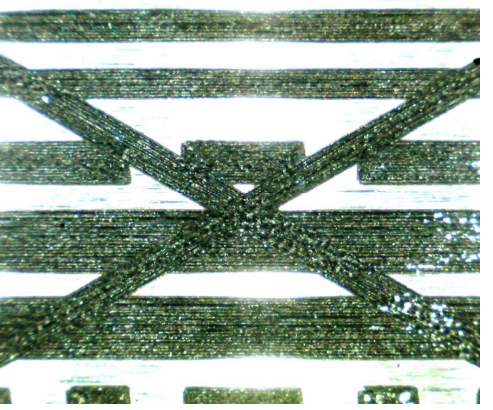
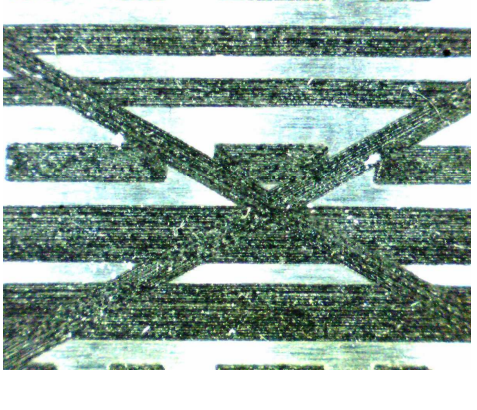
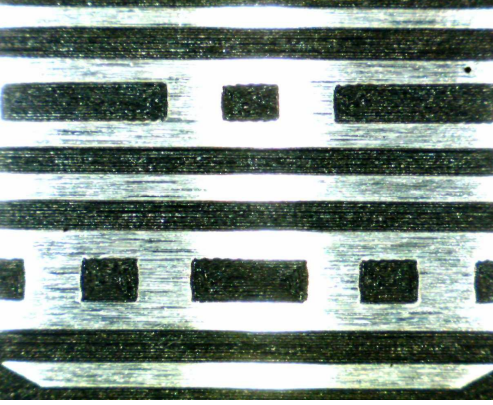
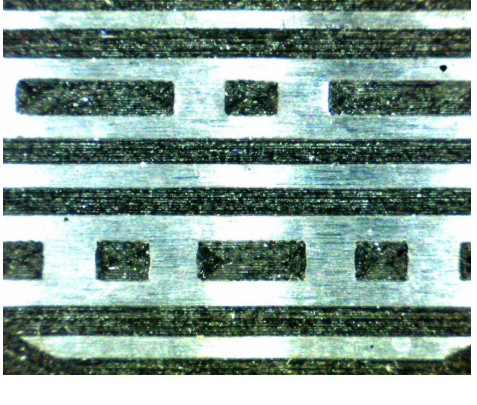
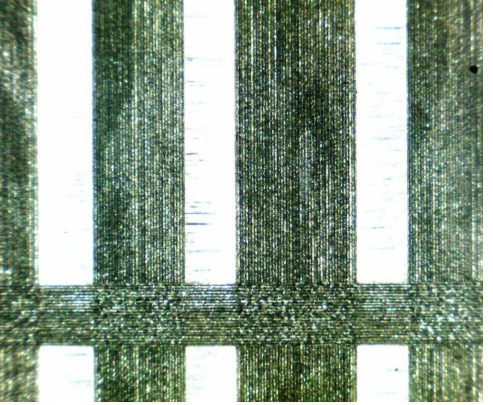
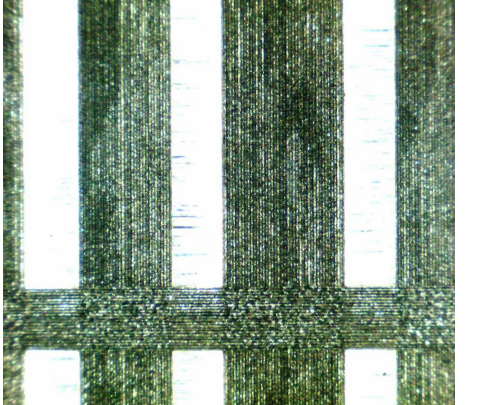
4		
5		
6		
7		

12.2.4 Vzorek vyrobený pomocí laserového obrábění

Na snímcích lze pozorovat dráhy, po kterých paprsek při obrábění postupoval. Touto technologií jsme dosáhli téměř ostrých rohů. Napojení čar do obdélníků na snímcích číslo 3 je dáno naprogramováním obrábění monitoru. Křížení čar touto metodou je bezchybné.

Tab. 11 12 Detailní snímky vzorků vyrobených laserovým obráběním

Čís- lo	Povrch obrobené desky	Povrch pryžového vzorku
1		
2		
3		

4		
5		
6		
7		

12.3 Porovnání drsností povrchů

Jelikož měření pryžových vzorků by bylo obtížné, drsnosti povrchu byly měřeny na ocelových destičkách. Jakost povrchu ocelových destiček je obrazem povrchu vylisovaných vzorků.

