

Využití nekonvenčních metod obrábění při dokončovacích operacích výroby forem

Bc. Pavel Urban

Diplomová práce
2008



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická

ABSTRAKT

Cílem této práce bylo provedení možnosti aplikace metod nekonvenčních technologií pro popis dutiny forem plášťů pneumatik. Literární studie je tedy zaměřena na výrobu těchto plášťů a dále je v ní přehled nekonvenčních metod obrábění.

V praktické části bylo provedeno experimentální obrábění aplikací dvou rozdílných metod nekonvenčních technologií, a to pomocí laserové technologie a chemického obrábění. Konečný produkt, kterým byl pryžový výlisek loga, byl dále vyhodnocen s cílem nalézt optimální řešení jak po stránce technologické, tak ekonomické

ABSTRAKT

Purpose of this work has been to accomplish potential use to method alternative technology for description cavity form tyre. Literary treatise is focus on making this tyre and next is about summary alternative method machining.

In practical part has been accomplish experimental machining use to two different method alternative technology, namely assist of laser technology and chemical machining. Final product, that has been rubber pressing logo, has been next evaluate with target find optimal solution both on aspect technological and on aspect economical.

Rád bych zde poděkoval své vedoucí Ing. Libuši Sýkorové, Ph.D. za odborné vedení a pomoc při vypracování práce. Dále bych rád poděkoval Ing. Zdeňkovi Dvořákovi, Csc. za odbornou pomoc hlavně v praktické části. Také děkuji za ochotu při spolupráci ve firmě pana Františka Vodehnala a firmě Josef Pernikář, Karel Kaňák, s.r.o..

Prohlašuji, že jsem an celé diplomové práci pracoval samostatně a použitou literaturu jsem citoval.

Ve Zlíně, 23.5.2008

.....

jméno diplomanta

OBSAH

ÚVOD.....	7
I.TEORETICKÁ ČÁST	8
1 VÝROBA PLÁŠŤŮ PNEUMATIK.....	9
1.1 KONSTRUKCE PLÁŠŤŮ	9
1.1.1 <i>Pneumatika</i>	9
1.1.2 <i>Základní druhy plášťů</i>	10
1.1.3 <i>Hlavní části pláště</i>	11
1.1.4 <i>Vyztužení pneumatiky</i>	12
1.2 POSTUP VÝROBY PLÁŠŤŮ PNEUMATIK	14
1.2.1 <i>Míchání směsí</i>	14
1.2.2 <i>Příprava polotovarů</i>	14
1.2.3 <i>Konfekce plášťů pneumatik</i>	15
1.2.4 <i>Vulkanizace</i>	16
1.2.5 <i>Vulkanizační formy</i>	16
2 NEKONVENČNÍ METODY OBRÁBĚNÍ.....	20
2.1 ZNÁZORNĚNÍ PRINCIPU TECHNOLOGIÍ A JEJICH STRUČNÁ CHARAKTERISTIKA	21
2.1.1 <i>Mechanické procesy</i>	21
2.1.2 <i>Chemické procesy</i>	23
2.1.3 <i>Chemické a elektrochemické procesy</i>	23
2.1.4 <i>Elektrotepelné a nebo tepelné procesy</i>	24
3 LASER.....	28
3.1 PRINCIP	28
3.2 TYPY LASERŮ.....	29
3.3 POUŽITÍ LASERU	33
4 CHEMICKÉ OBRÁBĚNÍ	34
4.1 PRINCIP CHEMICKÉHO OBRÁBĚNÍ	34
4.2 FOTOCHÉMICKÉ OBRÁBĚNÍ (PCM PHOTOCHEMICAL MACHINING)	35
4.3 POUŽITÍ CHEMICKÉHO OBRÁBĚNÍ	37

5	STANOVENÍ CÍLŮ DIPLOMOVÉ PRÁCE.....	38
	II.PRAKTICKÁ ČÁST	39
6	POPIS BOČNICE FORMY	40
7	NÁVRH VULKANIZAČNÍ FORMY	43
7.1	ČÁSTI VULKANIZAČNÍ FORMY	44
8	NÁVRH ZKUŠEBNÍHO VZORKU	46
9	CHEMICKÉ OBRÁBĚNÍ	47
9.1	POSTUP PRÁCE	47
9.1.1	<i>Příprava podložky k ovrstvení</i>	<i>47</i>
9.1.2	<i>Ovrstvování.....</i>	<i>47</i>
9.1.3	<i>Expozice</i>	<i>48</i>
9.1.4	<i>Vyvolávání</i>	<i>48</i>
9.1.5	<i>Leptání</i>	<i>48</i>
9.1.6	<i>Odstranění vrstvy po leptu.....</i>	<i>49</i>
10	OBRÁBĚNÍ LASEREM	50
11	EXPERIMENTÁLNÍ LISOVÁNÍ.....	52
12	ZAŘÍZENÍ POUŽITÁ K VYHODNOCENÍ.....	55
12.1	MIKROKAMERA PROSCOPE HR	55
12.2	DRSNOMĚR – SJ 301.....	56
12.3	VULKANIZAČNÍ LIS.....	57
13	VYHODNOCENÍ VZORKŮ	58
13.1	KOVOVÉ VZORKY.....	58
13.2	VYLISOVANÉ PRYŽOVÉ VZORKY	60
13.3	POROVNÁNÍ PODLE DETAILNÍCH SNÍMKŮ A JEJICH VYHODNOCENÍ.....	63
13.4	MĚŘENÍ DRSNOSTI	68
14	EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ.....	70
14.1	CHEMICKÉ OBRÁBĚNÍ.....	70

14.2	OBRÁBĚNÍ LASEREM	72
14.3	VÝPOČET DLE FIRMY PLS LASER SYSTÉM SPOL. S.R.O.	73
ZÁVĚR		75
SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY		76
SEZNAM OBRÁZKŮ		77
SEZNAM TABULEK.....		80
SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK		81

ÚVOD

Výrazný pokrok CAD/CAM technologií a používání CNC gravírovacích strojů umožňují řešit současné popisky na vysoké grafické a technické úrovni. Do popředí se ale také začínají dostávat nekonvenční technologie. Jako nekonvenční metody obrábění označujeme zpravidla ty způsoby obrábění, u kterých nedochází k úběru materiálu v důsledku využití mechanické práce. Tyto metody využívají některého z fyzikálně-chemických principů úběru materiálu. V diplomové práci budou tyto technologie využity při dokončovacích operacích výroby forem, konkrétně k popisování bočnice pneumatiky. Právě tato část obsahuje povinné prvky, které jsou dány mezinárodní legislativou a také poskytují uživateli potřebné informace.

I. TEORETICKÁ ČÁST

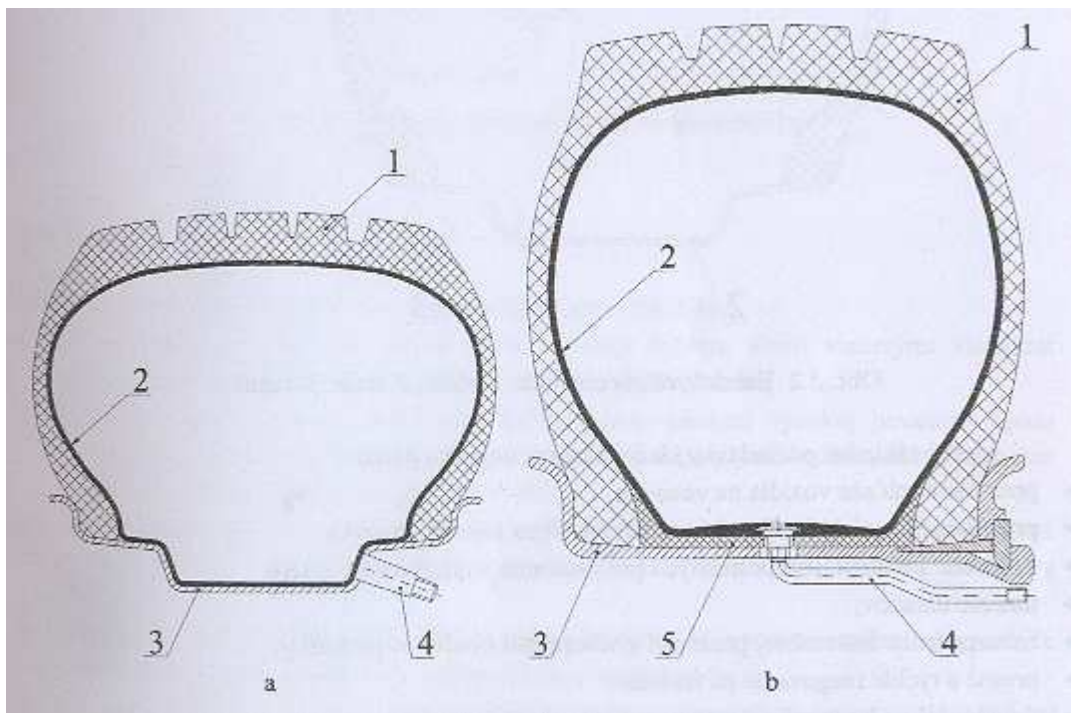
1 VÝROBA PLÁŠŤŮ PNEUMATIK

1.1 Konstrukce pláštěů

1.1.1 Pneumatika

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

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 a nebo jiného tlakového média. Ochranná vložka je gumový tvarovaný prstenec, chránící duši před možným poškozením způsobeným ráfkem. A nakonec ráfek je jedno a nebo vícedílný prstenec, vytvarovaný pro uchycení pláště.



Obr. 1 a – pneumatika pro osobní automobily, b – pneumatika pro nákladní automobily.

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

1.1.2 Základní druhy plášt'ů

Dělí se podle konstrukce na:

- diagonální pláště
- radiální pláště
- pláště smíchané konstrukce

Diagonální plášť

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

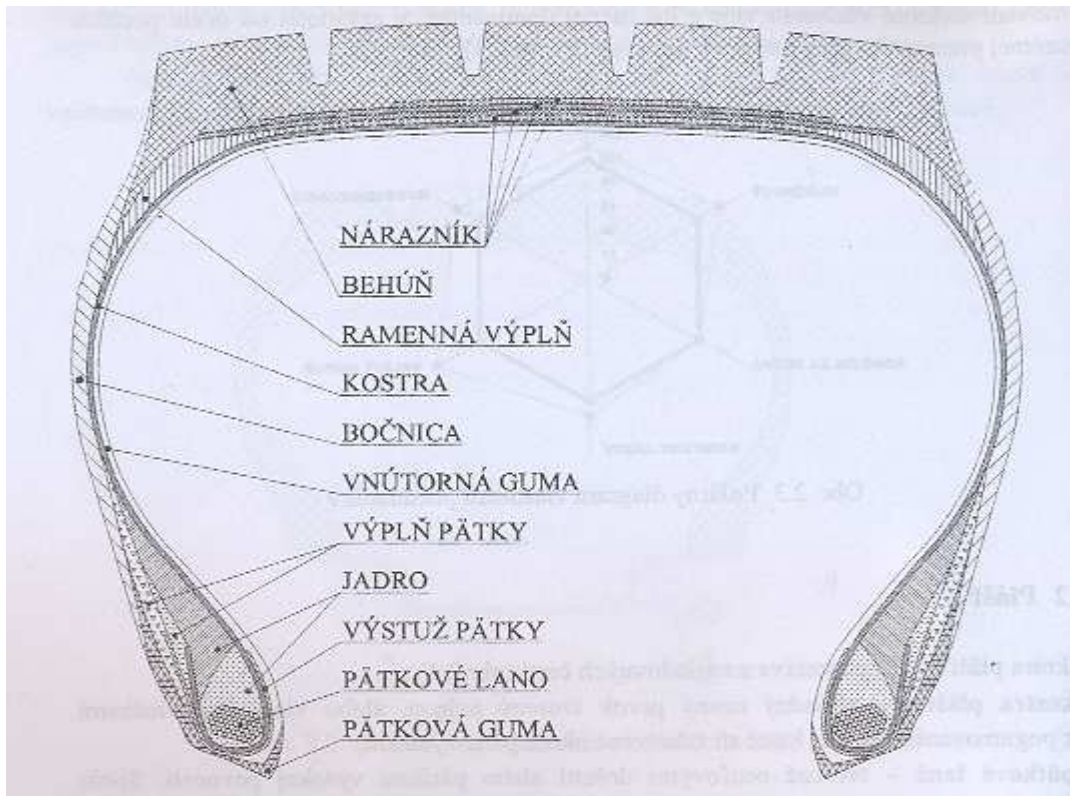
Plášť smíchané konstrukce

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.

Radiální plášť

Má kostru tvořenou vložkami, u kterých jsou kordy uloženy vzhledem k střední rovině běhounu pod úhlem 90° . 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.

1.1.3 Hlavní části pláště



Obr. 2. Struktura pláště

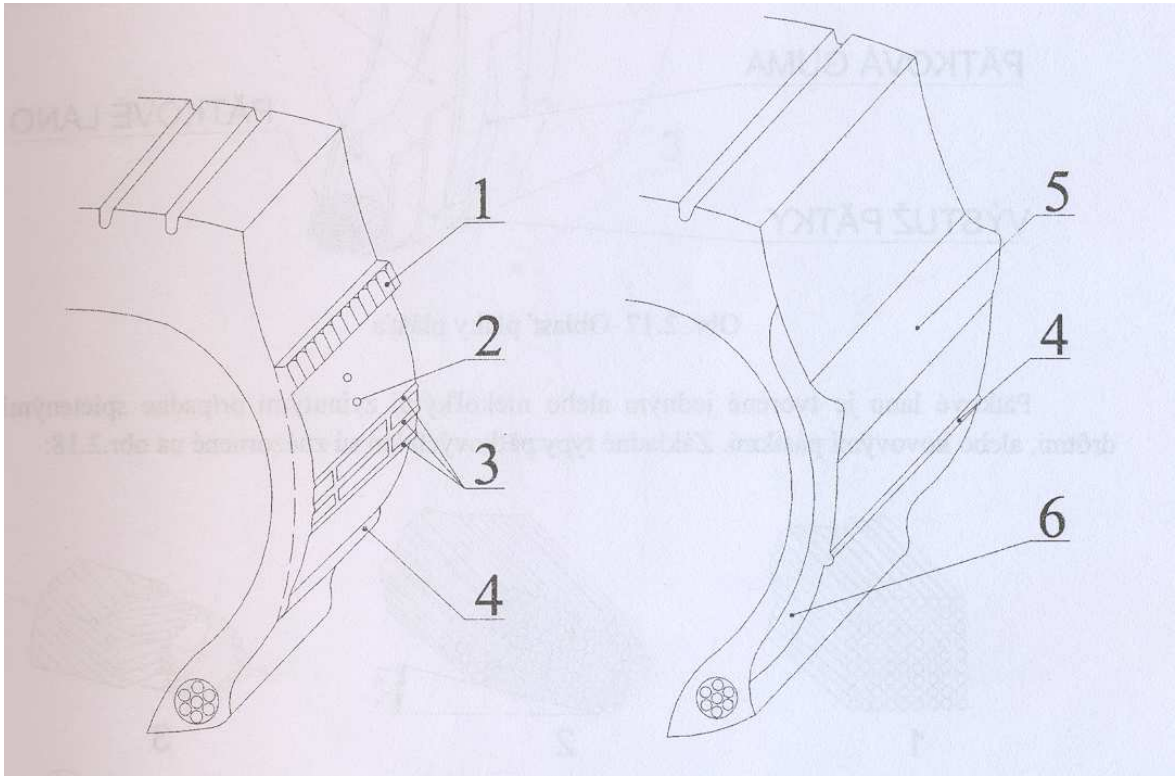


Obr. 3. Konstrukce pneumatiky

1-vnitřní vložka, 2-kostra, 3-patka, 4-patní lana, 5-bočnice, 6-nárazníky, 7-běhoun

Oblast boku pláště

Je to část pláště mezi patkou a ramenem . Bočnici tvoří vrstva gumy položená na kostře. Bočnice obsahuje popis pláště, případně ozdobné a ochranné pásky a středící indikační kroužek, pomocí kterého se kontroluje správnost usazení patky na ráfek.



Obr. 4. Bočnice pláště

1-ozdobný pásek, 2-obtisk odvěšňovacích otvorů, 3-obtisk odvěšňovacích drážek,
4-středící patkový kroužek, 5-ochranný pásek, 6-bočnice pláště

1.1.4 Vyztužení pneumatiky

Výztužné materiály používané při konstrukci pneumatiky sehrávají významnou úlohu v kladených nárocích na konstrukci. Používají se hlavně technické vlákna a tkaniny a ocelové dráty.

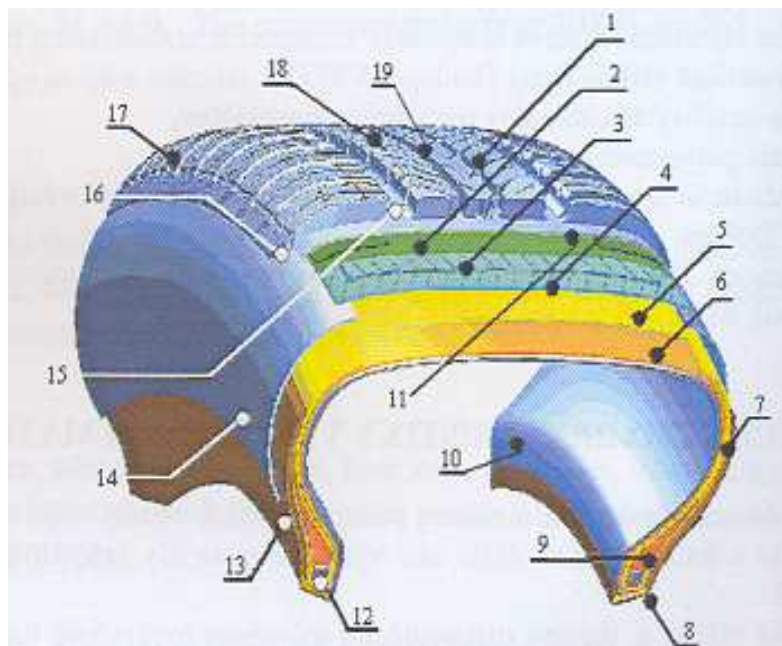
Hlavní části pneumatik jsou:

Patkové lano – tvoří ocelový drát s několika závity vysoké pevnosti. Umožňují montáž a demontáž pneumatiky na ráfek.

Kostra – je to nejdůležitější prvek pláště a podle konstrukčních požadavků se používá jedna a nebo víc překřížených vrstev.

Nárazník – jsou konstrukčně obyčejně z překřížených ocelových kordů. Jeho hlavní funkcí je zabránit tepelnému rozpínání pláště při odvalování při vysokých teplotách a také zlepšuje jízdní vlastnosti pláště.

Výztuže – jsou to pásy a nebo pásky z nařezaných pogumovaných textilních a nebo ocelových materiálů, které slouží k zesílení v oblasti patky a nad patkou, ale i jako ochrana patky proti poškození třením ráfku.



