

Návrh a výroba čelistí k trhacímu stroji a formy na zkušební tělíska

Bc. Tomáš Matušinec

Diplomová práce
2024



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně

Fakulta technologická
Ústav výrobního inženýrství

Akademický rok: 2023/2024

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení:	Bc. Tomáš Matušinec
Osobní číslo:	T21782
Studijní program:	N3909 Procesní inženýrství
Studijní obor:	Výrobní inženýrství
Forma studia:	Prezenční
Téma práce:	Návrh a výroba čelistí k trhacímu stroji a formy na zkušební tělíska

Zásady pro vypracování

- Teoretická studie na dané téma
- Návrh a konstrukce čelistí a formy pro O-kroužky k trhacímu stroji Tensometer T10D
- Vytvoření výkresové dokumentace a podkladů pro technickou přípravu výroby
- Výroba čelistí a formy pro zkušební tělíska
- Otestování funkčnosti

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

Seznam doporučené literatury:

1. Bilek, Ondřej, Lukovics, Imrich. Výrobní inženýrství a technologie. Zlín, Univerzita Tomáše Bati, 2014. ISBN 978-80-7454-471-2.
2. Kocman, Karel. Technologické procesy obrábění. Brno: Akademické nakladatelství CERM. 2011. ISBN 978-80-7204-722-2.
3. Grzesik, Wit. *Advanced Machining Processes of Metallic Materials: Theory, Modelling and Applications*. Elsevier Books, 2016. ISBN 9780444637116.
4. Smid, Peter. 2008. *CNC Programming Handbook: a Comprehensive Guide to Practical CNC Programming*. Third edition. South Norwalk: Industrial Press Inc., U.S. ISBN 978-0-8311-3347-4.

Vedoucí diplomové práce: **Ing. Petr Zádrapa, Ph.D.**
Ústav inženýrství polymerů

Datum zadání diplomové práce: **2. ledna 2024**
Termín odevzdání diplomové práce: **10. května 2024**

prof. Ing. Roman Čermák, Ph.D. v.r.
děkan

L.S.

doc. Ing. Martin Bednařík, Ph.D. v.r.
ředitel ústavu

Ve Zlíně dne 27. února 2024

PROHLÁŠENÍ AUTORA DIPLOMOVÉ PRÁCE

Beru na vědomí, že:

- diplomová práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitním informačním systému a dostupná k nahlédnutí;
- na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, zejm. § 35 odst. 3;
- podle § 60 odst. 1 autorského zákona má Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona;
- podle § 60 odst. 2 a 3 autorského zákona mohu užít své dílo –diplomovou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití jen s předchozím písemným souhlasem Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše);
- pokud bylo k vypracování diplomové práce využito softwaru poskytnutého Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně nebo jinými subjekty pouze ke studijním a výzkumným účelům (tj. k nekomerčnímu využití), nelze výsledky diplomové práce využít ke komerčním účelům;
- pokud je výstupem diplomové práce jakýkoliv softwarový produkt, považují se za součást práce rovněž i zdrojové kódy, popř. soubory, ze kterých se projekt skládá. Neodevzdání této součásti může být důvodem k neobhájení práce.

Prohlašuji,

- že jsem na diplomové práci pracoval samostatně a použitou literaturu jsem citoval. V případě publikace výsledků budu uveden jako spoluautor.
- že odevzdaná verze diplomové práce a verze elektronická nahraná do IS/STAG jsou obsahově totožné.

Ve Zlíně dne:

Jméno a příjmení studenta:

.....
podpis studenta

ABSTRAKT

Cílem diplomové práce je navrhnout a vyrobit čelisti určené ke zkoušce v tahu pryžových těsnících O-kroužků a také návrh a výroba formy na zkušební tělíska. Diplomová práce popisuje obecné informace o polymerních materiálech, kaučukových směsích, přísadách a také jejich zpracování. Dále jsou uvedeny možnosti testování polymerů se zaměřením na zkoušky pryžových výrobků. V další části jsou popsány materiály pro výrobu vulkanizačních forem a jejich zpracování obráběním a povrchovými úpravami. Závěrečná část se věnuje obrábění s možností programování číslicově řízených obráběcích strojů. Praktická část se zabývá návrhem a výrobou vulkanizační formy a čelistí k trhacímu stroji pro testování pryžových O-kroužků. Po provedení návrhu a výroby je ověřena funkčnost jak formy, tak i čelistí.