12.3.1 Vzorek vyrobený frézováním rádiusovou frézou

Tab. 13 Podélná a příčná drsnost vzorku vyrobeného frézováním rádiusovou frézou

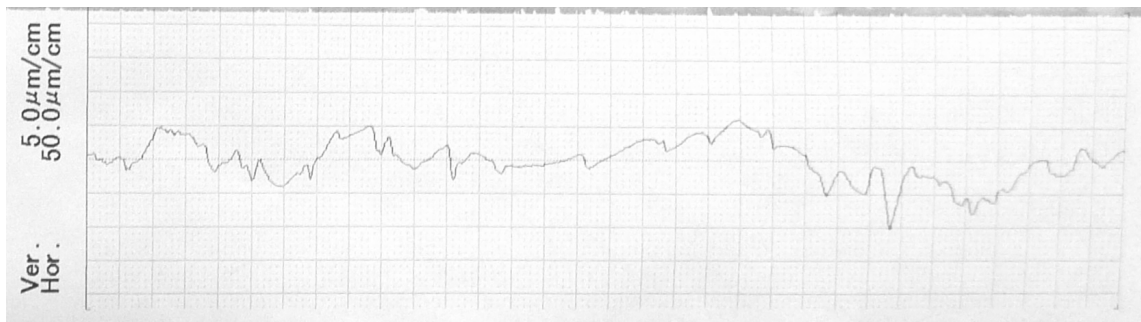
Číslo měření	Podélná		Příčná	
	Ra (μm)	Rz (μm)	Ra (μm)	Rz (μm)
1	1,46	8,80	7,51	42,61
2	1,47	14,73	7,36	41,15
3	0,95	6,84	6,83	39,00
4	1,62	14,49	8,19	41,07
5	1,16	8,17	7,19	45,98
Průměr	1,33	10,61	7,42	41,96
Směrodatná odchylka	0,27	3,72	0,50	2,59

Podélná drsnost vzorku : $Ra = 1,33 \pm 0,27 \mu\text{m}$

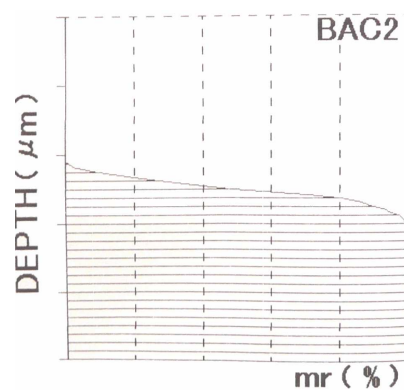
$$Rz = 10,61 \pm 3,72 \mu\text{m}$$

Příčná drsnost vzorku : $Ra = 7,42 \pm 0,50 \mu\text{m}$

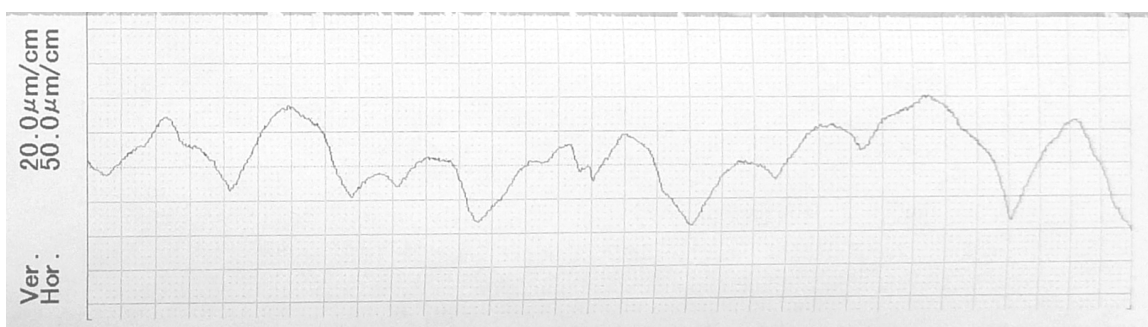
$$Rz = 41,96 \pm 2,59 \mu\text{m}$$



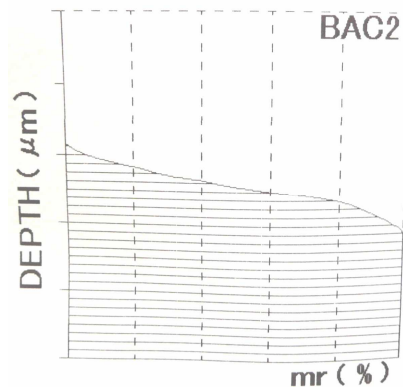
Obr. 82 Průběh podélné drsnosti povrchu vzorku vyrobeného frézováním rádiusovou frézou



Obr. 83 Materiálový poměr vzorku vyrobeného frézováním rádiusovou frézou v podélném směru



Obr. 84 Průběh příčné drsnosti povrchu vzorku vyrobeného frézováním rádiusovou frézou



Obr. 85 Materiálový poměr
vzorku vyrobeného frézováním
rádiusovou frézou v příčném
směru

12.3.2 Vzorek vyrobený frézováním frézou pro popisování

Tab. 14 Podélná a příčná drsnost vzorku vyrobeného frézováním frézou pro
popisování

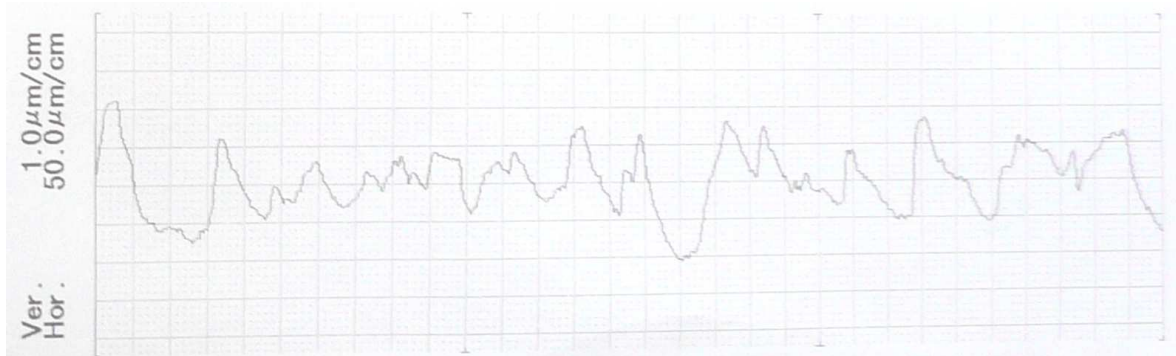
Číslo měření	Podélná		Příčná	
	Ra (μm)	Rz (μm)	Ra (μm)	Rz (μm)
1	0,32	1,56	0,98	6,03
2	0,21	1,31	0,93	4,88
3	0,25	1,47	1,02	7,19
4	0,31	1,82	0,94	7,20
5	0,34	1,78	1,13	6,16
Průměr	0,29	1,59	1,00	6,29
Směrodatná odchylka	0,05	0,21	0,08	0,96