Obr. 5. Rozložení základních prvků a výstužných materiálů v radiálním plášti.

- 1-blok dezénu, 2-překrývací nárazník, 3-nárazník č.2, 4-nárazník č.3, 5-kostrová vložka č.1, 6-kostrová vložka č.2, 7-ukončení ovinutí, 8-patka, 9-jádro, 10-vnitřní guma, 11- spodní běhoun, 12-patkové lano, 13-oblast patky, 14-bočnice, 15- drážka běhounu, 16-křídlo běhounu, 17-rameno, 18-běhoun, 19-žebro běhounu

1.2 Postup výroby pláštěů pneumatik

Je to náročný a složitý proces, v kterém je zahrnuto míchání směsi, výroba polotovarů, konfekci a následnou vulkanizaci ve formě.

1.2.1 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 a nebo syntetický kaučuk) s přísadkou urychlovačů. Po schlazení a odležení se přechází na další stupeň míchání a domíchávají se zde další přísady (vulkanizační činidla, aktivátory vulkanizace, antidegradanty, saze, změkčovadla a další).

1.2.2 Příprava polotovarů

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



Obr. 6. Linka na stříhání pogumovaného textilu

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.

1.2.3 Konfekce pláštěů pneumatik

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

Z hlediska konstrukce pláštěů můžeme konfekci rozdělit na:

- diagonální
- radiální

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

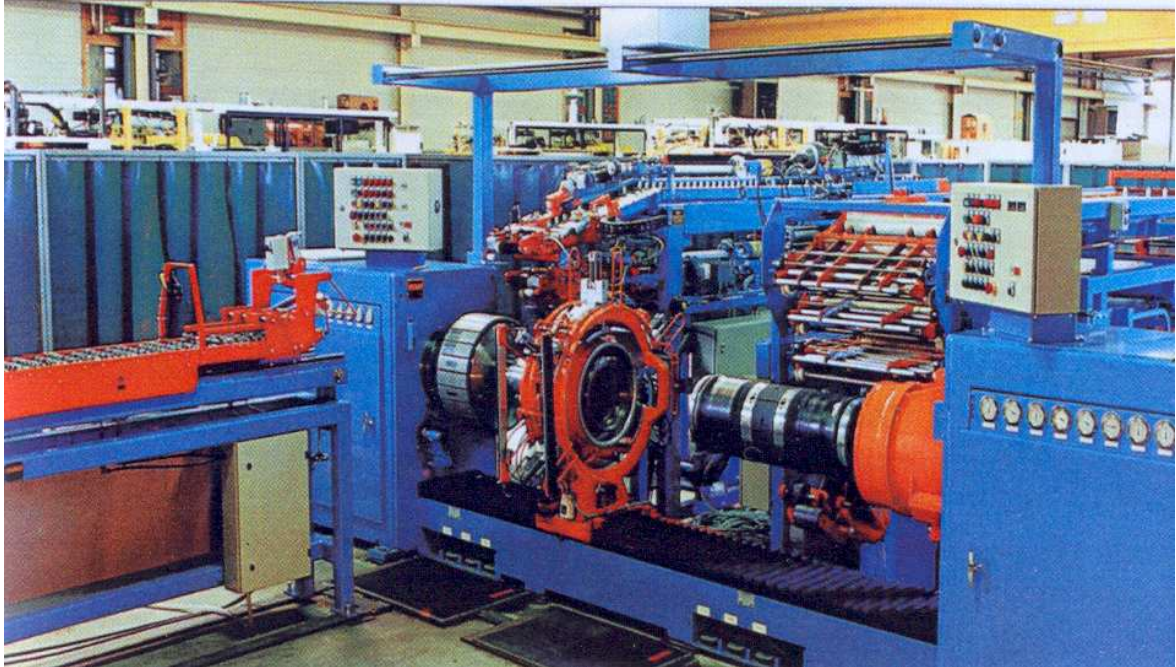
Tento způsob můžeme rozdělit podle technologie výroby na:

- dvoustupňová konfekce
- jednostupňová konfekce
- 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 a nebo automatickém režimu.



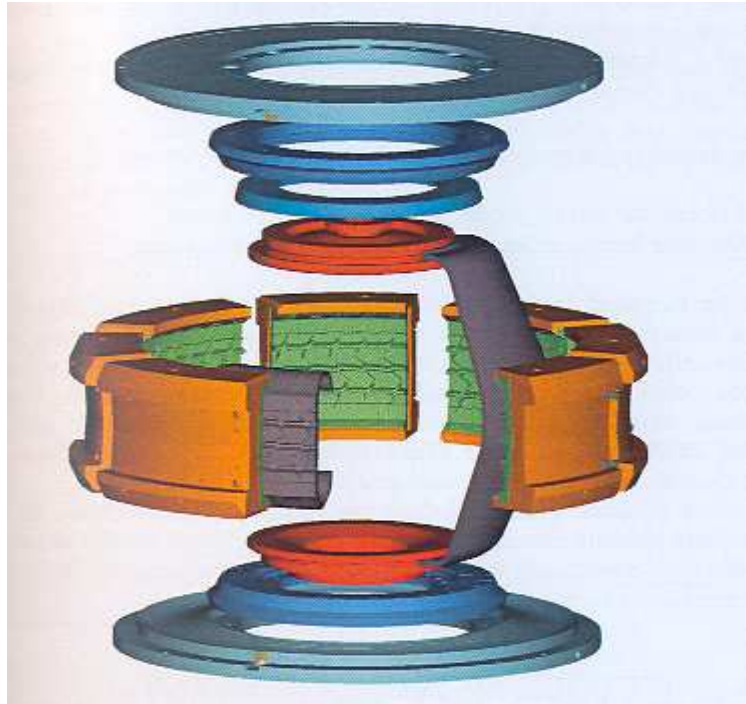
Obr. 7. Dvojbubnový konfekční stroj

1.2.4 Vulkanizace

Je to proces, při kterém dochází k vytváření chemických vazeb v kaučukové směsi a to za zvýšené teploty (150 až 170°C) a tlaku. Dochází k síťování dlouhých řetězců molekul s vulkanizačními přísadami a vytvoří se tak trojrozměrná síť. Výsledná směs je poté odolnější proti účinkům tepla, světla a má vyšší pevnost.

1.2.5 Vulkanizační formy

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



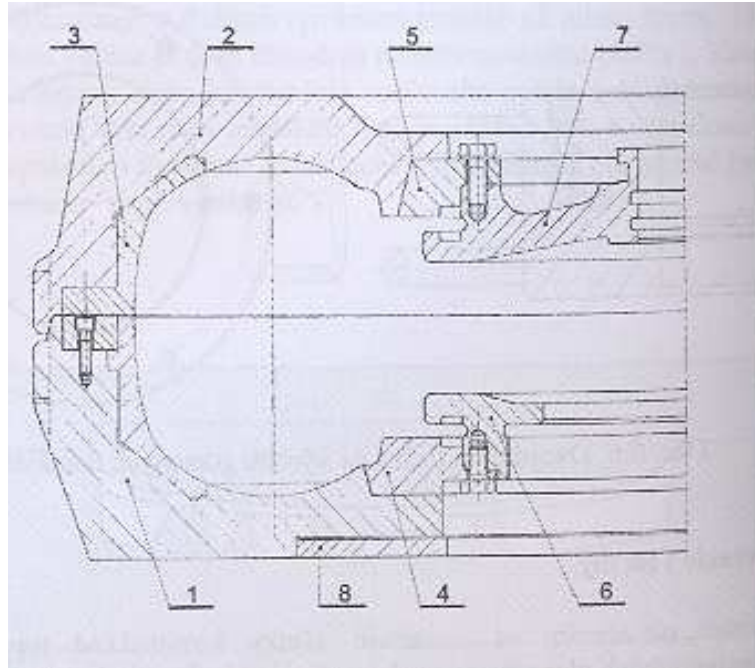
Obr. 8. Počítačový model řezu pláště, membrány a segmentové vulkanizační formy

Vulkanizační forma 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 míň náročných diagonálních plášťů a při výrobě některých speciálních plášťů. Výhodou těchto forem je nízká cena a jednoduchá údržba.

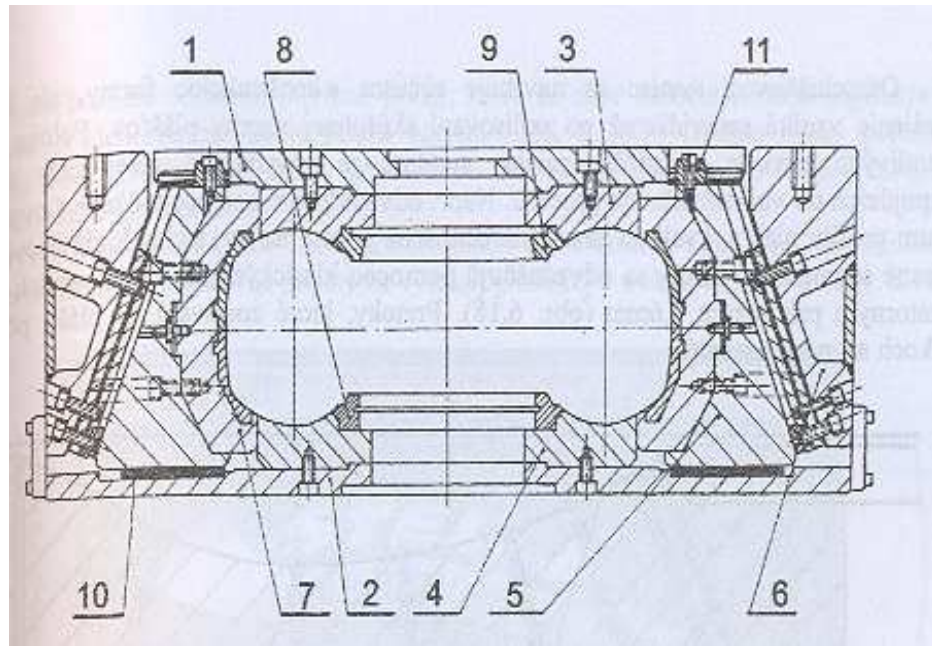


Obr. 9. Dvoudílná vulkanizační forma

1-dolní část formy, 2-hodní část formy, 3-dezénová vložka, 4 dolní patkový kroužek, 5-horní patkový kroužek, 6-dolní membránový kroužek, 7-hodní membránový kroužek

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 autopláští. 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. 10. Sestava kontejnerové segmentové vulkanizační formy

1-horní deska, 2-dolní deska, 3-horní bočnice formy, 4-dolní bočnice formy, 5-vnější segment, 6-kuželový prstenec, 7-vnitřní segment, 8-dolní patkový kroužek, 9-horní patkový kroužek, 10-kluzná deska, 11-zajištění

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 využívané při výrobě diagonálních plášťů.

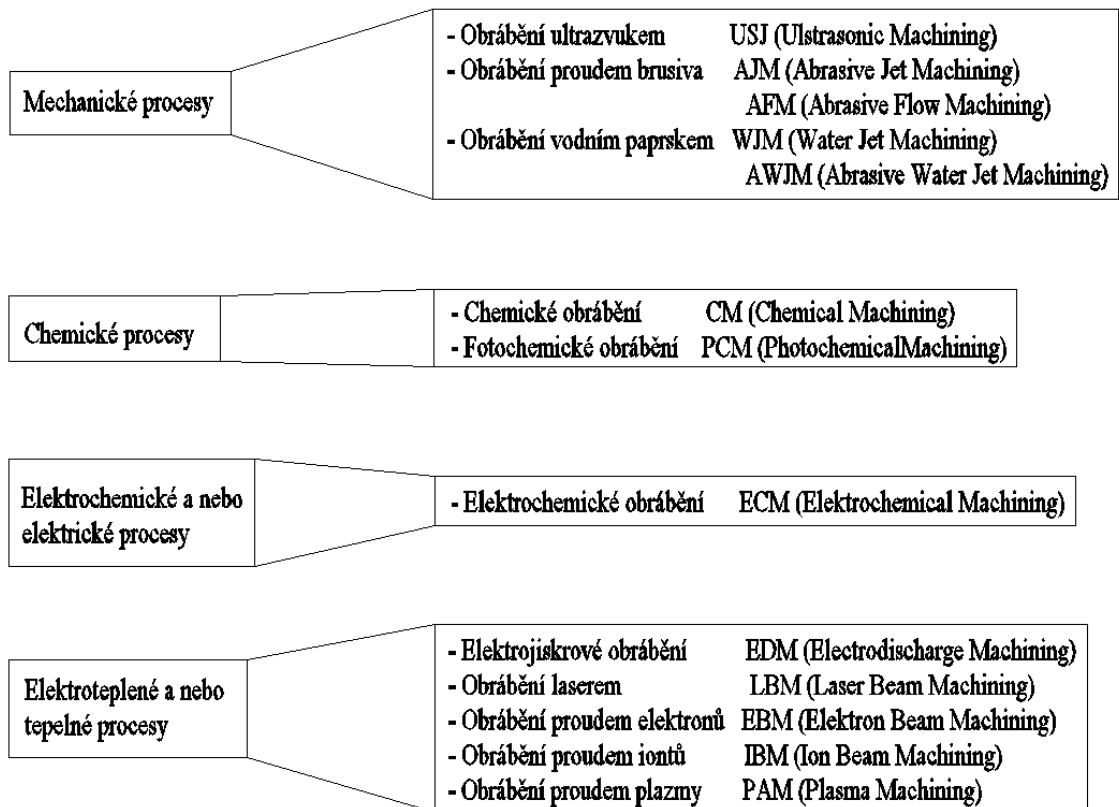
Hlavními výrobními technologiemi pro výrobu moderních forem je v současnosti přesné lité do sádry a také frézování.

2 NEKONVENČNÍ METODY OBRÁBĚNÍ

Je to technologický proces, při němž se požadovaný rozměr a tvar výrobku vytváří postupným odebráním částic materiálu mechanickými, elektrickými a chemickými postupy a nebo jejich kombinací. Přičemž v místě oddělování částic materiálu nevzniká řezný odpor a obrobek se nedeformuje mechanickým zatížením.

Využívá se hlavně pro materiály, které jsou těžce obrobitelné a nebo neobrobitelné běžným mechanickým způsobem. Což jsou hlavně kompozitní materiály s kovovou matričí, tvrdé minerály, keramické materiály, polymery a další.

Nekonvenční metody dělíme do čtyř skupin:

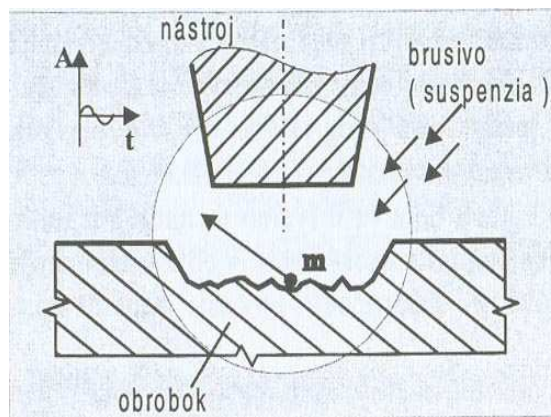


2.1 Znázornění principu technologií a jejich stručná charakteristika

2.1.1 Mechanické procesy

Obrábění ultrazvukem USM (Ultrasonic Machining)

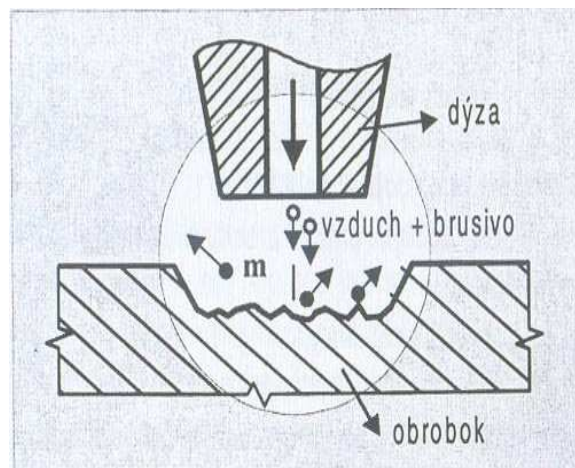
Je to proces, kde je úběr materiálu vykonáván pomocí abrazivních částic brusiva, které jsou mezi kmitajícím nástrojem (frekvence okolo 20kHz) a obrobkem. Požadovaný tvar je pak vytvářen brusivem, které narušuje povrch obrobku a částice obrobku jsou unášeny suspenzní kapalinou. Používá se při vytváření profilů a nebo děr do velmi tvrdých a křehkých materiálů (například korund).



Obr. 11. Znázornění procesu obrábění ultrazvukem

Obrábění abrazivním paprskem a nebo proudem abraziva AJM-AFM (Abrasive Jet Machining - Abrasive Flow Machining)

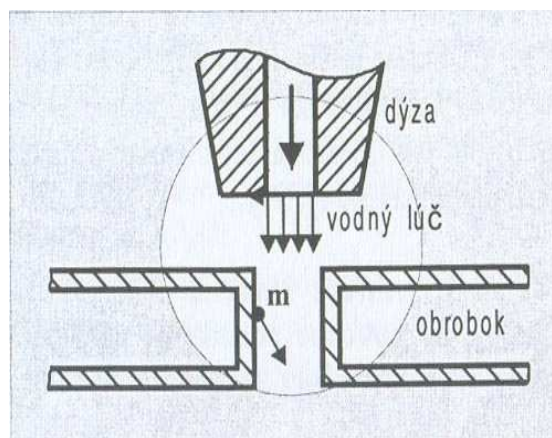
Jde o opracování povrchu materiálu pomocí abraziva, které buď dopadá vysokou rychlostí na obrobek a nebo je přetlačováno mezerou mezi obrobkem a nástrojem.



Obr. 12. Obrábění paprskem abraziva

Obrábění vodním paprskem WJM-AWJ (Water Jet Machining – Abrasive WaterJet Machining)

Jedná se o technologický proces při němž se využívá vysokotlaký a nebo vysokorychlostní proud vody jako řezný nástroj. Účinnost řezání se může zvyšovat přidáním jemného brusiva. Výhodou je vysoká rychlost řezání a čistý řez bez tepelného ovlivnění materiálu. Používá se u těžkoobrobitelných materiálů jako je keramika a kompozitní materiály.