Klíčová slova: kaučuk, testování polymerů, formy na pryžové výrobky, obrábění, tahová zkouška

ABSTRACT

This diploma thesis deals with the designing and manufacturing of jaws and mould for tensile testing of rubber O-rings. In the theoretical part, the general information about polymers, rubbers, rubber additives and their processing are written. Moreover, the information about rubber testing is also described. Then next chapters describe materials suitable for mould production, their production process and the programming of numerically controlled machines.

In the practical part, the mould and jaws draft are given followed by the manufacturing of these components. Finally, the functionality is controlled by O-ring production and testing.

Keywords: rubber, polymer testing, vulcanization moulds, machining, tensile testing

Děkuji tímto vedoucímu mé diplomové práce Ing. Petru Zádrapovi Ph.D. za odborné vedení, cenné rady, věcné připomínky, trpělivost a čas, který mně a mé práci věnoval.

Dále bych chtěl poděkovat Ing. Martinu Řezníčkovi Ph.D. a Ing. Cyrilu Hořavovi za zajištění výroby.

Závěrem bych rád poděkoval své rodině za podporu při studiu.

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

OBSAH

ÚVOD	10
I TEORETICKÁ ČÁST	11
1 POLYMERNÍ MATERIÁLY A JEJICH ZPRACOVÁNÍ	12
1.1 KAUKČUK, KAUKČUKOVÁ SMĚS, PRYŽ.....	12
1.1.1 Kaučuky	12
1.2 KAUKČUKOVÉ SMĚSI	13
1.3 PRYŽ	15
1.4 TECHNOLOGIE ZPRACOVÁNÍ POLYMERNÍCH MATERIÁLŮ.....	16
1.4.1 Lisování.....	17
1.4.2 Přetlačování.....	18
1.4.3 Vstřikování.....	19
2 TESTOVÁNÍ POLYMERŮ	20
2.1 ZÁKLADNÍ MECHANICKÉ VLASTNOSTI.....	20
2.1.1 Zkouška v tahu vulkanizovaných elastomerů	21
2.2 ZKOUŠKA TVRDOSTI.....	22
2.2.1 Zkouška tvrdosti vulkanizovaných elastomerů, tvrdost dle Shore.....	23
2.2.2 Zkouška tvrdosti vulkanizovaných elastomerů tvrdost IRHD	23
2.2.3 Zkouška odolnosti vůči oděru pryže	24
2.2.4 Zkouška odrazové pružnosti pryže.....	24
3 VULKANIZAČNÍ FORMY	26
3.1 OBECNÉ INFORMACE	26
3.2 ROZDĚLENÍ VULKANIZAČNÍCH FOREM.....	26
3.3 MATERIÁLY POUŽÍVANÉ K VÝROBĚ VULKANIZAČNÍCH FOREM	27
3.3.1 Oceli	27
3.3.2 Slitiny hliníku.....	28
3.3.3 Ostatní materiály	28
3.4 POVRCHOVÉ ÚPRAVY VULKANIZAČNÍCH FOREM	28
3.4.1 Kalení	28
3.4.2 Chromování.....	29
3.4.3 Niklování.....	29
3.4.4 Laserové zpracování.....	29
3.4.5 Povlakování PVD	29
3.4.6 Povlakování CVD	29
3.5 ŽIVOTNOST VULKANIZAČNÍCH FOREM.....	30
3.6 CHEMICKÉ PROSTŘEDKY POUŽÍVANÉ K SEPARACI PRYŽE	30
4 OBRÁBĚNÍ	33
4.2 CNC OBRÁBĚNÍ.....	34