Podélná drsnost vzorku : $Ra = 0,29 \pm 0,05 \mu\text{m}$

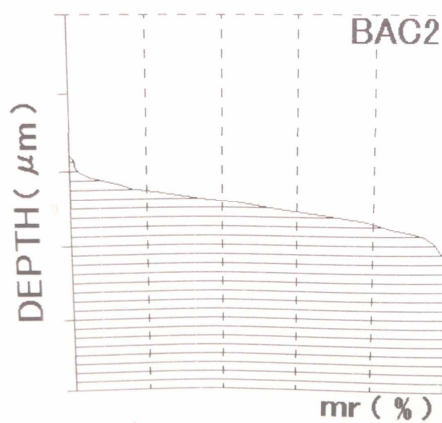
$Rz = 1,59 \pm 0,21 \mu\text{m}$

Příčná drsnost vzorku : $R_a = 1,00 \pm 0,08 \mu\text{m}$

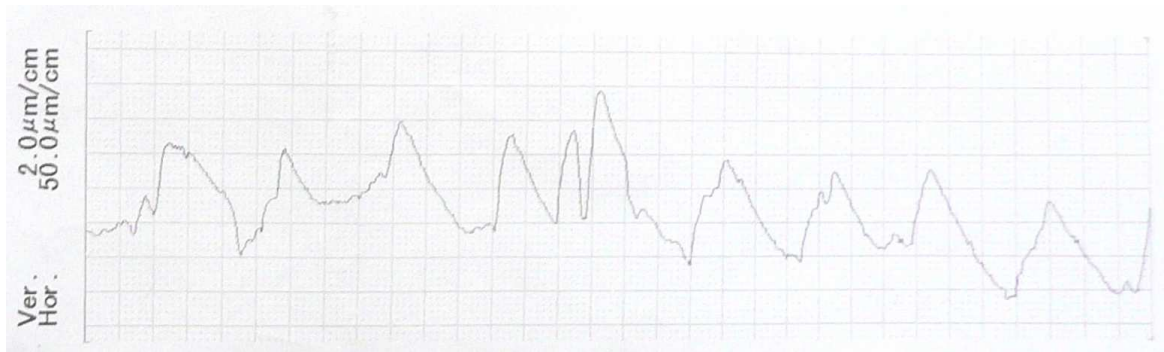
$R_z = 6,29 \pm 0,96 \mu\text{m}$



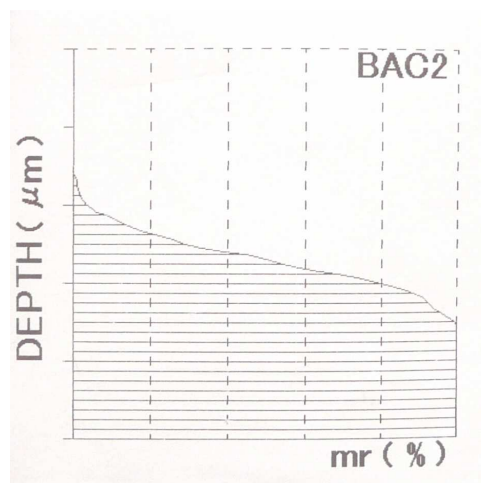
Obr. 86 Průběh podélné drsnosti povrchu vzorku vyrobeného frézováním frézou pro popisování



Obr. 87 Materiálový poměr vzorku vyrobeného frézováním rádiusovou frézou v podélném směru



Obr. 88 Průběh příčné drsnosti povrchu vzorku vyrobeného frézováním frézou pro popisování



Obr. 89 Materiálový poměr vzorku vyrobeného frézováním rádiusovou frézou v příčném směru