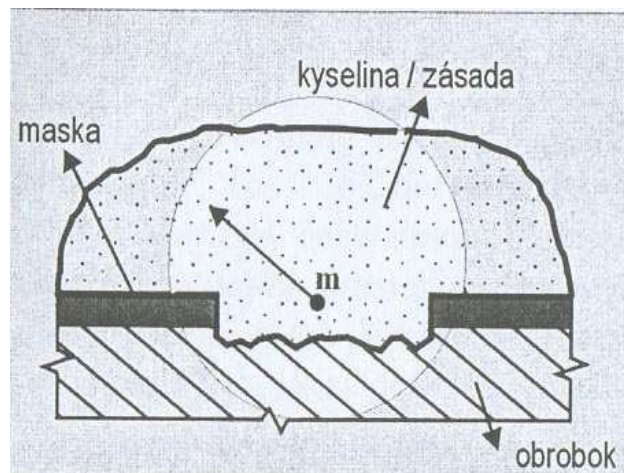


Obr. 13. Obrábění vodním paprskem

2.1.2 Chemické procesy

Chemické obrábění CM (Chemical Machining)

Je to proces leptání povrchu materiálu postupným rozpouštěním vrstev do hloubky materiálu. Používají se kyseliny a nebo zásady a místa, která nechceme obrobít zakryjeme tzv. maskou, což jsou látky a nebo nátěry chemicky odolné. Používá se pro všechny kovy a tvrdé, křehké a nevodivé materiály, především v letectví.

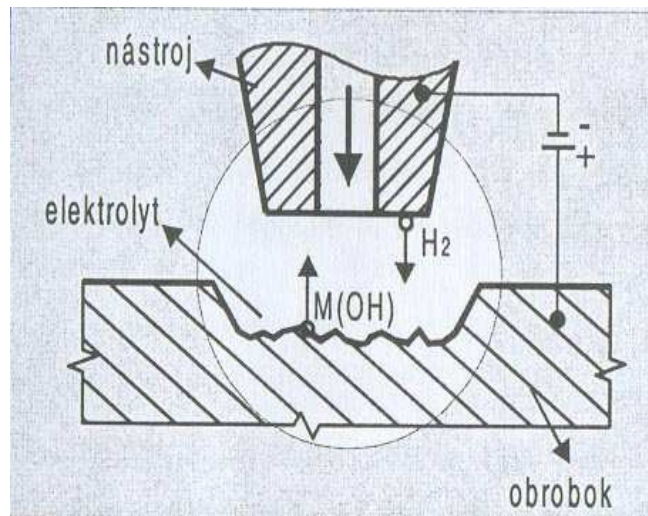


Obr. 14. Chemické obrábění

2.1.3 Chemické a elektrochemické procesy

Elektrochemické obrábění ECM (Elektrochemical Machining)

Jde o proces, při kterém se úběr materiálu dosahuje elektrochemickým rozpouštěním anodicky polarizovaného obrobku, přičemž základem procesu je elektrolýza. Obrobek je tedy anoda a nástroj tvoří katodu, jejíž tvar se kopíruje na obráběnou plochu. Elektrolyt protéká mezi elektrodami zapojenými do obvodu jednosměrného napětí. V porovnání s chemickými postupy mají elektrolytické metody daleko větší úběry a také přesnost tvarů a rozměrů, ale na druhou stranu jsou nutné požadavky technologických zkoušek pro určení parametrů procesu a vysoké náklady na zařízení a energii.

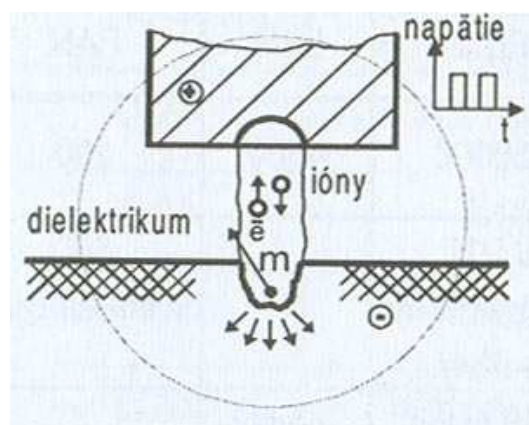


Obr. 15. Elektrochemické obrábění

2.1.4 Elektrotepelné a nebo tepelné procesy

Elektrojiskrové obrábění EDM (Elektrodischarge Machining)

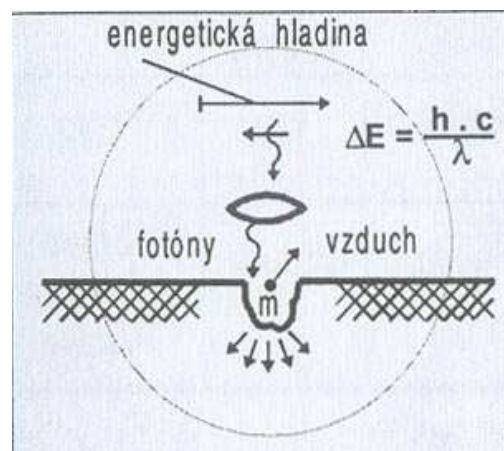
Tato metoda je založena na obrábění vodivých materiálů s využitím tepelné energie, na kterou se přemění elektrický výboj vznikající mezi elektrodami, což jsou nástroj a obrobek. K úběru materiálu tedy dochází elektricky, pomocí rychle se opakujících periodických impulzů jiskrového výboje za přítomnosti dielektrika (kapalné médium). Velmi malé částice ve formě kuliček jsou z materiálu odstraňovány tavením a odpařením. Elektroda se při obrábění postupně opaluje a proto je vždy nutnost vyrobit novou elektrodu. Používá se pro elektricky vodivé a tvrdé materiály.



Obr. 16. Elektrojiskrové obrábění

Obrábění laserem LBM (Laser Beam Machining)

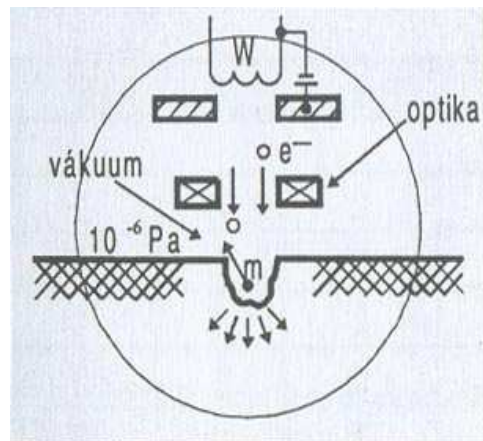
Jedná se o zesílené světlo pomocí vybuzené emise záření. Jedná se tedy optické záření, které se vyznačuje extrémní monochromatickostí, nízkou rozbíhavostí svazku a vysokou hustotou přenášeného výkonu či energie. Paprsek, který je zaměřen na řezaný materiál, má tak vysokou energii, že v místě řezu je teplota až 1 milion stupňů Celsia a to tedy způsobí roztavení a vypaření materiálu. Je to široce použitelná metoda pro všechny druhy materiálů.



Obr. 17. Obrábění laserem

Obrábění elektronovým paprskem EBM (Elektron Beam Machining)

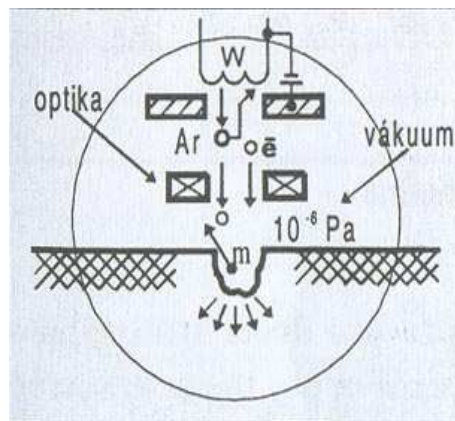
Jde o opracování materiálu svazkem elektronů, které jsou urychleny a díky kinetické energii, která se po srážce s materiálem přemění na energii teplenou jsou schopny natavit a odpařit materiál v místě dopadu. Proces probíhá ve vakuu a elektronové dělo pracuje na principu triody složeno z katody, mřížky a anody. Katoda při ohřevu okolo 3000°C emituje elektrony. Používá se na vrtání a tvarování mikrorozměrů.



Obr. 18. Obrábění elektronovým paprskem

Obrábění iontovým paprskem IBM (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.

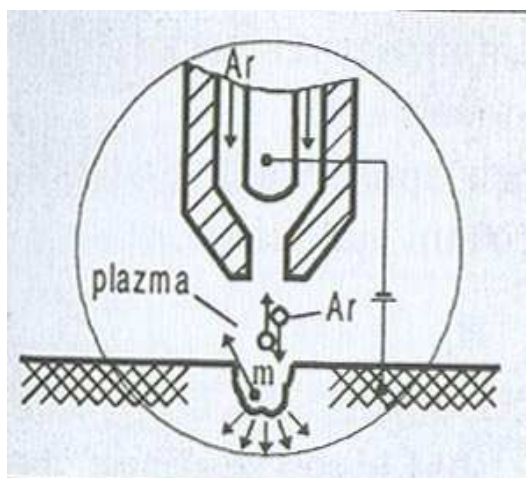


Obr. 19. Obrábění iontovým paprskem

Obrábění plazmovým paprskem PAM (Plasma ARC Machining)

Je to proces, při kterém vzniká plasma ionizací plynu při vysokých teplotách (nad 20 000°C) a nebo při elektrickém výboji mezi anodou a katodou. Záporně nabitá elektroda a kladně nabitý obrobek tvoří oblouk. Při styku plazmy s povrchem tuhého materiálu nastává vlivem vysoké teploty k tavení, odtékání, odstříkávání, sublimace nebo rozprašování.

Tyto jevy se využívají při tavení, svařování, řezání, povlakování a dalších technologických aplikacích.



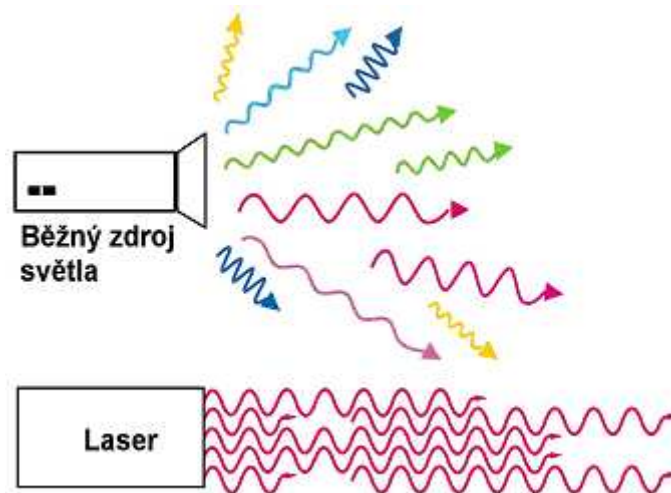
Obr. 20. Obrábění plazmovým paprskem

3 LASER

3.1 Princip

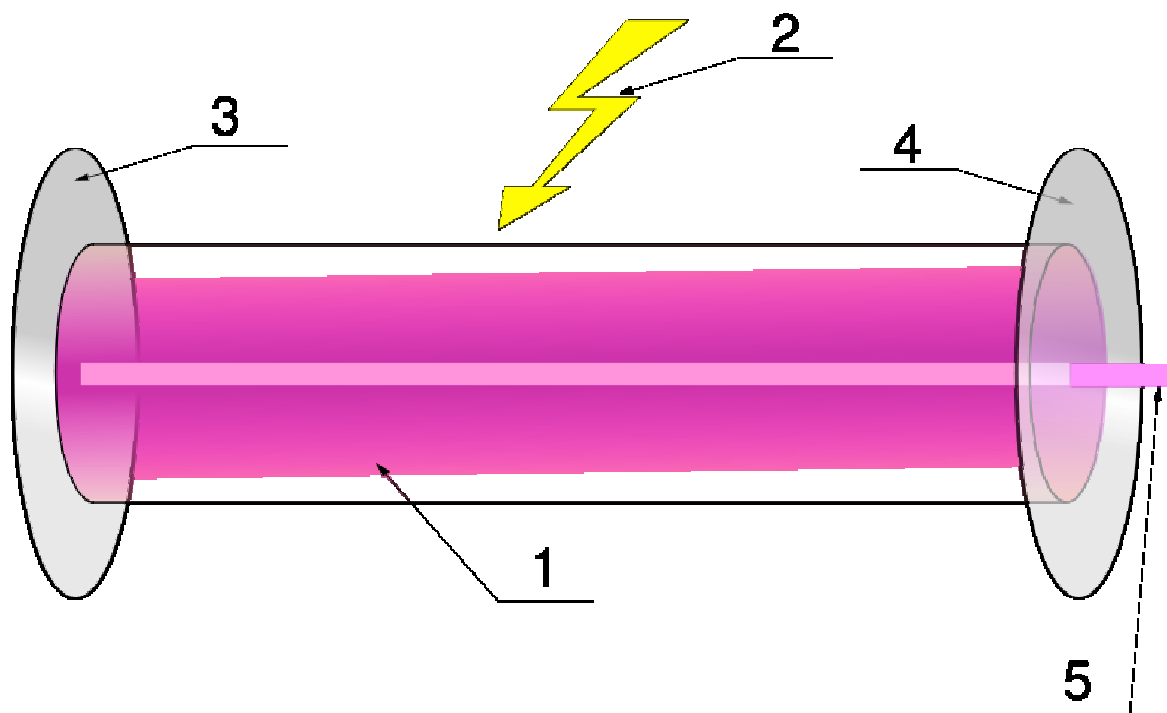
Laser je z anglického slova Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation, což přeloženo do češtiny znamená zesilování světla pomocí simulované emise záření.

Princip laseru využívá zákonů kvantové mechaniky a termodynamiky. Běžné světelné záření je vlnění, které se šíří všemi směry, zesílením je vytvořen úzký svazek fotonů. Světlo z laseru je vyzařováno ve formě úzkého svazku a je polarizované, koherentní a monochromatické.



Obr. 21. Porovnání běžného světelného záření a laseru

Jde tedy o vynucenou emisi, kde zdrojem energie, který může představovat například výbojka je do aktivního média dodávána energie. Ta energicky vybudí elektrony aktivního prostředí ze základní energetické hladiny do vyšší energetické hladiny a dojde k excitaci (vybuzení). Takto je do vyšších energetických stavů vybuzena většina elektronů aktivního prostředí. Při opětovném přestupu elektronů na nižší energetickou hladinu dojde k vyzáření (emisi) kvanta energie ve formě fotonů. Tyto fotony pak dále reagují s dalšími elektrony tzv. inverzní populace a tím spouštějí simulovanou emisi záření monochromatického světla. Díky umístění aktivní části laseru do rezonátoru, tvořeného zrcadly, dochází k odrazu paprsku fotonů a jeho opětovnému průchodu prostředím. To dále podporuje stimulovanou emisi a tím dochází k exponenciálnímu zesilování toku fotonů. Výsledný světelný paprsek pak opouští hlavní část laseru průchodem přes polopropustné zrcadlo.

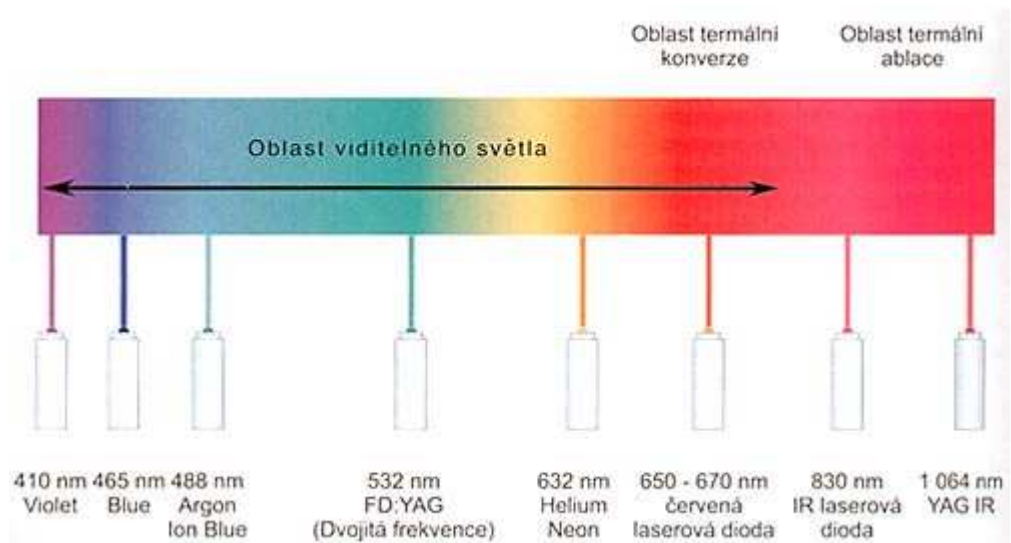


Obr. 22. Konstrukce laseru

1-aktivní prostředí, 2-zdroj záření, 3-odrazové zrcadlo, 4-polopropustné zrcadlo, 5-laserový paprsek

3.2 Typy laserů

U laserů rozeznáváme na jaké vlnové délce pracují, tzn. v jaké části spektra se laserový paprsek pohybuje. Vlnové délky nám tedy 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. 23. Vlnové délky pro různé typy laserů

Dále lasery dělíme podle aktivního média na plynové, plynové excimerové, kapalinové (barvivé), pevnolátkové a polovodičové.

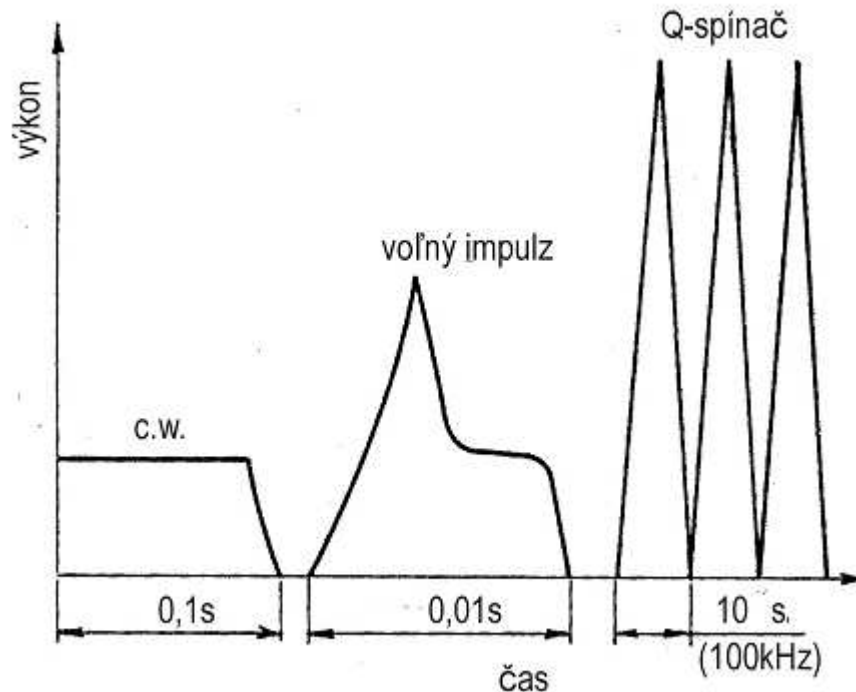
Rozdělení typů laserů podle aktivního média (UV-ultrafialové, IR-infračervené)

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	sváření, 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	

tabulka 1. Rozdělení laserů

Dále můžeme lasery dělit podle režimu v kterém pracují a to na:

- kontinuální režim
- pulsní režim
- Q režim



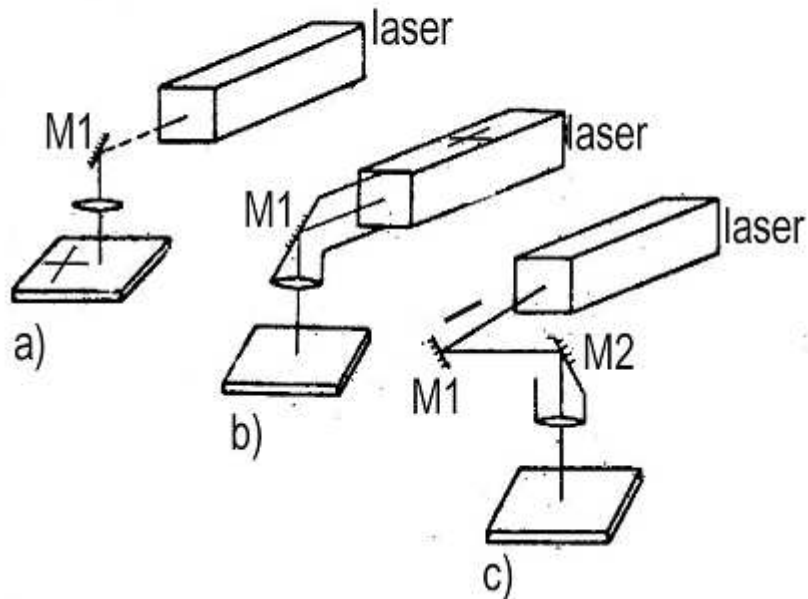
Obr. 24. Druhy režimů laserů

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.