12.3.3 Vzorky vyrobené pomocí fotochemického obrábění

Tab. 15 Drsnost vzorků vyrobených fotochemickým obráběním

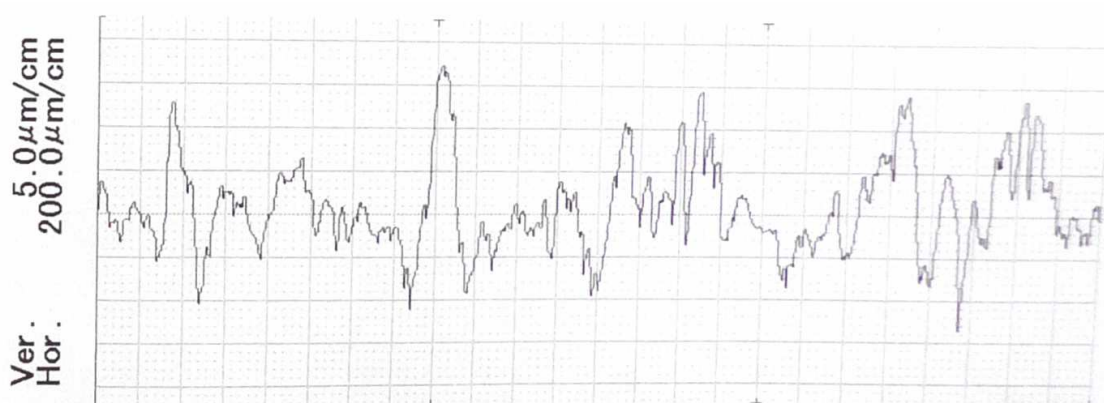
Číslo měření	Vyrobená hloubka 0,1 mm		Vyrobená hloubka 0,2 mm	
	Ra (μm)	Rz (μm)	Ra (μm)	Rz (μm)
1	1,77	11,10	2,08	14,47
2	1,75	10,51	1,48	9,99
3	2,35	14,51	1,68	9,47
4	1,83	10,96	1,33	8,44
5	2,00	13,57	1,42	8,90
Průměr	1,94	12,13	1,60	10,25
Směrodatná odchylka	0,25	1,79	0,30	2,43

Drsnost vzorku s hloubkou 0,1 mm : $R_a = 1,94 \pm 0,25 \mu\text{m}$

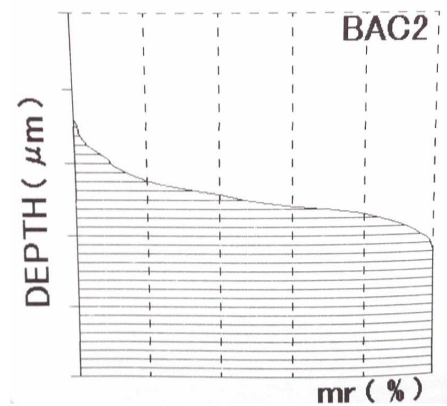
$$R_z = 12,13 \pm 1,79 \mu\text{m}$$

Drsnost vzorku s hloubkou 0,2 mm : $R_a = 1,60 \pm 0,30 \mu\text{m}$

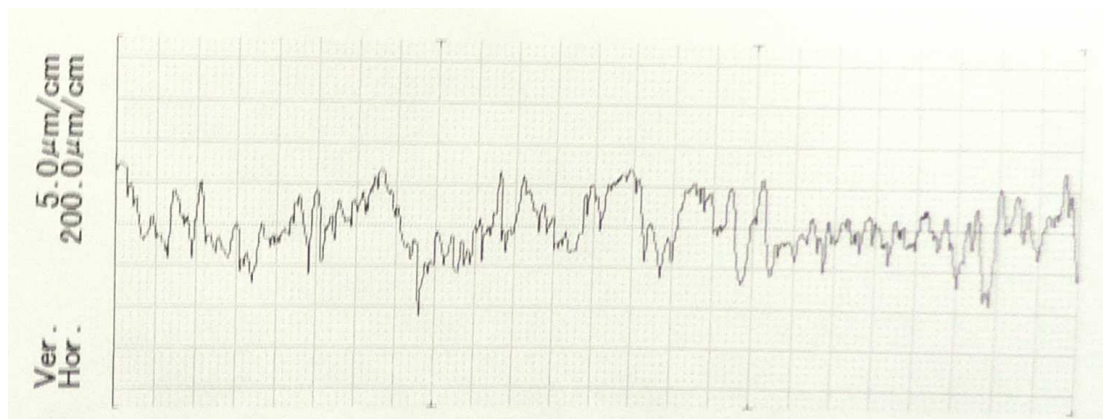
$$R_z = 10,25 \pm 2,43 \mu\text{m}$$



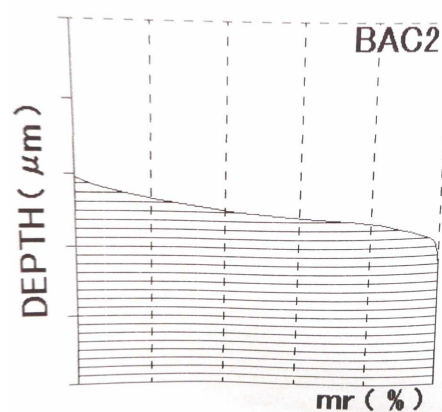
Obr. 90 Průběh drsnosti povrchu vzorku vyrobeného fotochemickým obráběním s hloubkou popisu 0,1 mm



Obr. 91 Materiálový poměr vzorku vyrobených fotochemickým obráběním o hloubce 0,1 mm



Obr. 92 Průběh drsnosti povrchu vzorku vyrobeného fotochemickým obráběním s hloubkou popisu 0,2 mm



Obr. 93 Materiálový poměr vzorku o hloubce 0,2 mm vyrobených fotochemickým obráběním

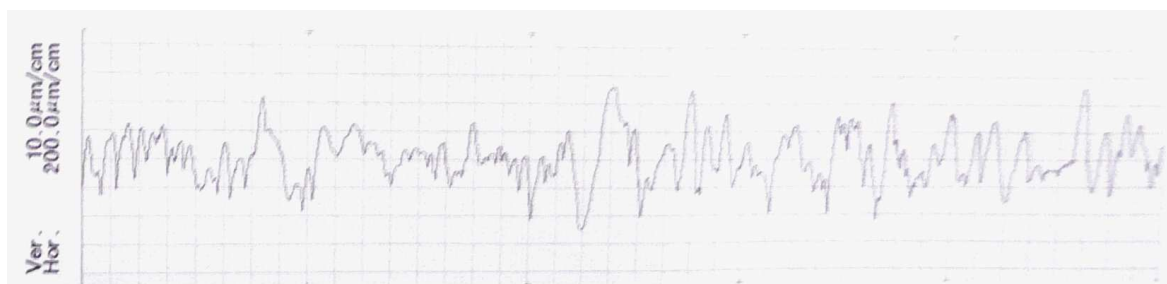
12.3.4 Vzorek vyrobený pomocí laserového obrábění