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



Obr. 25. Rozdělení podle konstrukce laseru

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

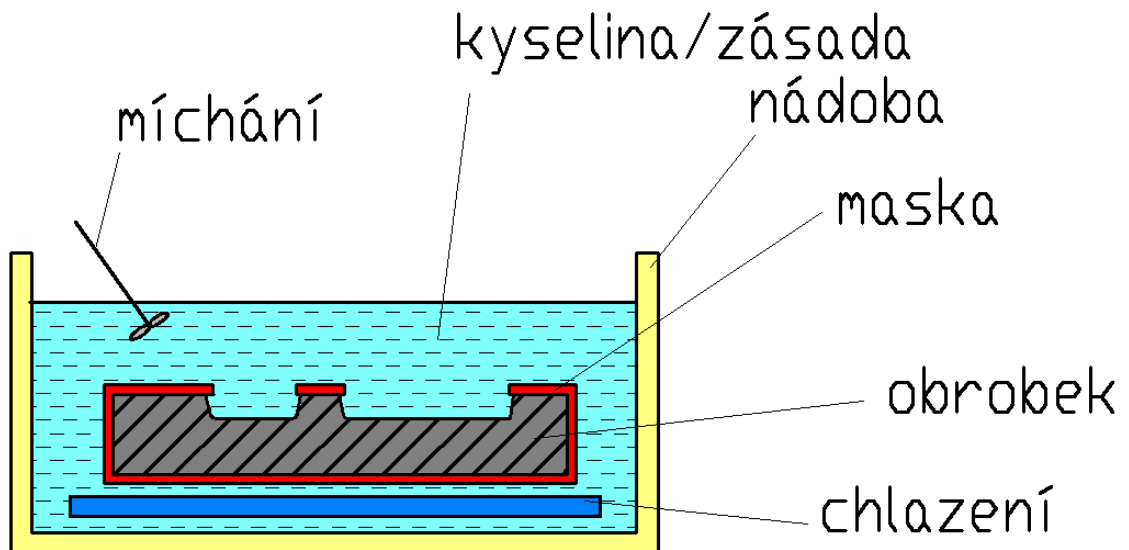
3.3 Použití laseru

Laser jde uplatnit v celé řadě oborů, dnes se využívá v medicíně, ve strojírenství, v astronomii, chemii, biologii, spektroskopii, v energetice, ve výpočetní technice, ve vojenské technice, v metrologii, v automatizaci a další.

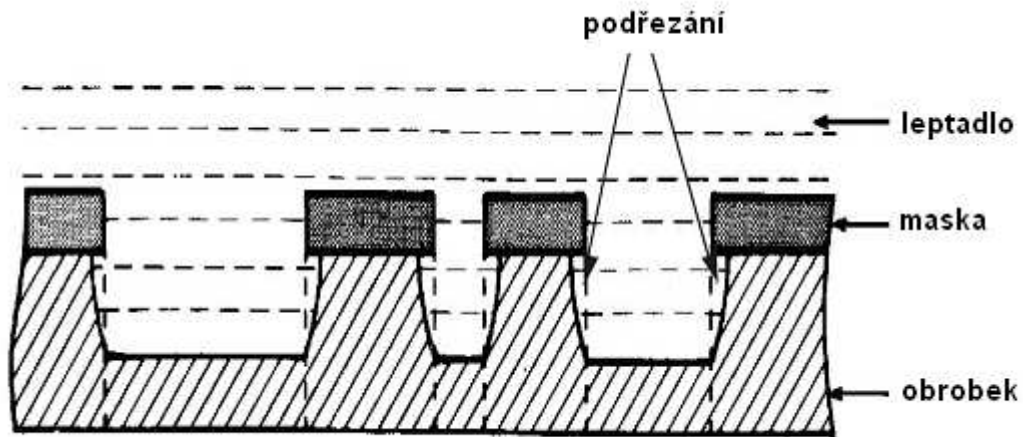
4 CHEMICKÉ OBRÁBĚNÍ

4.1 Princip chemického obrábění

Proces chemického obrábění (CM – Chemical Machining) využívá účinek leptání kyselinami a nebo zásadami. Úběr materiálu je teda založen na odstraňování (odleptávání) materiálu z povrchu obrobku a to do hloubky několik desetin milimetrů až několik milimetrů. Odleptávání je založené na chemické reakci mezi obráběným materiálem a reaktivním prostředím. Pro slitiny hliníku a oceli se používají kyseliny a pro slitiny niklu a mědi se používají zásady.



Obr. 26. Schéma chemického obrábění



Obr. 27. Detailní zobrazení procesu leptání.

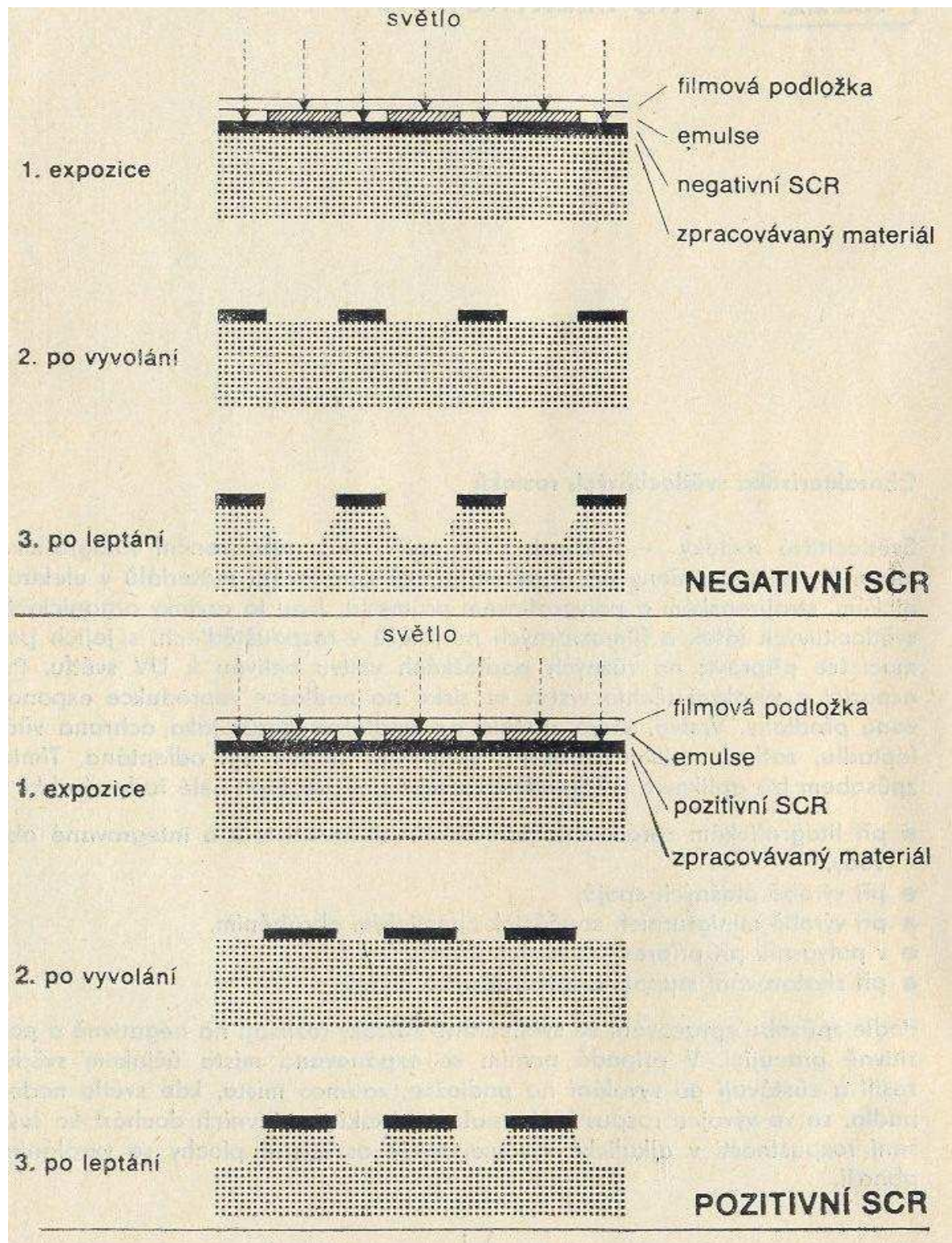
Maska je to chemicky odolná vrstva, která je lehce odstranitelná před a po leptání. Výška masky bývá 0,2-0,4mm. Bývají z materiálu guma, plasty a podobně.

Při leptání dochází k tzv. podřezání (podleptání), což je jev při kterém se kyselina a nebo zásada dostane pod masku a reaguje tak s nechráněným materiálem.

4.2 Fotochemické obrábění (PCM Photochemical Machining)

Patří mezi nekonvenční metody určené pro fotolitografické zpracování materiálů v elektrotechnickém, strojírenském a polygrafickém průmyslu. Jsou to roztoky organických světlocitlivých látek a filmotvorných 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 místo účinkem světla zesílí a zůstávají po vyvolání na podložce, zatímco místa, kde světlo nedopadlo. Se ve vývojce rozpustí. Naopak u roztoků pozitivních dochází ke zvýšení rozpustnosti v alkalické vývojce, takže osvětlené plochy se vyvoláním obnaží.



Obr. 28. Schéma funkce světlocitlivých roztoků

4.3 Použití chemického obrábění

Používají se k úběru materiálu pro všechny kovy, tvrdé, křehké a nevodivé materiály a to především v letectví, ale i dalších odvětvích strojírenství, elektrotechnice a další.

Velkou výhodou této metody je, že nevznikají vnitřní pnutí v materiálu. Lze opracovávat většinu ocelí a slitin a nezáleží zde na tvrdosti a křehkosti materiálu, protože jsou hlavní jejich chemické vlastnosti.

Hlavní nevýhodou chemického obrábění je skutečnost, že výsledek procesu leptání je závislý na experimentálních zkušenostech a vyžaduje vysokou zručnost a odbornost personálu, neboť dochází k nekontrolovanému podřezávání.

5 STANOVENÍ CÍLŮ DIPLOMOVÉ PRÁCE

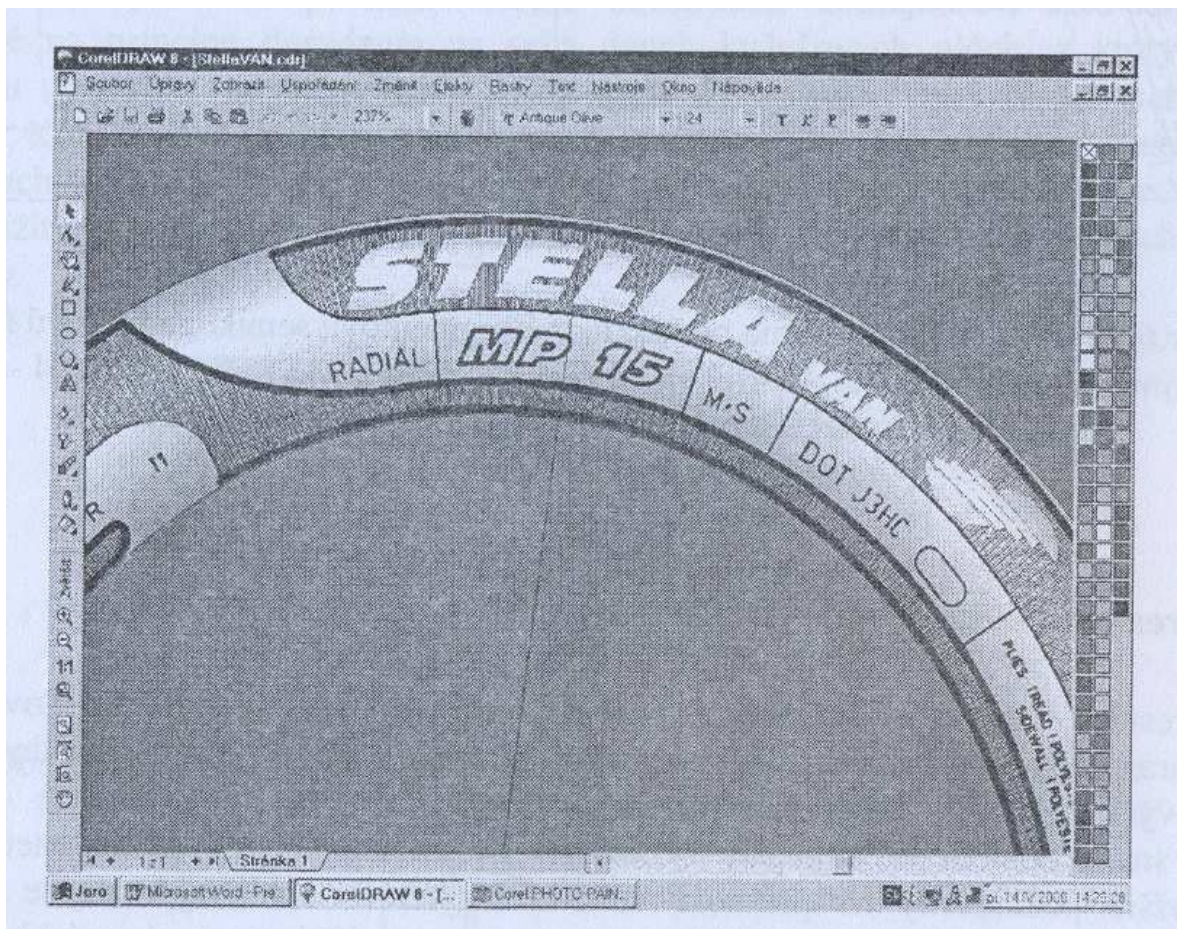
Dle zadání diplomové práce a obsahu teoretické části vyplývají následující úkoly pro praktickou část:

1. Dle požadavků zadání navrhnout možnosti pro laserový popis dutiny formy a jeho alternativy metodou leptání. 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

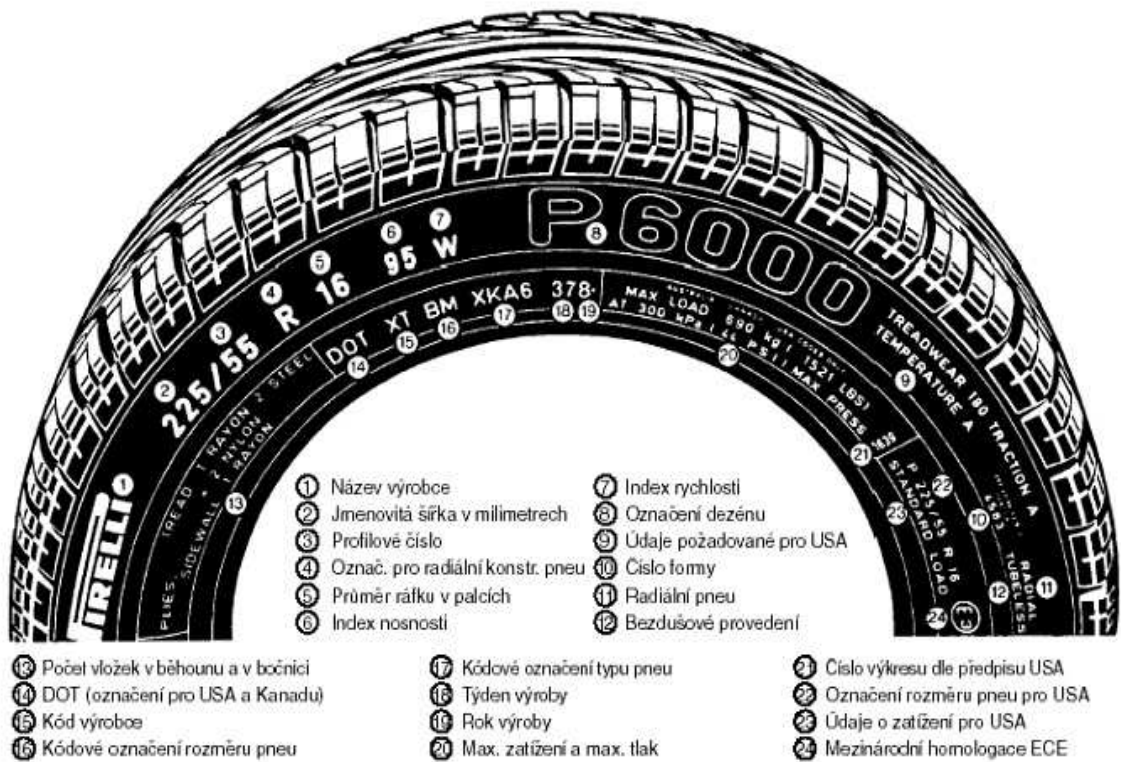
6 POPIS BOČNICE FORMY

Popis bočnice formy obsahuje povinné prvky, které jsou dané mezinárodní legislativou a jsou povinné. Výrazný pokrok CAD/CAM technologií a používání CNC gravírovacích strojů umožňují řešit současné popisky na vysoké grafické a technické úrovni. Do popředí se ale také začínají dostávat nekonvenční technologie a právě dvěma vybranými se budu dále zabývat.

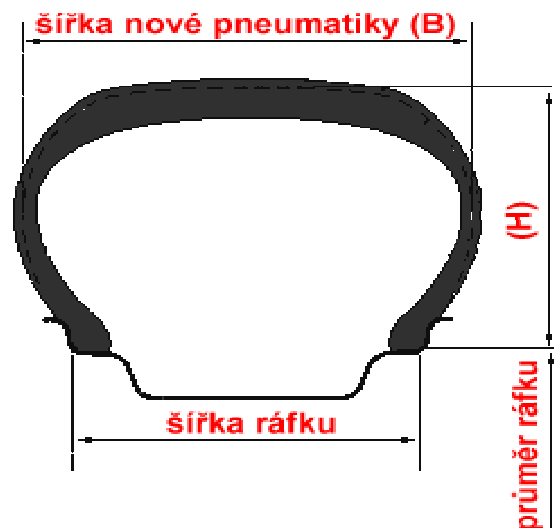


Obr. 29. Grafický návrh popisu bočnice v počítačovém programu.

V popisu bočnice pneumatiky jde o informace poskytující uživateli podrobné informace nejen o rozměrech pneumatiky, ale poskytuje také nějaké technické informace o konstrukci pneumatiky, to zda je zimní a nebo letní, index nosnosti, kategorii rychlosti a podobně.



Obr. 30. Popis pneumatiky



Obr. 31. Rozměry pneumatiky

Rozměry pneumatiky jsou dány třemi čísly například pneumatika 185/65 R 14. Kde 185 je jmenovitá šířka pneumatiky B (v milimetrech). 65 je profilové číslo (%), což je sto-

násobek poměru výšky profilu pneumatiky (H) k šířce profilu pneumatiky (B) nasazené na teoretický ráfek, $100 \cdot H/B$. R je už známé označení radiální konstrukce pláště. 14 je jmenovitý průměr ráfku v palcích.

Index nosnosti

Je to číslo určující maximální nosnost pneumatiky při rychlosti určené kategorií rychlosti za daných specifických podmínek.

INDEX	KG	INDEX	KG	INDEX	KG	INDEX	KG	INDEX	KG	INDEX	KG
50	190	72	355	94	670	116	1250	138	2360	160	4200
51	195	73	365	95	690	117	1285	139	2430	161	4625
52	200	74	375	96	710	118	1320	140	2500	162	4750
53	206	75	387	97	730	119	1360	141	2575	163	4875
54	212	76	400	98	750	120	1400	142	2650	164	5000
55	218	77	412	99	775	121	1450	143	2725	165	5150
56	224	78	425	100	800	122	1500	144	2800	166	5300
57	230	79	437	101	825	123	1550	145	2900	167	5450
58	236	80	450	102	850	124	1600	146	3000	168	5600
59	243	81	462	103	875	125	1650	147	3075	169	5800
60	250	82	475	104	900	126	1700	148	3150	170	6000
61	257	83	487	105	925	127	1750	149	3250	171	6150
62	265	84	500	106	950	128	1800	150	3350	172	6300
63	272	85	515	107	975	129	1850	151	3450	173	6500
64	280	86	530	108	1000	130	1900	152	3550	174	6700
65	290	87	545	109	1030	131	1950	153	3650	175	6900
66	300	88	560	110	1060	132	2000	154	3750	176	7100
67	307	89	580	111	1090	133	2060	155	3875	177	7300
68	315	90	600	112	1120	134	2120	156	4000	178	7500
69	325	91	615	113	1150	135	2180	157	4125	179	7750
70	335	92	630	114	1180	136	2240	158	4250		
71	345	93	650	115	1215	137	2300	159	4375		

Obr. 32. Index nosnosti

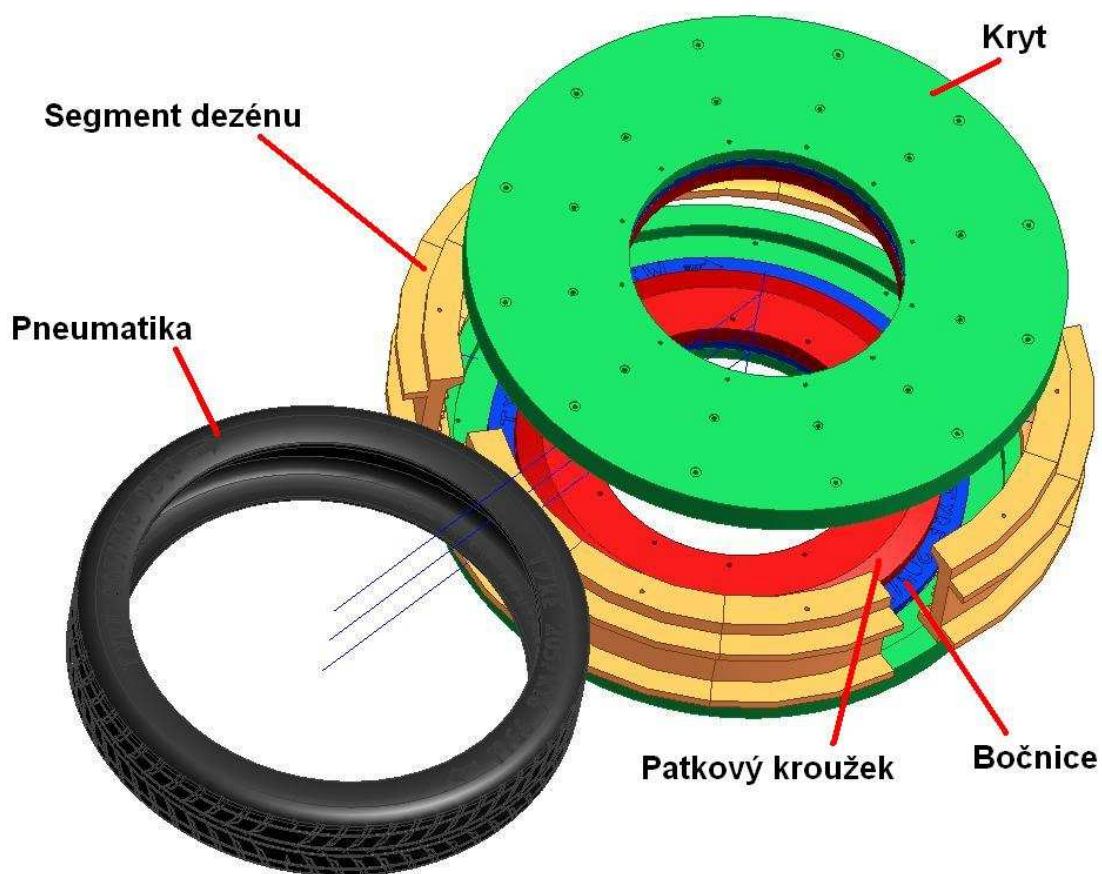
Kategorie rychlosti je maximální rychlost, při které může pneumatika nést hmotnost určenou indexem nosnosti za daných specifických podmínek.

SYMBOL	G	J	K	L	M	N	P	Q	S	T	H	V	W	Y	ZR
max.(km/h)	90	100	110	120	130	140	150	160	180	190	210	240	270	300	240

Obr. 33. kategorie rychlosti

7 NÁVRH VULKANIZAČNÍ FORMY

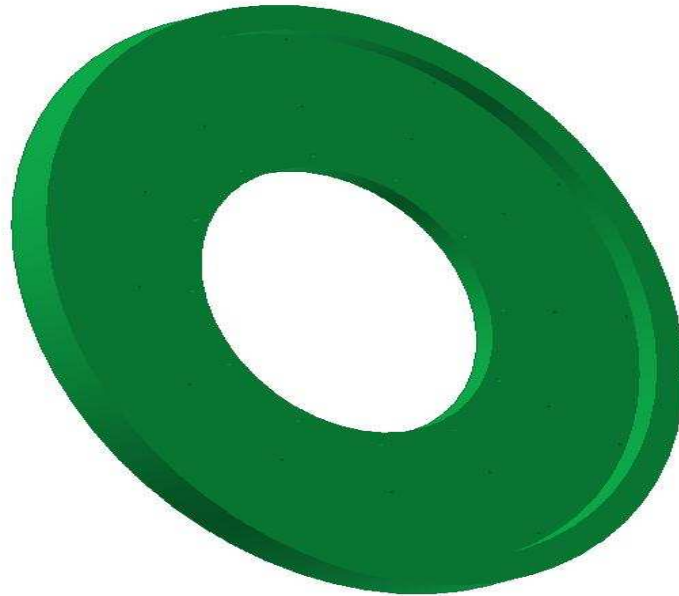
Návrh vulkanizační formy byl proveden v programu Autodesk Inventor 5. Formu jsem zvolil segmentovou. Nejprve jsem si zvolil typ pneumatiky, z čehož vycházely mé rozměry pro formu, pneumatiku jsem zvolil 205/55 R16. Znal jsem tedy průměr ráfku (406mm), šířku pneumatiky (205mm) a výšku (113mm). Ostatní rozměry jsem volil a nakonec pro lepší názornost vykreslení dezénu pneumatiky jsem průměr pneumatiky zvětšil dvakrát.



Obr. 34. Otevřená vulkanizační forma s modelem pneumatiky

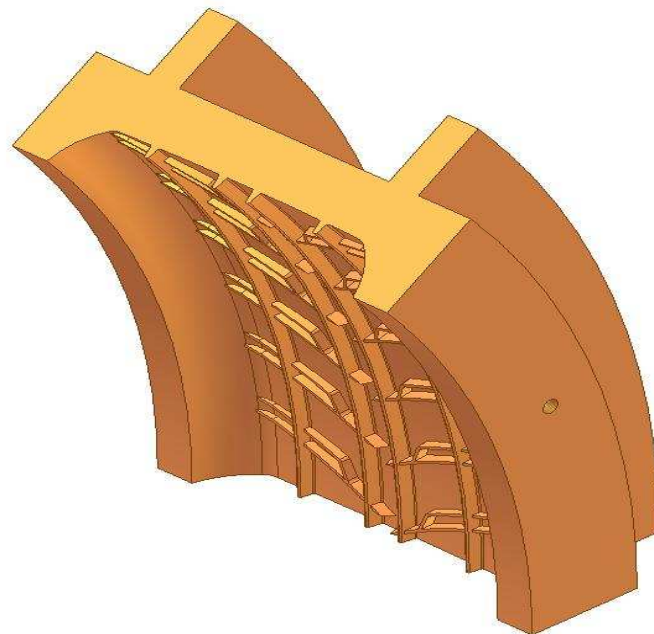
7.1 Části vulkanizační formy

Horní a spodní deska, zabraňuje uniku tepla a udržuje konstantní teplotu ve formě, také drží celou formu pohromadě.



Obr. 35. Deska – kryt

Vnitřní segment dezénu tvoří pracovní část formy, která je složena z více částí z důvodu lepší vyměnitelnosti, a také se radiálním pohybem zajišťuje otevření formy .



Obr. 36. Segment dezénu

Horní a dolní patkový kroužek utváří přesný rozměr průměru pneumatiky na ráfek.



Obr. 37. Patkový kroužek

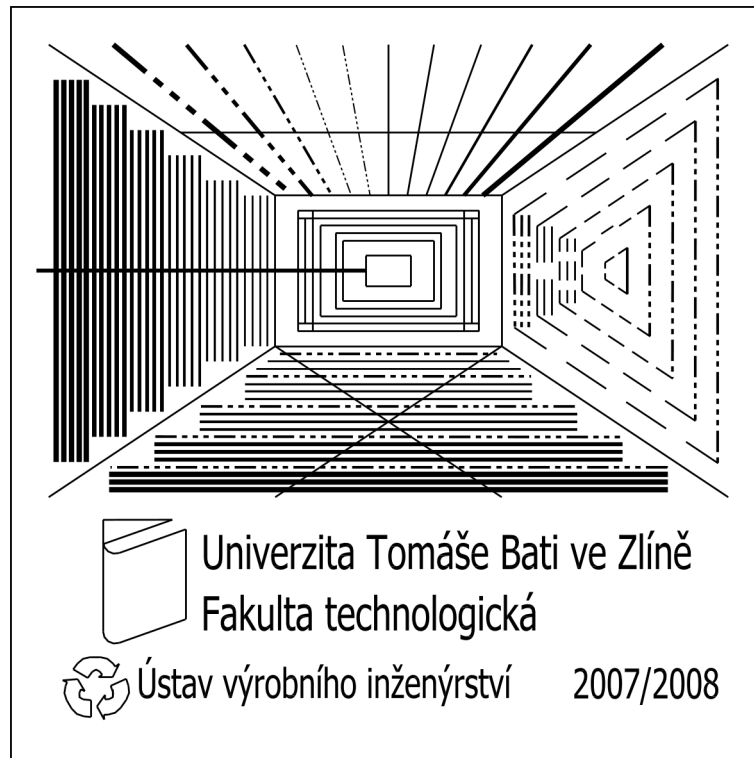
Božnice formy vytváří bočnici pneumatiky, která právě obsahuje její popis, který je dán mezinárodní legislativou.



Obr. 38. Bočnice formy

8 NÁVRH ZKUŠEBNÍHO VZORKU

Mým cílem je zabývat se popisem bočnice formy, jež obsahuje povinné prvky, které jsou dané mezinárodní legislativou a jsou povinné. Formy bývají kovové, proto jsem jako materiál zvolil lehce dostupnou ocel 11 373. Rozměry desek jsou 100x100x3mm.



Obr. 399. Zkušební vzorek

Zkušební vzorek obsahuje nejen text a číslice, ale hlavně soustavu čar různých druhů a tloušťek. Díky těmto čarám pak bude možno porovnat obě technologie (chemické a laserové obrábění), neboť může vlivem velké hloubky dojít ke slítí čar a jiným nepřesnostem, na jejichž základě bude možné posouzení vhodnosti aplikace jednotlivých technologií.

9 CHEMICKÉ OBRÁBĚNÍ

Obrobení zkušební destičky jsme provedli ve firmě pana Františka Vodehnala, jež provádí rytecké a chemigrafické práce.

9.1 Postup práce

9.1.1 Příprava podložky k ovrstvení

Povrch, který má být ovrstven světlocitlivým roztokem musí být dokonale suchý, odmaštěný a zbavený ostatních nečistot. V některých případech se toho dosáhne mechanicky broušením, kartáčováním a nakonec se povrch opláchne vodou. K odmaštění se povrchu se používá trichlorethylen. Po odstranění kovových oxidů z povrchu se doporučuje ještě oplach zředěnou minerální kyselinou, nejčastěji kyselinou chlorovodíkovou.

Podložka se nakonec důkladně opláchne vodou a suší se, u některých ocelí, které můžou mít povrch znečištěn absorbovaným plynem (např. vodíkem) se suší při vyšší teplotě, kolem 120°C.

9.1.2 Ovrstvování

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

Po ovrstvení 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 a velikosti a tloušťky sušených ploch. Při sušení musíme dbát aby nedošlo k rychlému odpaření rozpouštědla, takže je výhodné nechat vrstvu oschnout 5 až 10 minut na vzduchu. Také je třeba nutně vzít od úvahy, že roztoky jsou hořlavými, proto je dobré použít k tomu určenou sušárnu.

9.1.3 Expozice

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

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

9.1.4 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 vývojkou a nebo postříkem povrchu podložky vývojkou. Odstranění vrstvy musí být dokonalé, jinak při leptu dochází k poruchám na místech, kde vrstva nebyla dokonale odstraněna a došlo k zaschnutí jejich zbytků. Proto se vyvolání musí provádět dvoustupňově, tj. po vlastním vyvolání následuje oplach – u negativních roztoků čerstvou vývojkou a 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.

9.1.5 Leptání

Při dalším zpracování slouží zbylá vrstva po vyvolání jako ochrana vůči leptadlu. Při leptu, zejména tlustších 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 metodě leptu. Složení leptadla se volí podle charakteru podložky a požadované rychlosti leptání. V našem případě jelikož máme ocel, tak je možné použít zředěnou kyselinu dusičnou, kde leptání je rychlé (několik minut), ale ne tak kvalitní. A nebo roztok chloridu železitého a kyseliny dusičné s níž je leptání zdlouhavější (několik hodin), ale zato kvalita je vyšší.

9.1.6 Odstranění vrstvy po leptu

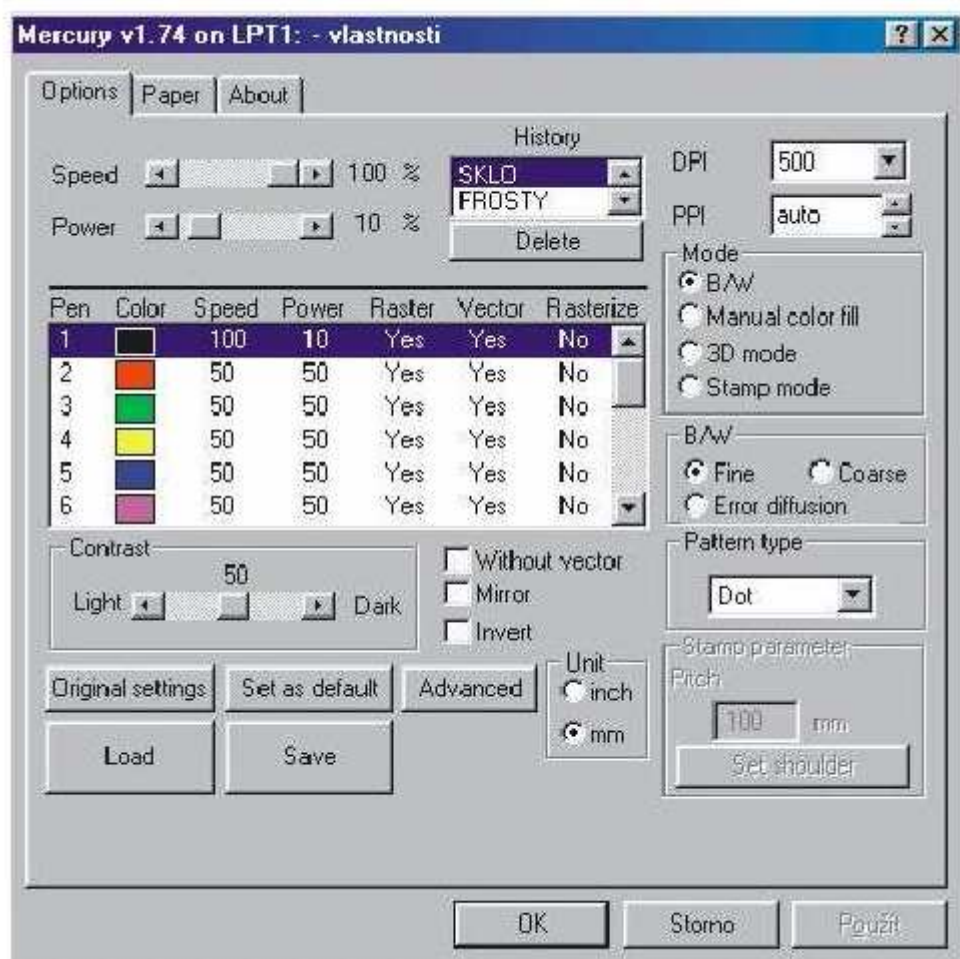
Tato operace působí někdy obtíže a závisí v podstatě na intenzitě sušení před leptem, které je třeba provádět při co nejnižší teplotě a v co nejkratším čase ovšem tak, aby to neohrozilo kvalitu leptu. Nejjednodušší je odstranění zbytků pozitivně pracujících vrstev, které jsou chemicky nezměněny a dají 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 a nebo tampónem. Dokonalé odstranění (pokud to kvalita podložky dovolí) je spálení vrstvy buď na „mokrém cestě“ ve směsi koncentrované kyseliny sírové a peroxidu vodíku, nebo v kyslíku doutnavým elektrickým výbojem.