Tab. 16 Drsnost vzorku vyrobeného laserovým obráběním

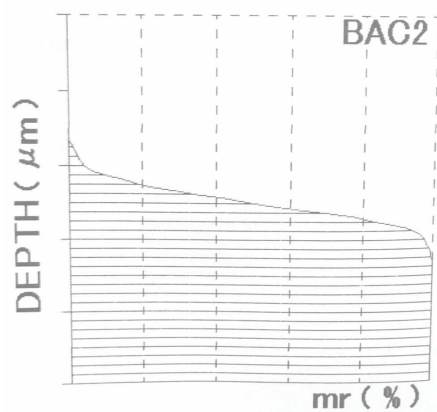
Číslo měření	Ra (μm)	Rz (μm)
1	3,66	20,58
2	3,50	21,20
3	4,25	28,44
4	2,98	17,77
5	3,5	20,44
Průměr	3,58	21,69
Směrodatná odchylka	0,45	4,00

Drsnost vzorku: $R_a = 3,58 \pm 0,45 \mu\text{m}$

$R_z = 21,69 \pm 4,00 \mu\text{m}$



Obr. 94 Průběh drsnosti povrchu vzorku vyrobeného fotochemickým obráběním s hloubkou popisu 0,2 mm



Obr. 95 Materiálový poměr vzorku vyrobených laserovým obráběním

ZÁVĚR

Diplomová práce je rozdělena do dvou částí, a to teoretické a praktické. V teoretické části byl uveden přehled konvenčních a nekonvenčních metod. Metodám, které se pro popis forem pro výrobu plášťů pneumatik běžně používají byla věnována větší pozornost. Dále teoretická část obsahuje popis konstrukce a výroby plášťů pneumatik, rozdělení materiálů autoplášťů a požadavky na ně.

Praktická část práce je zaměřena do oblasti využití frézování, fotochemického obrábění, obrábění laserem a elektroerozivního obrábění jako možnosti popisu plášťů pneumatik. Pomocí těchto technologií bylo vyrobeno 5 vzorků. Výstupem jsou návrhy a realizace navržených metod popisu dutiny forem s cílem najít optimální řešení jak po stránce technologické tak i ekonomické. Vzorky byly porovnány pomocí detailních snímků a byla naměřena drsnost obrobených ploch.

1) Elektroerozivní obrábění nebylo využito k vytvoření zkušebních vzorků. V této diplomové práci byly uvedeny příklady popisů vyrobených pomocí elektroerozivního obrábění. K jednomu již vyrobenému popisu bylo uvedeno ekonomické zhodnocení výroby. Tato metoda je vhodná především pro nápisy, kde požadujeme ostré rohy. Technologie není omezená tvrdostí obráběného materiálu. Jediným požadavkem je elektrická vodivost obrobku. Nevýhodou je vysoká cena výroby pomocí této technologie.

2) Při frézování bylo použito dvou nástrojů, rádiusové frézy o průměru 0,5 mm a frézy pro popisování. Při této technologii je možné dosáhnout jakékoliv hloubky popisu. Kvalita popisu je odvozena od kvality nástroje a stroje. V dnešní době lze použít pěti-osích CNC obráběcích strojů, které nabízejí velké možnosti při popisování. Po otupení nástroje je možno tento přebrousit. Geometrie nástroje vždy ovlivňuje geometrii vzniklého popisu, a to především rohy, které po obrobení vzniknou. Podélná drsnost plochy obrobené pomocí rádiusové frézy je $R_a = 1,33 \pm 0,27 \mu\text{m}$, příčná drsnost $R_a = 7,42 \pm 0,50 \mu\text{m}$. Podélná drsnost plochy obrobené pomocí frézy pro popisování je $R_a = 0,29 \pm 0,05 \mu\text{m}$, příčná drsnost $R_a = 1,00 \pm 0,08 \mu\text{m}$. Vysoká drsnost vzniklá během obrábění rádiusovou frézou je dána otupením tohoto nástroje během obrábění. Na rozdíl od frézy na popisování nebylo možno v našich podmínkách rádiusovou frézou přebrousit. Z tohoto důvodu bylo dosaženo

kvalitnějšího obrobeného povrchu při obrábění frézou na popisování. Ekonomické zhodnocení vyšlo pro jednosměnný provoz při použití rádiusové frézy 2746,- Kč za vyrobený popis, pro frézu pro popisování je to 2112,- Kč. Cena je vysoká především z důvodu započítání plné ceny nástroje.