10 OBRÁBĚNÍ LASEREM

Experimentální obrobení destičky jsme provedli ve firmě Josef Pernikář, Karel Kaňák, s.r.o., která sídlí v Rohatci. Pracovní proces byl proveden na stroji od firmy Rosin Sifar, což je CO₂ laser značky RS 1200 SM laser. Výkon laseru je 1200W a posuvová rychlost 20-35m/hodinu.

Stroj může libovolně měnit výkon a posuv, což se nastavuje v procentech maximálních hodnot. Přístroj pracuje pomocí softwaru Corel Draw, kde je přesně vymezena poloha jednotlivých drah. Tímto přístrojem je možné gravírovat a řezat velkou škálu materiálů.

Ovládní přístroje je prováděno přes počítač pomocí softwaru Corel Draw, kde se díky tomuto programu nastavují obráběné plochy.



Obr. 40. Nastavení přístroje programem Corel Draw

Jak je vidět na obrázku, tak nastavení výkonu a posuvu laseru je v levém horním rohu. Nastavení hustoty drah laseru je v pravém horním rohu. Dále je v tabulce také možnost nastavit kontrastu barev. Pro základní obrábění je nastavena černá barva. Díky dalším barevným odstínům černé barvy je možné provádět 3D mikroobrábění.

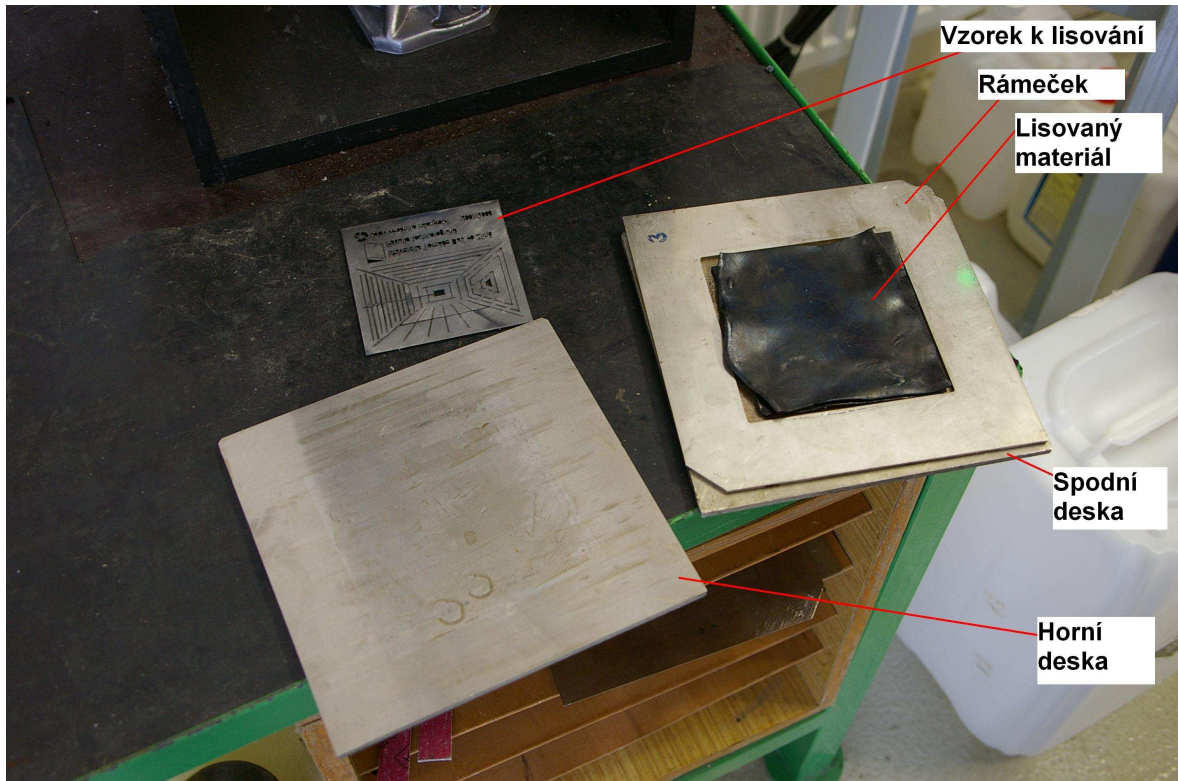
11 EXPERIMENTÁLNÍ LISOVÁNÍ

Za účelem vyhotovení popisu pryžových vzorků bylo provedeno experimentální lisování na vulkanizačním lisu.

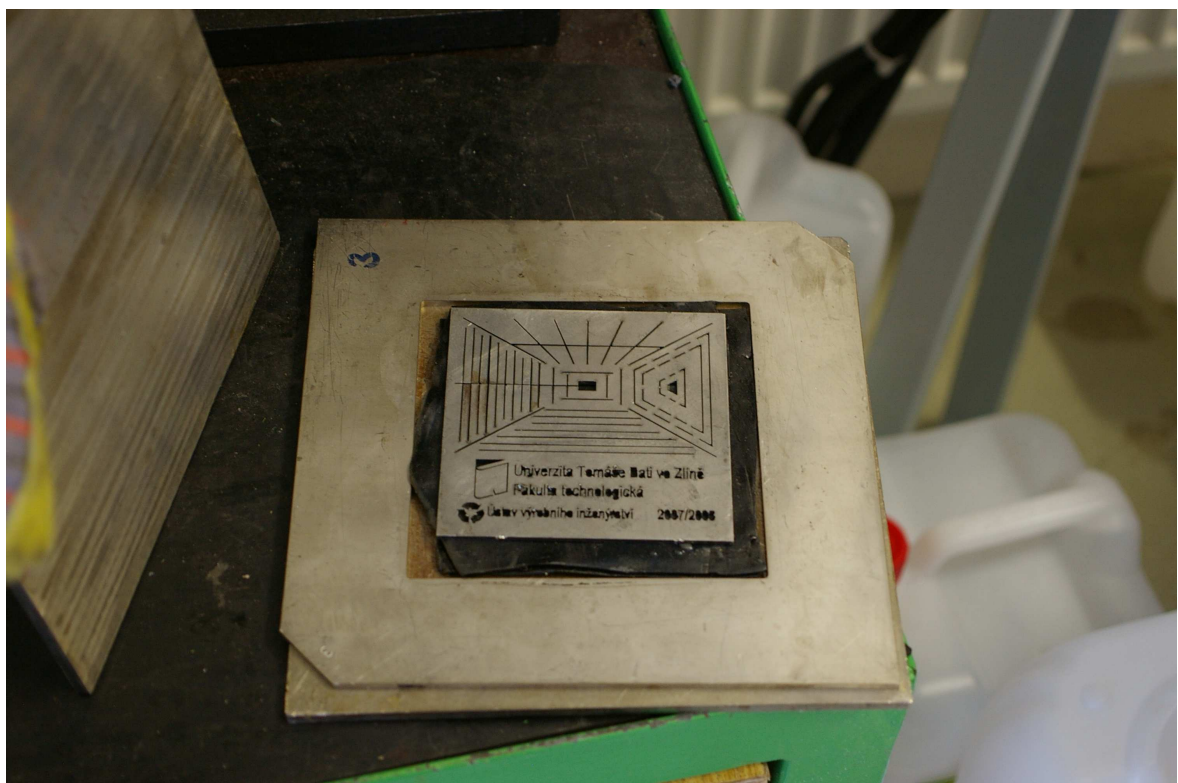


Obr. 41. Vulkanizační lis

Lis byl vytemperován na teplotu 165°C, zároveň s tím se také temperovala horní i dolní deska a rámeček, který musel být alespoň o polovinu větší než tloušťka vzorku obroběného laserem nebo chemicky. Poté co byly desky vytemperovány na požadovanou teplotu, došlo k vložení materiálu a vzorku



Obr. 42.Složení lisovací formy



Obr. 43.Příprava k lisování

Po vložení do lisu, došlo k utáhnutí lisu a poté odvodu přebytečného vzduchu, který by způsobil nekvalitní povrch vylisku. Nakonec se lis utáhl a 10 minut proběhala vulkanizace kaučuku. Když uběhla tato doba, došlo k otevření lisu a odformování.



Obr. 44. Odformování

Vylisovaný materiál se pak už jen ochladil na vzduchu a poté se ostříhl přetok.



Obr. 45. Vylisovaný vzorek

12 ZAŘÍZENÍ POUŽITÁ K VYHODNOCENÍ

12.1 Mikrokamera ProScope HR

Pro porovnání a vyhodnocení nedokonalostí obou technologií byla použita mikrokamera ProScope HR. Tento přístroj umožňuje automatické doostřování obrazu, potom tedy stačí přiložit přístroj ke zkoumanému vzorku a je možné zachytit záznam ve formě obrázku nebo videa. Zachycený záznam je v rozlišení 640x480 a nebo 320x240 pixelů. Poté je buď pomocí tlačítka na přístroji a nebo pomocí tlačítka v programu na počítači zachycen obrázek nebo video.

Technické parametry přístroje ProScope HR:

Zobrazovač – ¼ palcový CCD

Rozhraní – USB port

Zvětšení – 50x

Rozměry – délka 156mm, šířka 45mm

Váha – 200g

Spotřeba energie – 400mA

Video zobrazení – 640x480px, 320x240px

Pracovní teplota – 5 až 40°C



Obr. 46. Příklad přístroje ProScope HR

12.2 Drsnoměr – SJ 301

Pro zjištění drsnosti jsme použili přístroj SJ 301 od firmy Mitutoyo. Pomocí tohoto přístroje lze charakterizovat obrobenou plochu pomocí různých norem (DIN, ISO, ANSI). Drsnost povrchu se počítá z vertikálního posuvu snímacího hrotu. Vlastní měření probíhá tak, že se měřící hrot, který je upevněn na ramenu, položí na měřenou plochu a po zapnutí přístroje se rameno s hrotem posouvá po měřené ploše, čímž se dosáhne konstantních podmínek pro měření. Při měření dochází ke zdvihu hrotu a tento zdvih je měřen a zaznamenán jako drsnost.

Technické parametry přístroje SJ 301:

Měřící rozsah – $300\mu\text{m}$

Délka pojezdu hrotu – 0,25; 0,8; 2,5; 8

Rychlost posuvu – 0,25; 0,5 mm/s

Rozlišení – $0,01\mu\text{m}$

Měřící síla – 4N



Obr. 47.Drsnoměr SJ 301

12.3 Vulkanizační lis

Pro experimentální vylisování gumových vzorků, jsme použili vulkanizační lis (obr.41). kde pomocí tlaku a teploty došlo k navulkanizování kaučuku mezi dvěma vytemperovanými deskami.

Technické parametry přístroje vulkanizačního lisu:

Rozměry desek – 250x250mm

Příkon – 2400W

Maximální teplota – 200°C

Svírací síla – 5t

13 VYHODNOCENÍ VZORKŮ

13.1 Kovové vzorky

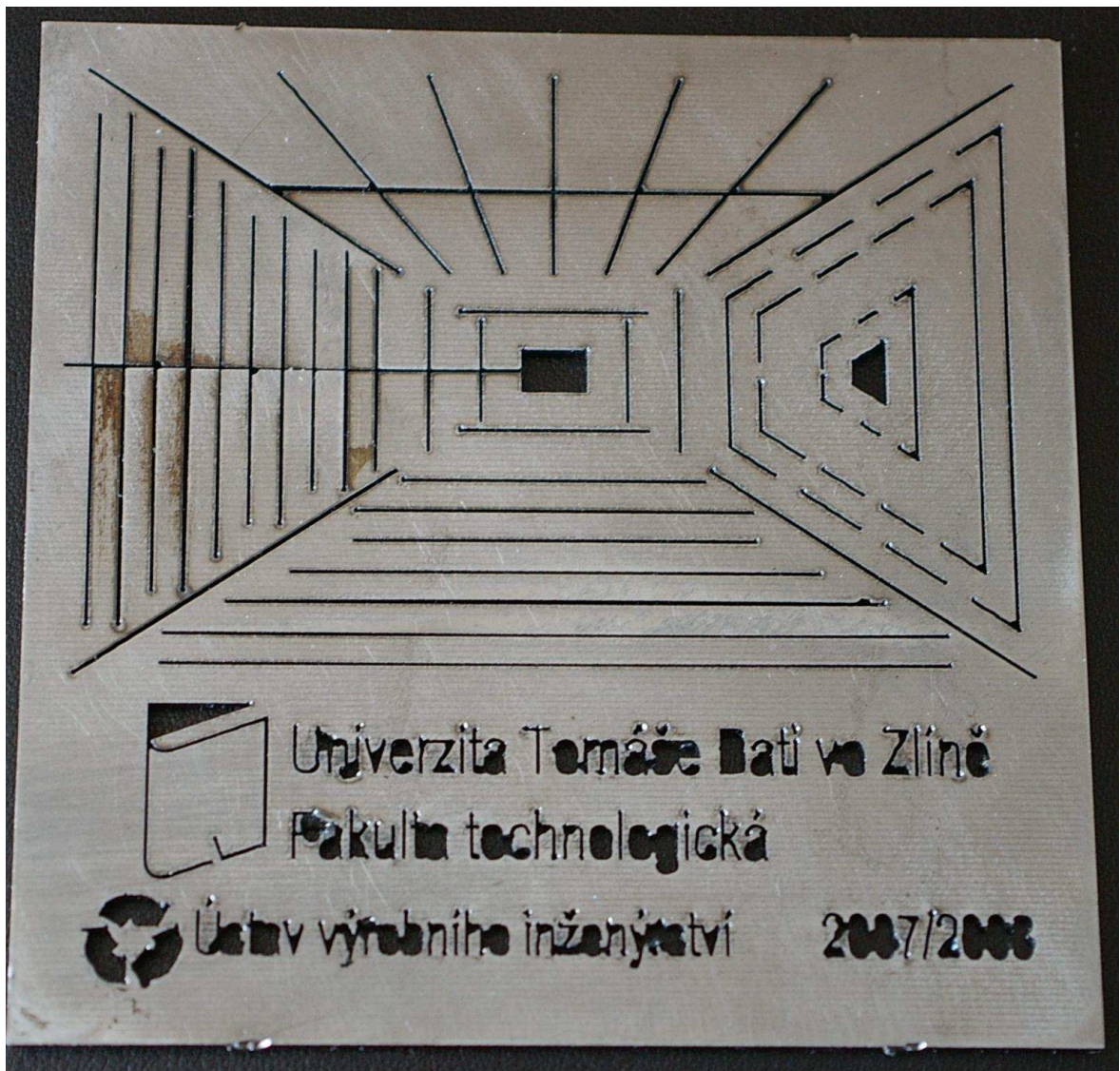
Deska obráběná chemicky (viz. Obr.43), byla obrobena do hloubky 0,2mm. Došlo k bezchybnému chemickému obrobení, dle zadaných požadavků.



Obr. 48. Kovová deska obrobena chemicky

Deska obrobena laserem (viz. Obr.44) měla být původně obrobena ve firmě Mechanika Prostějov, ale vzhledem k výkonu 30W tamějšího laseru bychom nedosáhli požadované hloubky 0,2mm, ale maximálně pár setin milimetru. Proto jsme museli využít alternativu ve výkonnějším stroji, kde nám vyšli vstříc v Rohatci ve firmě Josef Pernikář, Karel Ka-

ňák, s.r.o. Zde byl problém s nastavením ohniska, neboť stroj byl nastaven na obrábění polymerů, i přesto jsme se pokusili o nastavení stroje. Ale nakonec z důvodu možného ostříkování hlavice laseru rozžhaveným kovem z místa řezu jsme rozhodli, že vzhledem k možnostem firmy, u které byl experiment proveden, se uchýlíme k řezání namísto gravírování. Proto byla zvolena jiná hustota i typ čar. Další problém byl u uzavřených písmen, u kterých (kdybychom je chtěli zachovat) bychom museli nechat část kovu, který by držel dutinu písmen.



Obr. 49. Kovová deska obrobena laserem

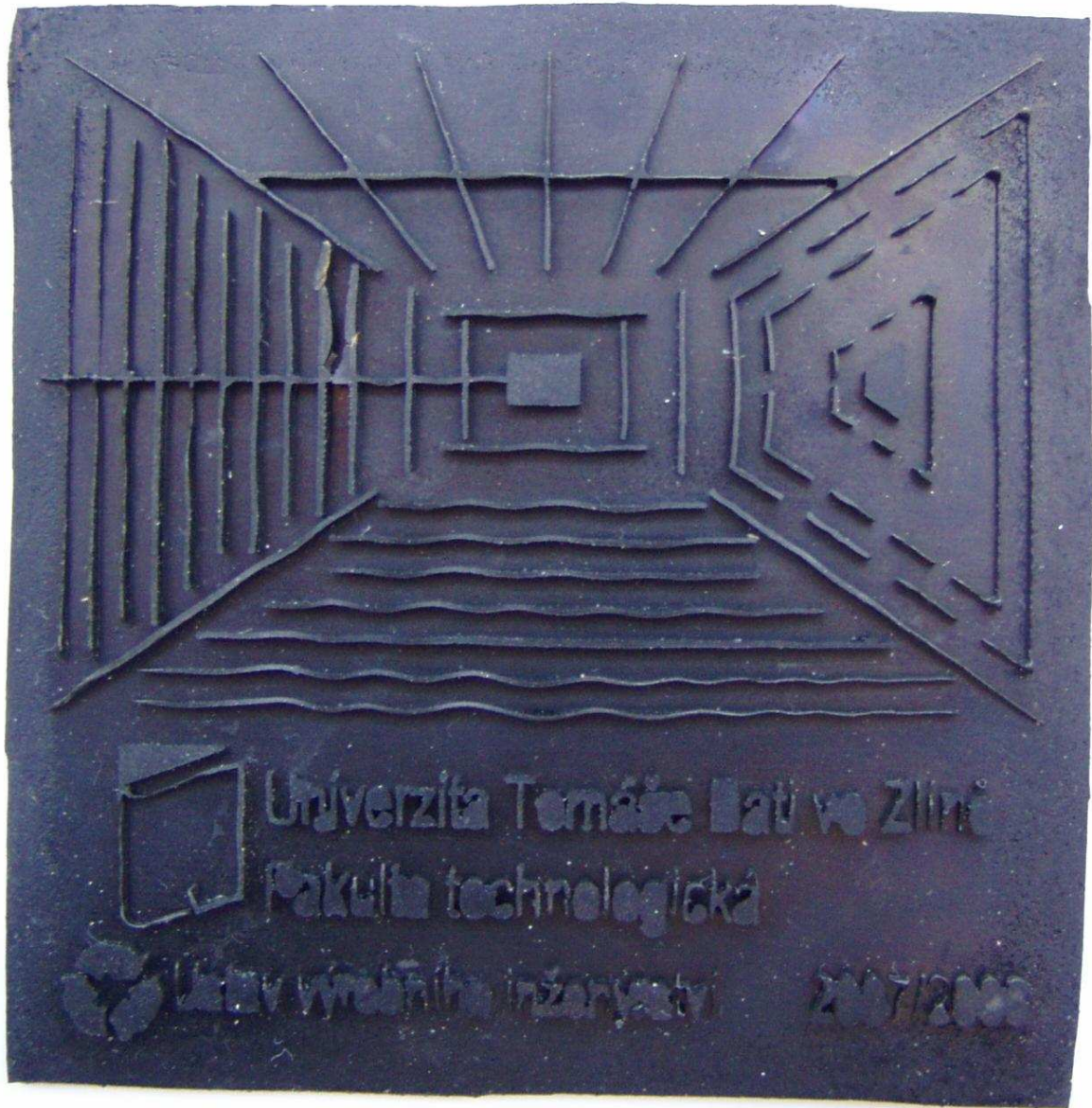
13.2 Vylisované pryžové vzorky

U vylisování desky chemicky obrobené vznikl docela přesný negativ vůči kovové desce (viz obr.45) nevýhodou byly drobné škrábance na kovové desce, které se také objevily na pryžovém vzorku, což bude více vidět na detailních snímcích zhotovených pomocí přístroje ProScope HR.