3) Metodou fotochemického obrábění byly vyrobeny také dva vzorky, jejich rozdíl je v hloubce vyrobeného monitoru. Jeden vzorek má hloubku 0,1 mm a druhý 0,2 mm. U této technologie jsme omezeni časem, po který na obrobek může leptadlo působit. Při delším čase leptání by již nevydržela maska chránící povrch, který nemá být odleptán. Různé materiály se odleptávají různou rychlostí, z toho vyplývá, že maximální hloubka leptu závisí na druhu materiálu. V našem případě byla pro ocel 11 600 maximální dosažená vyrobená hloubka 0,2 mm. Tato metoda je vhodná zejména pro výrobu tenkých čar, jelikož nejsme ovlivněni rozměry nástroje. Při leptu, zejména silnějších podložek, dochází k podleptání. Jeho velikost je charakterizována tzv. faktorem leptu, což je poměr hloubky leptu k podleptání. Navazování, křížení čar a rohy, které touto metodou vzniknou jsou také ovlivněny podleptáním. Vzniklé kontury nejsou dokonale ostré. Toho všeho si můžeme všimnout u detailních snímků těchto vzorků. Drsnost vyrobených ploch pro vzorek o vyrobené hloubce 0,1 je $R_a = 1,94 \pm 0,25 \mu\text{m}$, drsnost vzorku s vyrobenou hloubkou 0,2 mm je $R_a = 1,60 \pm 0,30 \mu\text{m}$. Cena vzorku s vyrobenou hloubkou 0,1mm je 203,-Kč, s hloubkou 0,2 mm je 252,-Kč. Velkou výhodou této technologie je její nízká cena.

4) Laserovým obráběním bylo v našem případě dosaženo malé hloubky popisu, důvodem byl nízký výkon laseru. Na vzniku monitoru se podílela především změna drsnosti obrobené plochy, což vypovídá i z naměřené drsnosti $R_a = 3,58 \pm 0,45 \mu\text{m}$. Cena tohoto vzorku uvažovaná pro jednosměnný provozu je 1243,- Kč. Tato technologie pro vytvoření popisu forem pro výrobu plášťů pneumatik v praxi zatím není příliš rozšířena. Musíme ovšem zmínit výhody popisování pomocí laseru. Tím je především vysoká rychlost popisu. U moderních 3D strojů můžeme vytvořit úkopy, zaoblení hran, ale i hrany s ostrými úhly, popisovat zakřivené plochy. Můžeme dosáhnout jakékoliv hloubky popisu a ani šířka čar není nijak omezena. Neexistuje žádné opotřebení nástroje, jelikož nástrojem je paprsek laseru. Naopak nevýhodami jsou vysoká pořizovací náklady za stroj a nutnost vysoce zaškolených pracovníků.

Závěrem je možno konstatovat, že výběr dané technologie je limitován vždy více faktory a nebylo by tedy vhodné stanovovat pořadí při hodnocení daných technologií. Musíme vycházet z požadavku na vyrobený popis, jeho kvalitu, množství, geometrii a důležitá je také hloubka. Při současné ekonomické situaci se jeví jako limitující faktor ekonomická náročnost výroby.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] SÝKOROVÁ, L.: T9NT - přednáška
- [2] Kolektiv autorů: Terminologie obrábění a montáže, Universita J. E. Purkyně, ÚTRV, Ústí nad Labem 2004
- [3] KOČMAN, K.: Prokop, J.: Technologie obrábění, CERM, s.r.o. Brno, 2005
- [4] LUKOVICS, I.: Konstrukční materiály a technologie, VUT Brno, ISBN 80-214-0399-3
- [5] MISAN s.r.o., - Mazak 2005, Ke Vrutici 1795, Lysá nad Labem, 7/2005
- [6] DSSM-dělení, spojování a svařování materiálů. 2000-, Vydával Image Interiér Praha, s.r.o..2000-, č.10-, 6x ročně. ISSN 1214-7990
- [7] <http://cs.wikipedia.org/wiki/Grav%C3%ADrov%C3%A1n%C3%AD>
- [8] <http://www.gravograph.cz/clanky/zaklad.html>
- [9] http://www.comagrav.com/cz/frezovaci_gravirovaci_nastroje.html
- [10] http://www.gravograph.com/english/engraving-machines/is400_volume.php
- [11] MAŇKOVÁ, I.: Progresivné technologie, Vienala, Košice
- [12] <http://www.mmspektrum.com/clanek/nekonvencni-metody-obrabeni-3-dil>
- [13] www.mmspektrum.com/clanek/nekonvencni-metody-obrabeni-2-2
- [14] <http://referaty.atlas.sk/prirodne-vedy/fyzika-a-astronomia/2521/?print=1>
- [15] DOSEDĚLOVÁ, P.: Výzkum procesu laserového popisování polymerních materiálů, Diplomová práce, FT UTB, Zlín 2005
- [16] BRIMUS, J.: Vliv koncentrované energie laserového paprsku na různé polymerní materiály, Diplomová práce, FT UTB, Zlín 2006
- [17] <http://www.mmspektrum.com/clanek/lasery-laserove-technologie-a-stroje-s-laserem>
- [18] <http://www.mmspektrum.com/clanek/znaceni-a-gravirovani-laserem>
- [19] <http://www.mmspektrum.com/clanek/nekonvencni-metody-obrabeni-5-dil>

- [20] <http://www.mmspektrum.com/clanek/nekonvencni-metody-obrabeni-2>
- [21] <http://www.mmspektrum.com/clanek/nekonvencni-metody-obrabeni-8-dil>
- [22] BARUM CONTINENTAL SPOL. S R. O. :Gumárenská technologie, 2004
- [23] PREKOP, Š. - Gumárenská technológia II, Žilinská univerzita v Žilině, EDIS 1992 Matador
- [24] PREKOP, Š. - Gumárenská technológia I, Žilinská univerzita v Žilině, EDIS 1998
- [25] FRANTA, I. a kol. – Gumárenská technologie I, Gumárenské suroviny, SNTL, Praha 1979
- [26] <http://www.mmspektrum.com/clanek/nekonvencni-metody-obrabeni>
- [27] URBAN, P. - Využití nekonvenčních metod obrábění při dokončovacích operacích výroby forem, Diplomová práce, FT UTB, Zlín 2008
- [28] SADOWSKY, A., KREHLIK, R. - Lasery v obrábění a metrologii , Praha , SNTL 1977
- [29] SOCHOR, V.- Lasery a koherentní svazky , Praha , ČSAV 1990
- [30] ŽÍDEK, D. - Optimalizace vstupních parametrů pro laserové popisování desek knižních vazeb, Bakalářská práce, FT UTB, Zlín 2005
- [31] http://www.printing.cz/art/ctp/ctp_principy_laseru.html
- [32] ČERNÝ, J. – Řešení pneumatik RC modelů, Bakalářská práce, FT UTB, Zlín 2007
- [33] SECO – MONOLITNÍ STOPKOVÉ FRÉZY, KATALOG A TECHNICKÝ PRŮVODCE 2008, SECO-CAPTO, 2008

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK**Zkratka Jednotky Význam zkratky**

CAD	-	Construction added design
CAM	-	Construction added manufacturing
CNC	-	Computer numerical controlled
KNB	-	Kubický nitrid bóru
DIA	-	Diamant
USM	-	Ultrasonic Machining
AJM	-	Abrasive Jet Machining
AFM	-	Abrasive Flow Machining
WJM	-	Water Jet Machining
AWJM	-	Abrasive Water Jet Machining
CM	-	Chemical Machining
PCM	-	Photochemical Machining
ECM	-	Electrochemical Machining
ECG	-	Electrochemical Grinding
EDM	-	Electrodischarge Machining
LBM	-	Laser Beam Machining
Laser	-	Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation
EBM	-	Electron Beam Machining
IBM	-	Ion Beam Machining
PAM	-	Plasma Arc Machining
I	[W.cm ⁻²]	výstupní intenzita
TEM	-	Transverse electromagnetic mode
TWI		Tread Wear Indication

SS		Speed symbol
š	(cm)	je šířka vzorku v centimetrech
d	(cm)	délka vzorku
K	-	koeficient závislý na druhu materiálu a hloubce leptu
DPH	(%)	Daň z přidané hodnoty
DIN	-	Německé národní normy
ISO	-	Mezinárodní normy (international organization for standardization)
ANSI	-	Americké národní normy
Ra	(μm)	Střední aritmetická drsnost
Rz	(μm)	Největší výška profilu

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1 Univerzální hrotový soustruh	12
Obr. 2 Revolverová hlava [5]	12
Obr. 3 CNC soustružnické centrum s kluzným vedením na plochém loži pro soustružení dlouhých a velkých dílů [5].....	13
Obr. 4 Kinematika válcového frézování	14
Obr. 5 Vodorovná konzolová frézka.....	15
Obr. 6 CNC frézka [5]	16
Obr. 7 Gravírovací stroj	18
Obr. 8 Gravírovací plotter pro gravírování do rotačních předmětů [10]	18
Obr. 9 Gravírovací nástroje.....	19
Obr. 10 a) vrtání, b) vyhrubování, c) vystružování.....	20
Obr. 11 Vyvrtávání	20
Obr. 12 Hoblování	21
Obr. 13 Protahování.....	21
Obr. 14 Model záběru při broušení	22
Obr. 15 Princip honování.....	23
Obr. 16 Schéma řezného procesu při lapování	23
Obr. 17 Zařízení pro obrábění ultrazvukem.....	26
Obr. 18 Vysokotlaký vodní paprsek, vysokotlaký vodní paprsek s abrazivem	27
Obr. 19 Princip obrábění abrazivním paprskem [11]	28
Obr. 20 Princip elektrochemického obrábění	29
Obr. 21 Princip chemického obrábění [27].....	30
Obr. 22 Princip fotochemického obrábění [11]	31
Obr. 23 Princip elektroerozivního obrábění.....	32
Obr. 24 Konfigurace elektrod při hloubení.....	33
Obr. 25 Model atomu.....	35
Obr. 26 Schéma laseru	37
Obr. 27 Srovnání laserového světla (a) a fokusovaného neparalerního světla (b).....	37
Obr. 28 Vybrané módy s jejich označením a vhodností použití [11]	38
Obr. 29 Vlnové délky pro různé typy laserů [27]	39
Obr. 30 Druhy režimů laserů.....	41

Obr. 31 Rozdělení podle konstrukce laseru	42
Obr. 32 Příklad gravírování laserem [17]	43
Obr. 33 Princip popisování součásti přes masku	44
Obr. 34 Princip popisování součástí vychylováním paprsku laseru	45
Obr. 35 Princip metody obrábění elektronovým paprskem:	46
Obr. 36 Princip obrábění iontovým paprskem	46
Obr. 37 Základní konfigurace hořáku pro plazmový oblouk	47
Obr. 38 Pneumatika s duší	48
Obr. 39 Bezdušová pneumatika	49
Obr. 40 Značení bočnice pláště pro osobní automobily.....	50
Obr. 41 Vývoj profilového čísla	51
Obr. 42 Kategorie rychlosti.....	52
Obr. 43 Struktura pláště [22]	52
Obr. 44 Diagonální konstrukce pláště [22]	54
Obr. 45 Radiální konstrukce pláště [22]	55
Obr. 46 Schéma toku materiálu [22].....	56
Obr. 47 Počítačový model řezu pláště, membrány a segmentové vulkanizační formy [23]	58
Obr. 48 Popis částí vulkanizační formy [22]	59
Obr. 49 Řez segmentovou formou pro osobní pláště [22]	60
Obr. 50 Kordová tkanina [22].....	61
Obr. 51 Navržený monitor pro frézování.....	67
Obr. 52 Navržený monitor pro fotochemické obrábění	68
Obr. 53 Polotovar.....	69
Obr. 54 Použitá frézka	70
Obr. 55 Rádiusová fréza	70
Obr. 56 Verifikace CNC dat pro rádiusovou frézu	71
Obr. 57 Frézování monitoru pomocí rádiusové frézy	71
Obr. 58 Popis vytvořený pomocí rádiusové frézy.....	72
Obr. 59 Fréza pro popisování.....	75
Obr. 60 Verifikace CNC dat pro frézu pro popisování.....	75
Obr. 61 Frézování monitoru pomocí popisovací frézy	76
Obr. 62 Monitor vytvořený pomocí frézy na popisování.....	77