Obr. 50. Vylisovaný pryžový vzorek deskou chemicky obrobenou

U prvního vzorku vylisovaného deskou obrobenu laserem (viz. Obr. 46), došlo díky nedostatku materiálu k nedokonalému vyplnění mezer.



Obr. 51. Vylisovaný pryžový vzorek deskou obrobenu laserem

U druhého vzorku vylisovaného deskou obrobenu laserem (viz. Obr. 47), zase bylo materiálu příliš, ale vzniklé nedokonalosti (přetoky) by šly odstranit ořezem.



Obr. 52. Vylisovaný pryžový vzorek deskou obrobenu laserem

13.3 Porovnání podle detailních snímků a jejich vyhodnocení

Na obr. 48. lze vidět, že nejenom detail písma se objevil na vylisované desce, ale i rýha, která byla na kovové desce. Na obr. 49 a 51, je zase vidět detail nepovedeného obrobení laserem mezi písmeny, které se samozřejmě projevilo na pryžových vzorcích. U vzorku napravo jsou vidět i přetoky způsobené přemírou materiálu.



Obr. 53. Text - nalevo chemicky obrobena deska, napravo vylisovaný vzorek z pryže



Obr. 54. Text - nalevo deska obrobena laserem, uprostřed první vylisovaný vzorek, napravo druhý vylisovaný vzorek

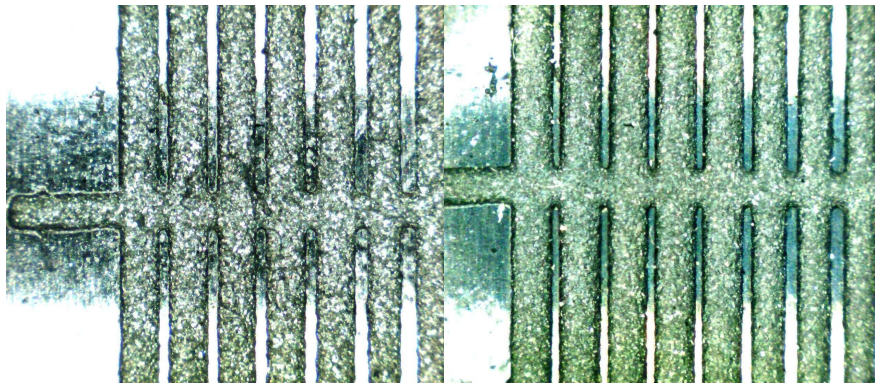


Obr. 55. Text - nalevo chemicky obrobena deska, napravo vylisovaný vzorek z pryže

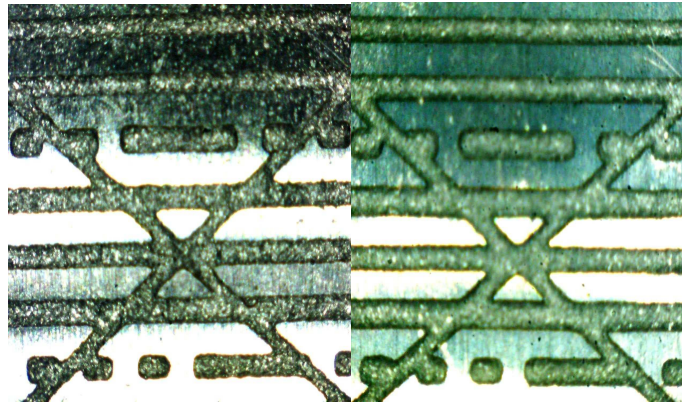


Obr. 56. Text - nalevo deska obrobená laserem, uprostřed první vylisovaný vzorek, napravo druhý vylisovaný vzorek

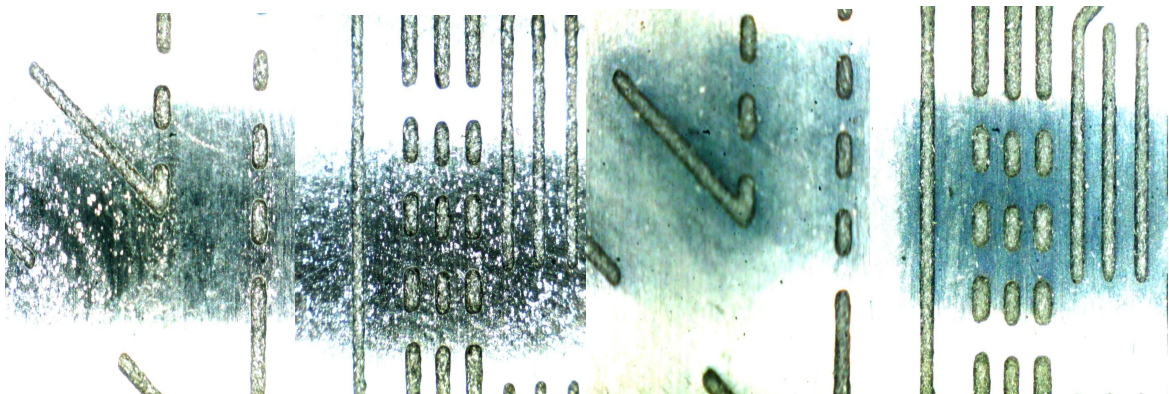
Na obrázcích číslo 57 až 60 jsou detailní snímky povrchu chemicky obrobené desky a vylisované pryže. Je vidět, že došlo k dokonalému vytvoření požadovaných rýh - svislé, křížené, vodorovné a nebo přerušované.



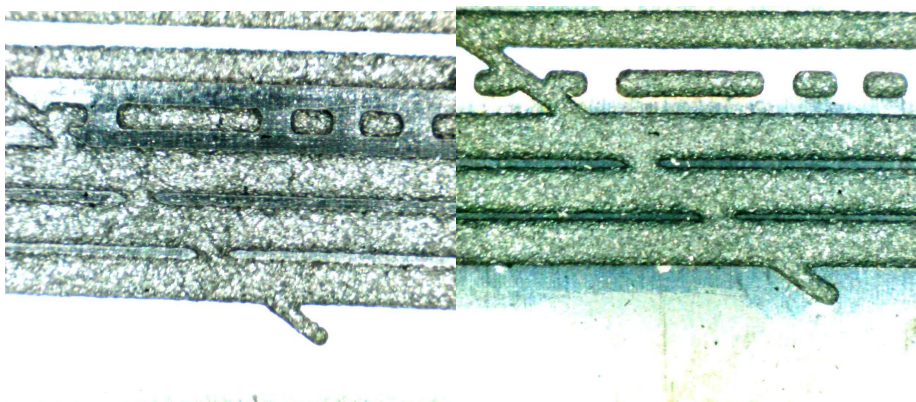
Obr. 57. Přímé dráhy, svislé - nalevo chemicky obrobená deska, napravo vylisovaný vzorek z pryže



Obr. 58. Křížení drah - nalevo chemicky obrobená deska, napravo vylisovaný vzorek z pryže



Obr. 59. Přerušované dráhy - nalevo chemicky obrobená deska, napravo vylisovaný vzorek z pryže



Obr. 60. Přímé dráhy, vodorovné - nalevo chemicky obrobená deska, napravo vylisovaný vzorek z pryže

Na obrázcích 61 až 64 je laserem obrobená deska a z ní vytvořené pryžové vzorky. Jelikož povrch nebyl gravírovaný, ale řezaný, projevy se zde jiné vady. Řez laserem vykazoval chyby v místech, kde se dráhy protínaly (viz. Obr. 61 nalevo) a nebo v místech napojení na druhou dráhu a ukončení dráhy, což je patrné na obrázku 63 a 64, kde v místech spojení drah a ukončení drah došlo k značnému rozšíření.

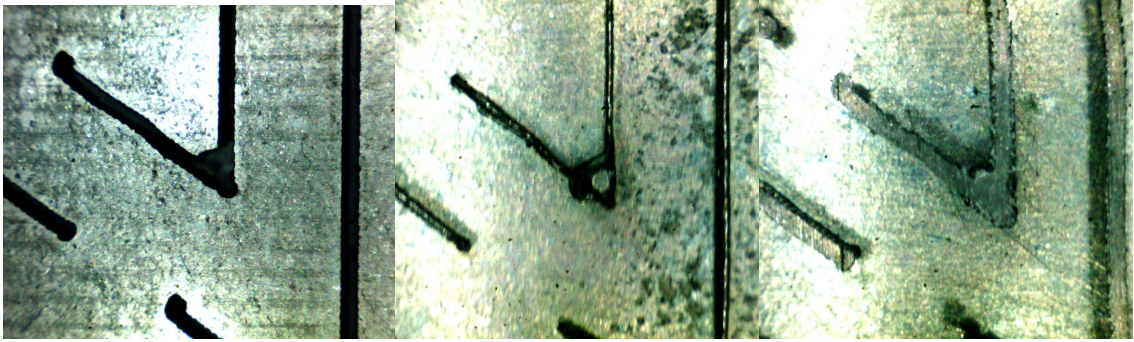
Na pryžovém vzorku uprostřed na obrázcích je poznat, že bylo použito nedostatek materiálu a stěny žebér jsou tenčí. U pryžového vzorku napravo na obrázcích je zase nadbytek materiálu, což způsobovalo přetoky. Tyhle vady jsou ale způsobeny jen technologickým postupem při lisování.



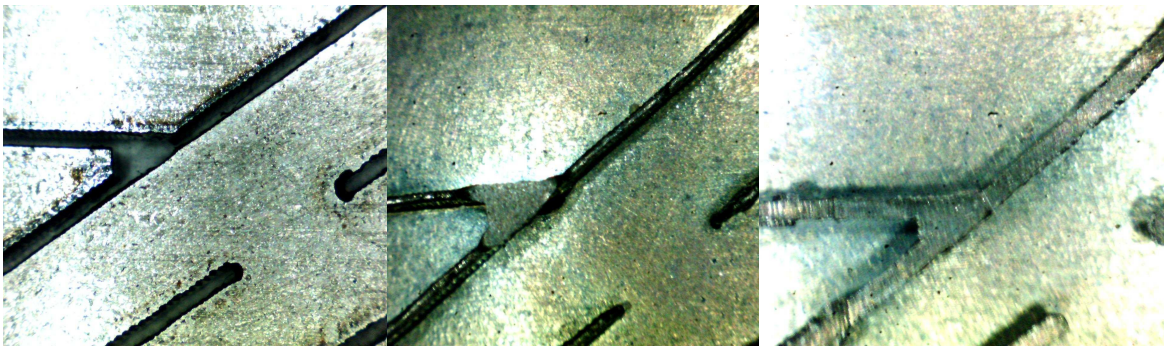
Obr. 61. Přímé dráhy, svislé - nalevo deska obrobená laserem, uprostřed první vylisovaný vzorek, napravo druhý vylisovaný vzorek



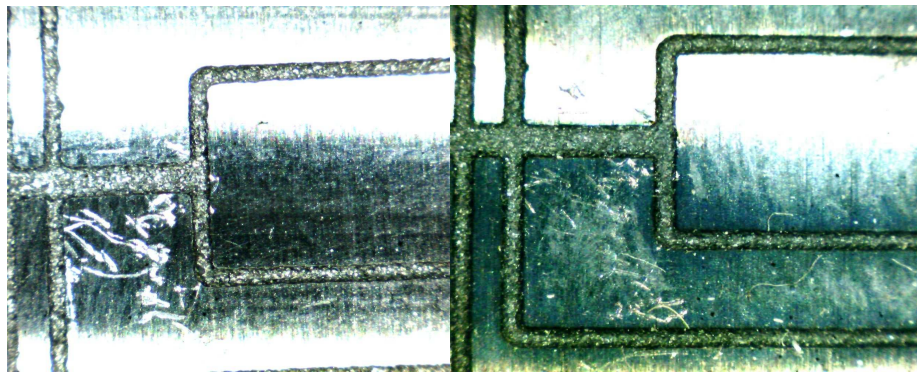
Obr. 62. Přímé dráhy, vodorovné - nalevo deska obrobená laserem, uprostřed první vylisovaný vzorek, napravo druhý vylisovaný vzorek



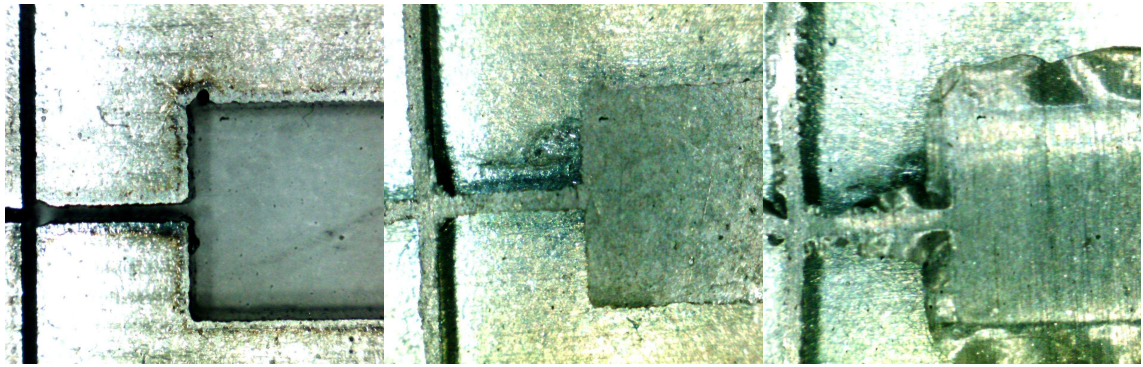
Obr. 63.Rohy - nalevo deska obrobená laserem, uprostřed první vylisovaný vzorek, napravo druhý vylisovaný vzorek



Obr. 64.Rohy - nalevo deska obrobená laserem, uprostřed první vylisovaný vzorek, napravo druhý vylisovaný vzorek



Obr. 65.Hrany - nalevo chemicky obrobená deska, napravo vylisovaný vzorek z pryže



Obr. 66. Hrany - nalevo deska obrobená laserem, uprostřed první vylisovaný vzorek, na-pravo druhý vylisovaný vzorek

13.4 Měření drsnosti

Pro porovnání kvality povrchu jsme se rozhodli použít měření drsnosti Ra.

Aritmetická drsnost na desce obrobené laserem byla změřena na okrajích.

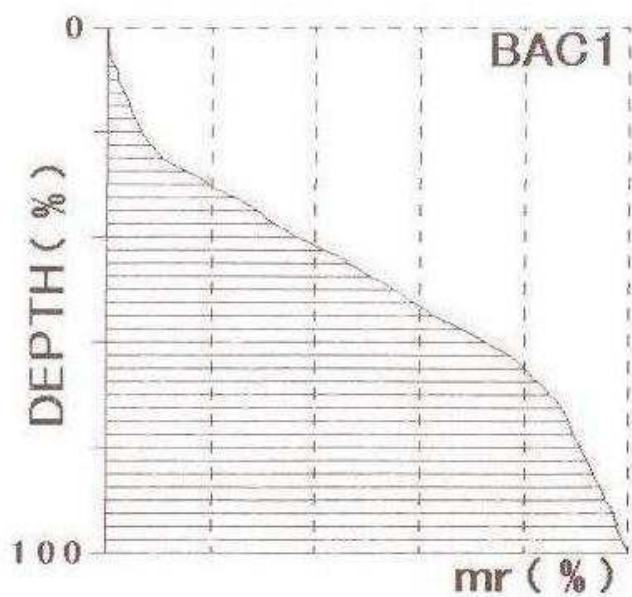
Počet měření	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Naměřená hodnota Ra	2,70	2,58	3,42	3,14	4,31	3,34	4,09	3,01	4,89	3,32

tabulka 2.. Naměřené hodnoty drsnosti Ra

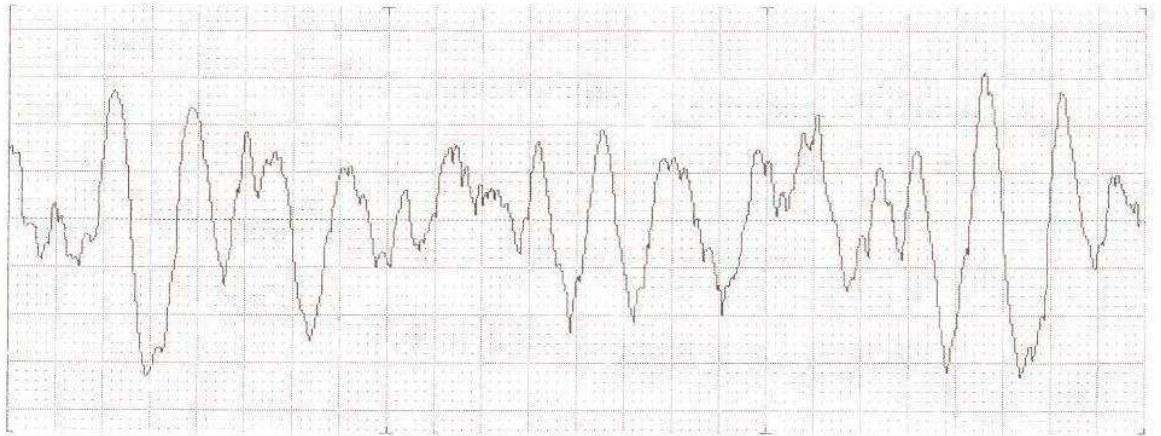
Průměrná hodnot drsnosti Ra = 3,48μm

```

Mitutoyo Surftest SJ-301
DATE 1999/01/01
TIME 00:09:19
STANDARD ISO1997
PROFILE R
FILTER GAUSS
λc 0.8mm
N 3
RANGE AUTO
SPEED ESC
PRE/POST OFF
PARAMETER
Rmr PEAK
REF 10%
C.LEVEL
Rp, RSm 10%
C.LEVEL
R-PROFILE
λc 0.8mm
N 3
Ra 2.70μm
Rz 14.01μm
Rq 3.31μm
Rt 16.06μm
RSm ( 10% ) 154μm
Rmr ( P. 10% ) 2%
R-PROFILE
λc=0.8mm×3
×2K
×50
Ver : 5.0μm/cm
Hor : 200.0μm/cm
    
```



Obr. 67. Údaje z vyhodnocacího přístroje



Obr. 68. Průběh profilu drsnosti Ra

U desky obrobené chemicky nebylo možné drsnost změřit, protože rýhy vytvořené touto metodou obrábění byly příliš úzké a hluboké a měřicí přístroj nemohl zaznamenat žádnou hodnotu.