Obr. 63 Monitor o vyrobené hloubce 0,1 mm vytvořený fotochemickým obráběním.....	82
Obr. 64 Monitor o vyrobené hloubce 0,2 mm vytvořený fotochemickým obráběním.....	83
Obr. 65 Vznik podřezání u fotochemického obrábění [27]	83
Obr. 66 Elektrody pro elektroerozivní hloubení – příklady vyráběných nápisů	85
Obr. 67 Stroj pro elektroerozivní hloubení	86
Obr. 68 Elektroda pro popis řadící páky	86
Obr. 69 Detail jednoho popisu	87
Obr. 70 Pohled do poloviny tvarové dutiny formy	87
Obr. 71 Vystříknutý výrobek	88
Obr. 72 Použitý stroj	89
Obr. 73 Výroba monitoru laserovým obráběním	90
Obr. 74 Monitor vytvořený laserovým obráběním.....	90
Obr. 75 Vulkanizační lis	94
Obr. 76 Pryžový otisk monitoru vytvořeného pomocí rádiusové frézy	95
Obr. 77 Pryžový otisk monitoru vytvořeného pomocí frézy pro popisování.....	95
Obr. 78 Pryžové otisky monitoru s hloubkou 0,1 mm vytvořeného pomocí fotochemického obrábění	96
Obr. 79 Pryžové otisky monitoru s hloubkou 0,2 mm vytvořeného pomocí fotochemického obrábění	96
Obr. 80 Pryžový otisk monitoru vytvořeného pomocí laserového obrábění.....	97
Obr. 81 Mikrokamera ProScope HR [27].....	98
Obr. 82 Průběh podélné drsnosti povrchu vzorku vyrobeného frézováním rádiusovou frézou.....	110
Obr. 83 Materiálový poměr vzorku vyrobeného frézováním rádiusovou frézou v podélném směru	110
Obr. 84 Průběh příčné drsnosti povrchu vzorku vyrobeného frézováním rádiusovou frézou.....	110
Obr. 85 Materiálový poměr vzorku vyrobeného frézováním rádiusovou frézou v příčném směru	111
Obr. 86 Průběh podélné drsnosti povrchu vzorku vyrobeného frézováním frézou pro popisování	112
Obr. 87 Materiálový poměr vzorku vyrobeného frézováním rádiusovou frézou v podélném směru	112

Obr. 88 Průběh příčné drsnosti povrchu vzorku vyrobeného frézováním frézou pro popisování	113
Obr. 89 Materiálový poměr vzorku vyrobeného frézováním rádiusovou frézou v příčném směru	113
Obr. 90 Průběh drsnosti povrchu vzorku vyrobeného fotochemickým obráběním s hloubkou popisu 0,1 mm	114
Obr. 91 Materiálový poměr vzorku vyrobených fotochemickým obráběním o hloubce 0,1 mm.....	115
Obr. 92 Průběh drsnosti povrchu vzorku vyrobeného fotochemickým obráběním s hloubkou popisu 0,2 mm	115
Obr. 93 Materiálový poměr vzorku o hloubce 0,2 mm vyrobených fotochemickým obráběním.....	115
Obr. 94 Průběh drsnosti povrchu vzorku vyrobeného fotochemickým obráběním s hloubkou popisu 0,2 mm	116
Obr. 95 Materiálový poměr vzorku vyrobených laserovým obráběním	117

SEZNAM TABULEK

Tab. 1 Základní rozdělení nekonvenčních technologií [11]	25
Tab. 2 Rozdělení typů laserů podle aktivního média [27]	40
Tab. 3 Některé druhy syntetických kaučuků, jejich označení a použití	63
Tab. 4 Sazby pro rovnoměrné odpisování	73
Tab. 5 Sazby pro rovnoměrné odpisování	78
Tab. 6 Sazby pro rovnoměrné odpisování	91
Tab. 7 Detailní snímky vzorků vyrobených frézováním rádiusovou frézou	99
Tab. 8 Detailní snímky vzorků vyrobených frézováním frézou pro popisování	101
Tab. 9 Detailní snímky vzorků vyrobených fotochemickým obráběním při vyrobené hloubce 0,1 mm	103
Tab. 10 Detailní snímky vzorků vyrobených fotochemickým obráběním při vyrobené hloubce 0,2 mm	105
Tab. 11 12 Detailní snímky vzorků vyrobených laserovým obráběním	107
Tab. 13 Podélná a příčná drsnost vzorku vyrobeného frézováním rádiusovou frézou	109
Tab. 14 Podélná a příčná drsnost vzorku vyrobeného frézováním frézou pro popisování	111
Tab. 15 Drsnost vzorků vyrobených fotochemickým obráběním	114
Tab. 16 Drsnost vzorku vyrobeného laserovým obráběním	116