14 EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ

14.1 Chemické obrábění

Vstupní parametry:

Cena UV lampy a vakuového rámu 95000,-Kč

Cena kamery pro zhotovení filmů do formátu A3 75000,-Kč

Celková cena zařízení 170000,-Kč

Mzda pracovníka 120,-Kč/h

Pracovní dny za rok 253

Zisk 5%

Jednosměnný (8hodin) i dvousměnný provoz (16hodin)

Paušální cena za návrh 500,-Kč

Odpisová skupina 1, sazba v prvním roce odpisování 20, sazba v dalších letech odpisování 40.

Odpis v prvním roce.

$$(170000/100) \cdot 20 = 34000,-Kč$$

Odpis v druhém roce.

$$(170000/100) \cdot 40 = 68000,-Kč$$

Odpis ve třetím roce.

$$(170000/100) \cdot 40 = 68000,-Kč$$

Vypočet hodinových prací stroje s obsluhou pro jednosměnný provoz

- v prvním roce $34000/253 = 134,-Kč/den$, z toho hodinová práce je $134/8 + 120 = 137,-Kč/h$

- v prvním roce $68000 / 253 = 269, -Kč / den$, z toho hodinová práce je $269 / 8 + 120 = 154, -Kč / h$

- v prvním roce $68000 / 253 = 269, -Kč / den$, z toho hodinová práce je $269 / 8 + 120 = 154, -Kč / h$

Průměrná hodinová práce stroje s obsluhou pro jednosměnný provoz je 148,-Kč

Vypočet hodinových prací stroje s obsluhou pro dvousměnný provoz

- v prvním roce $34000 / 253 = 134, -Kč / den$, z toho hodinová práce je $134 / 16 + 120 = 128, -Kč / h$

- v prvním roce $68000 / 253 = 269, -Kč / den$, z toho hodinová práce je $269 / 16 + 120 = 137, -Kč / h$

- v prvním roce $68000 / 253 = 269, -Kč / den$, z toho hodinová práce je $269 / 16 + 120 = 137, -Kč / h$

Průměrná hodinová práce stroje s obsluhou pro dvousměnný provoz je 134,-Kč

Cena leptaných štítků se většinou určuje podle vzorce:

$$((š + 1,5) \cdot (d + 1,5) \cdot K) + 30$$

kde š – 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 natírání barvou 0,15 až 0,35, pro zhotovení filmu 0,05 až 0,25.

Pro náš vzorek je hloubka leptu 0,2.

Cena za leptání je:

$$((10 + 1,5) \cdot (10 + 1,5) \cdot 0,95) + 30 = 155,50 Kč$$

Cena za film:

$$((10 + 1,5) \cdot (10 + 1,5) \cdot 0,2) + 30 = 56,5 Kč$$

Celková cena je tedy 212,-Kč + 19%DPH, takže cena i s DPH je 252,-Kč.

14.2 Obrábění laserem

Vstupní parametry:

Cena zařízení 1200000,-Kč

Mzda pracovníka 130,-Kč/h

Pracovní dny za rok 253

Zisk 5%

Jednosměnný (8hodin) i dvousměnný provoz (16hodin)

Paušální cena za návrh 500,-Kč

Odpisová skupina 1, sazba v prvním roce odpisování 20, sazba v dalších letech odepisování 40.

Odpis v prvním roce.

$$(1200000/100) \cdot 20 = 240000,-Kč$$

Odpis v druhém roce.

$$(1200000/100) \cdot 40 = 480000,-Kč$$

Odpis ve třetím roce.

$$(1200000/100) \cdot 40 = 480000,-Kč$$

Vypočet hodinových prací stroje s obsluhou pro jednosměnný provoz

- v prvním roce $240000/253 = 949,-Kč/den$, z toho hodinová práce je $949/8 + 130 = 249,-Kč/h$

- v prvním roce $480000/253 = 1897,-Kč/den$, z toho hodinová práce je $1897/8 + 130 = 367,-Kč/h$

- v prvním roce $480000/253 = 1897,-Kč/den$, z toho hodinová práce je $1897/8 + 130 = 367,-Kč/h$

Průměrná hodinová práce stroje s obsluhou pro jednosměnný provoz je 328,-Kč

Vypočet hodinových prací stroje s obsluhou pro dvousměnný provoz

- v prvním roce $240000 / 253 = 949, -Kč / den$, z toho hodinová práce je $949 / 16 + 130 = 189, -Kč / h$

- v prvním roce $480000 / 253 = 1897, -Kč / den$, z toho hodinová práce je $1897 / 16 + 130 = 249, -Kč / h$

- v prvním roce $480000 / 253 = 1897, -Kč / den$, z toho hodinová práce je $949 / 16 + 130 = 249, -Kč / h$

Průměrná hodinová práce stroje s obsluhou pro dvousměnný provoz je 229,-Kč

Vypočet ceny navrženého vzorku

Délka dráhy laseru 1590mm

Maximální posuv 35m/hodinu, což je 126mm/s

Čas potřebný k obrobení $1590 / 126 = 12,6s$, což je 0,0035hodin

Celková cena vzorku

- pro jednosměnný provoz $338 \cdot 0,0035 = 1,15, -Kč$

- pro dvousměnný provoz $229 \cdot 0,0035 = 0,8, -Kč$

Cena navrženého vzorku (bez materiálu)

- pro jednosměnný provoz $500 + 1,15 = \underline{501,15, -Kč}$

- pro dvousměnný provoz $500 + 0,8 = \underline{500,8, -Kč}$

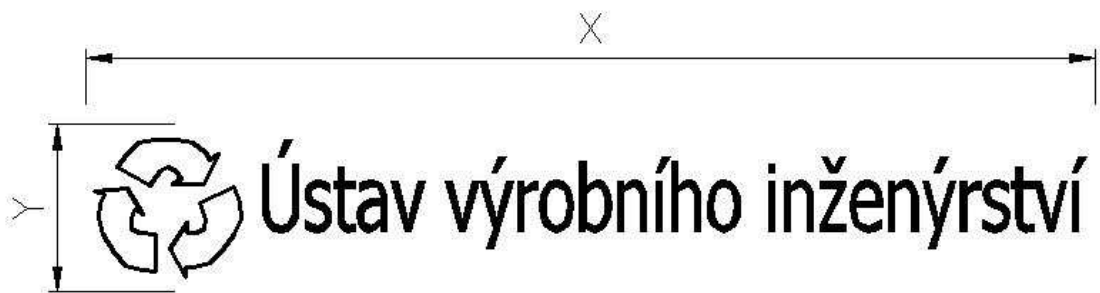
Cena je vypočtena jen s času řezu, bylo by nutno přepočítat posuvy při přechodech a najíždění na další dráhy, poté by byla doba delší, ale neměli jsme možnost tyto časy změřit. Díky tomu by se navýšila i cena.

14.3 Výpočet dle firmy PLS Laser Systém spol. s.r.o.

Tato firma provádí popisování a gravírování širokého spektra materiálů, progresivní laserovou technologií. Firma využívá k výpočtu ceny laserového programu jednoduchý

program, kde na stanovení ceny za gravírování laserem záleží na velikosti, vzhledu a množství kusů.

Například, máme-li vyrobit 1 kus loga (viz. obr.67), jehož velikost je v ose $x = 120$ mm a v ose $y = 20$ mm.



Obr. 69.Vzor laserového popisu

Formulář pro výpočet ceny popisu

Velikost loga v ose x [mm]:	<input type="text" value="120"/>	(celé číslo 2 - 100 mm)
Velikost loga v ose y [mm]:	<input type="text" value="20"/>	(celé číslo 2 - 100 mm)
Počet kusů:	<input type="text" value="1"/>	(celé číslo 1 - 2000)*
	<input type="button" value="Výpočet"/>	
Rozměr popisu:	<input type="text" value="140"/>	
Cena za jeden kus:	<input type="text" value="41.80"/>	Kč
Celková cena bez DPH:	<input type="text" value="41.8"/>	Kč
Cena včetně 19 % DPH:	<input type="text" value="49.7"/>	Kč
	<input type="button" value="Vymazat"/>	

*Nad 2000 ks cena dle dohody.

Obr. 70.Formulář pro výpočet ceny popisu

Stačí tyto hodnoty vyplnit do formuláře pro výpočet ceny (viz. obr.68), ten už provede výpočet na základě rozměru a počtu kusů. K této ceně se také platí 150,-Kč za přípravu programu laseru, takže výsledná cena za tohle logo je 199,7,-Kč.

ZÁVĚR

V této práci byla řešena problematika využití nekonvenčních technologií při popisování dutiny vulkanizačních forem pro výrobu plášťů pneumatik.

Teoretická část se zabývá přehledem nekonvenčních technologií s důrazem na laserové a chemické obrábění, dále je věnována pozornost vlastní výrobě plášťů pneumatik.

V praktické části byla navržena vulkanizační forma na výrobu pneumatiky 205/55 R16 v programu Autodesk Inventor 5. Jeden z dílů, konkrétně bočnice vulkanizační formy má obsahovat informace sloužící zákazníkovi týkající se nejen charakteristiky pneumatiky, ale i povinných prvků daných mezinárodní legislativou. K vytvoření tohoto popisu byla zvolena metoda obrábění laserem a jako alternativa metoda chemického obrábění (leptání). Na základě tohoto byly experimentálně obrobena dva vzorky destiček, které byly dále použity pro následnou vulkanizaci loga do pryžového materiálu. Tyto pryžové vzorky a obrobené destičky byla podrobena následnému rozboru za účelem stanovení vhodnosti daných technologií jak z hlediska technologického, tak také ekonomického. Výsledné porovnání obou technologií bylo ztíženo chybou ve výběru laserového zařízení, kdy na pracovišti firmy Mechanika PV vzhledem k nízkému výkonu popisovacího zařízení nebylo možné dosáhnout požadované hloubky popisu 0,2mm. Laserový vzorek byl následně zhotoven ve firmě z Rohatce Josef Pernikář, Karel Kaňák, s.r.o., kde však s ohledem na nastavení ohniska na řezání plastů a obavou z rozstříkávání materiálu nebylo zhotoveno identické logo chemickému obrábění jako drážka, ale prořez napříč materiálem o tloušťce desky 2mm. Z těchto důvodů bylo závěrečné vyhodnocení a srovnání výsledků obrábění a vhodnosti daných technologií zkresleno. Pro reálnější posouzení a porovnání metod bychom museli využít služeb např. firmy PLS Laser Systém spol. s.r.o., který nabízí obrábění dílů dutin forem, což však nebylo z časových důvodů možno využít.

Z provedených experimentů vychází cenově tak kvalitou lépe vzorek obrobený chemicky u pana Františka Vodehnala. Cena za chemické obrábění byla vypočtena na 252,-Kč, cena za obrábění laserem u firmy Josef Pernikář, Karel Kaňák, s.r.o. byla vypočtena na hodnotu okolo 501,-Kč, popřípadě kdybychom provedli experiment u firmy PLS Laser Systém spol. s.r.o. byla by cena stanovena dle formuláře na výpočet ceny asi 199,7,-Kč.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] PREKOP,Š.:Gumárska technológia II, 2003, CG TECH a Trenčanská univerzita A. Dubčeka
- [2] MARCÍN, J., ZÍTEK, P.: Pneumatiky. SNTL Praha 1985
- [3] MAŇÁKOVÁ, I, Inovačné technológie – progresívne technológie úberu materiálu, prednášky
- [4] MAŇKOVÁ, I.: Progresívne technológie, Vienala, Košice 2000
- [5] http://cs.wikipedia.org/wiki/Laser#Typy_laser.C5.AF
- [6] http://www.printing.cz/art/ctp/ctp_principy_laseru.html
- [7] <http://www.maturita.cz/referaty/referat.asp?id=1358>
- [8] Světlocitlivé roztoky, Lachema Brno
- [9] <http://www.apneu.cz/zna.html>
- [10] <http://www.carena.cz/sekce/15-popis-technickych-parametru-pneu>
- [11] <http://www.mmspektrum.com/clanek/lasery-laserove-technologie-a-stroje-s-laserem>
- [12] MAŇAS, M.: Výrobní stroje a zařízení. Gumárenské a plastikářské stroje II, VUT Brno 1990
- [13] <http://www.plslaser.cz/>

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1 a – pneumatika pro osobní automobily, b – pneumatika pro nákladní automobily.....	9
Obr. 2. Struktura pláště.....	11
Obr. 3. Konstrukce pneumatiky.....	11
Obr. 4. Bočnice pláště.....	12
Obr. 5. Rozložení základních prvků a výstužných materiálů v radiálním plášti.	13
Obr. 6. Linka na stříhání pogumovaného textilu.....	14
Obr. 7. Dvojhubnový konfekční stroj.....	16
Obr. 8. Počítačový model řezu pláště, membrány a segmentové vulkanizační formy.....	17
Obr. 9. Dvoudílná vulkanizační forma.....	18
Obr. 10. Sestava kontejnerové segmentové vulkanizační formy.....	19
Obr. 11. Znázornění procesu obrábění ultrazvukem.....	21
Obr. 12. Obrábění paprskem abraziva.....	22
Obr. 13. Obrábění vodním paprskem.....	22
Obr. 14. Chemické obrábění.....	23
Obr. 15. Elektrochemické obrábění.....	24
Obr. 16. Elektrojiskrové obrábění.....	24
Obr. 17. Obrábění laserem.....	25
Obr. 18. Obrábění elektronovým paprskem.....	26
Obr. 19. Obrábění iontovým paprskem.....	26
Obr. 20. Obrábění plazmovým paprskem.....	27
Obr. 21. Porovnání běžného světelného záření a laseru.....	28
Obr. 22. Konstrukce laseru.....	29
Obr. 23. Vlnové délky pro různé typy laserů.....	30
Obr. 24. Druhy režimů laserů.....	32
Obr. 25. Rozdělení podle konstrukce laseru.....	33
Obr. 26. Schéma chemického obrábění.....	34
Obr. 27. Detailní zobrazení procesu leptání.....	35
Obr. 28. Schéma funkce světlocitlivých roztoků.....	36
Obr. 29. Grafický návrh popisu bočnice v počítačovém programu.	40
Obr. 30. Popis pneumatiky.....	41

Obr. 31. Rozměry pneumatiky	41
Obr. 32. Index nosnosti	42
Obr. 33. kategorie rychlosti.....	42
Obr. 34. Otevřená vulkanizační forma s modelem pneumatiky	43
Obr. 35. Deska – kryt	44
Obr. 36. Segment dezénu	44
Obr. 37. Patkový kroužek	45
Obr. 38. Bočnice formy.....	45
Obr. 39. Zkušební vzorek.....	46
Obr. 40. Nastavení přístroje programem Corel Draw	50
Obr. 41. Vulkanizační lis	52
Obr. 42. Složení lisovací formy	53
Obr. 43. Příprava k lisování	53
Obr. 44. Odformování.....	54
Obr. 45. Vylisovaný vzorek	54
Obr. 46. Příklad ProScope HR.....	56
Obr. 47. Drsnost SJ 301	57
Obr. 48. Kovová deska obrobená chemicky	58
Obr. 49. Kovová deska obrobená laserem	59
Obr. 50. Vylisovaný pryžový vzorek deskou chemicky obrobenou	60
Obr. 51. Vylisovaný pryžový vzorek deskou obrobenou laserem	61
Obr. 52. Vylisovaný pryžový vzorek deskou obrobenou laserem	62
Obr. 53. Text - nalevo chemicky obrobená deska, napravo vylisovaný vzorek z pryže	63
Obr. 54. Text - nalevo deska obrobená laserem, uprostřed první vylisovaný vzorek, napravo druhý vylisovaný vzorek.....	63
Obr. 55. Text - nalevo chemicky obrobená deska, napravo vylisovaný vzorek z pryže	63
Obr. 56. Text - nalevo deska obrobená laserem, uprostřed první vylisovaný vzorek, napravo druhý vylisovaný vzorek.....	64
Obr. 57. Přímé dráhy, svislé - nalevo chemicky obrobená deska, napravo vylisovaný vzorek z pryže.....	64
Obr. 58. Křížení drah - nalevo chemicky obrobená deska, napravo vylisovaný vzorek z pryže	65

Obr. 59. Přerušované dráhy - nalevo chemicky obrobená deska, napravo vylisovaný vzorek z pryže.....	65
Obr. 60. Přímé dráhy, vodorovné - nalevo chemicky obrobená deska, napravo vylisovaný vzorek z pryže	65
Obr. 61. Přímé dráhy, svislé - nalevo deska obrobená laserem, uprostřed první vylisovaný vzorek, napravo druhý vylisovaný vzorek.....	66
Obr. 62. Přímé dráhy, vodorovné - nalevo deska obrobená laserem, uprostřed první vylisovaný vzorek, napravo druhý vylisovaný vzorek.....	66
Obr. 63. Rohy - nalevo deska obrobená laserem, uprostřed první vylisovaný vzorek, napravo druhý vylisovaný vzorek.....	67
Obr. 64. Rohy - nalevo deska obrobená laserem, uprostřed první vylisovaný vzorek, napravo druhý vylisovaný vzorek.....	67
Obr. 65. Hrany - nalevo chemicky obrobená deska, napravo vylisovaný vzorek z pryže.....	67
Obr. 66. Hrany - nalevo deska obrobená laserem, uprostřed první vylisovaný vzorek, napravo druhý vylisovaný vzorek.....	68
Obr. 67. Údaje z vyhodnovacího přístroje	68
Obr. 68. Průběh profilu drsnosti Ra	69
Obr. 69. Vzor laserového popisu	74
Obr. 70. Formulář pro výpočet ceny popisu	74

SEZNAM TABULEK

tabulka 1. Rozdělení laserů	31
tabulka 2.. Naměřené hodnoty drsnosti Ra	68

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

symbol	jednotky	název
š	[cm]	šířka vzorku
d	[cm]	šířka vzorku
K	[-]	koeficient závislý na druhu materiálu a hloubce leptu
x	[mm]	délka v ose x
y	[mm]	délka v ose y