4.3	METODY PROGRAMOVÁNÍ CNC STROJŮ.....	35
4.3.1	Dílenské programování	35
4.3.2	CAM programování	35
II	PRAKTICKÁ ČÁST.....	37
5	CÍLE PRAKTICKÉ ČÁSTI.....	38
5.1	NÁVRH LISOVACÍ FORMY	38
5.1.1	Výpočet velikosti smrštění	41
5.2	NÁVRH ČELISTÍ K TAHOVÉ ZKOUŠCE KROUŽKŮ.....	43
5.2.1	Návrh ložisek k uložení hřídele.....	46
5.2.2	Návrh hřídele a kladek čelisti.....	48
6	VÝROBNÍ POSTUP	51
6.1	VÝROBNÍ STROJE.....	51
6.1.1	S1 CNC frézka s naklápěcím rotačním stolem DMU 50	51
6.1.2	S2 CNC obráběcí centrum NTX 1000	51
6.2	VÝROBNÍ NÁSTROJE	52
6.3	MĚŘIDLA.....	55
6.4	VÝROBNÍ POSTUP SPODNÍHO DÍLU FORMY	56
6.5	VÝROBNÍ POSTUP HORNÍHO DÍLU FORMY	58
6.6	VÝROBNÍ POSTUP TĚLA ČELISTÍ.....	60
6.7	VÝROBNÍ POSTUP HŘÍDELE	63
6.8	VÝROBNÍ POSTUP KLADKY	65
6.9	VÝROBNÍ POSTUP ROZPĚRKY	67
6.10	VÝROBNÍ POSTUP PODLOŽKY	67
7	TESTOVÁNÍ FUNKČNOSTI A ZÍSKANÉ VÝSLEDKY.....	69
7.1	TEST FUNKČNOSTI FORMY	69
7.2	TEST FUNKČNOSTI ČELISTÍ	72
7.3	PRŮBĚH TAHOVÉ ZKOUŠKY	75
	ZÁVĚR	76
	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....	77
	SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK.....	79
	SEZNAM OBRÁZKŮ	80
	SEZNAM TABULEK.....	82
	SEZNAM PŘÍLOH.....	83

ÚVOD

Při návrhu součástí či konstrukcí je důležitý správný výběr polymeru k jejich výrobě. Výběr polymeru je založen na znalostech jejich fyzikálních, mechanických, chemických tepelných či technologických a dalších vlastností. Zásadní pro výběr polymeru je rozbor nejdůležitějších vlastností k danému použití a také znalost provozních podmínek, jako jsou zatěžující síla, okolní teplota a prostředí, životnost a další faktory. Vlastnosti polymerů ovlivňují zejména chemické složení, molekulární struktura, orientace a uspořádání makromolekul, přísady a procesní podmínky při zpracování a výrobě.

Vlastnosti polymerů ale i výrobků z nich lze zjistit jejich testováním. Ke stanovení zkoumaných vlastností lze využít různých druhů zkoušek ať již chemických, mechanických, elektrických a dalších, dle požadavků na výrobek při jeho aplikaci. Průběh zkoušek je dán nejčastěji technickými standardy a normami mezinárodního, národního či podnikového charakteru. K získání platných a správných výsledků je důležité dodržet průběh přípravy zkušebních tělísek i průběh zkoušky samotné, které jsou dány normou. Za předpokladu jejich dodržení lze poté porovnávat zkoumané vlastnosti různých druhů materiálů mezi sebou a tím zajistit správný výběr materiálu.

Diplomová práce se zabývá návrhem a výrobou čelistí ke zkoušce v tahu pryžových kroužků a také návrhem a výrobou formy k přípravě zkušebních tělísek určené k této zkoušce. Tahová zkouška se provádí na dvou základních druzích zkušebních tělísek a to tvaru kroužku a tvaru oboustranné lopatky. Výhodou tahové zkoušky provedené na kroužcích jsou stabilnější výsledky a nižším rozptylem a odchylkami než u zkoušky provedené na tělískách tvaru oboustranných lopatek.

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 POLYMERNÍ MATERIÁLY A JEJICH ZPRACOVÁNÍ

Polymery jsou materiály přírodního či syntetického původu, které mají schopnost vytvářet dlouhé řetězce složené ze základní konstituční jednotky, kterou nazýváme mer. Takto vytvořené řetězce se nazývají makromolekuly a jejich vnitřní uspořádání a délka ovlivňuje fyzikální i chemické vlastnosti výsledného polymerního materiálu.[1]

Polymerní materiály jsou jedny z nejmladších konstrukčních materiálů, které ovšem jsou také nejvýznamnějším segmentem podle objemu a spotřeby výroby. Polymery vynikají oproti kovovým materiálům snadnější zpracovatelností, nízkou hustotou, dobrými elektroizolačními vlastnostmi, chemickou odolností, schopností tlumit rázy a vibrace a také cenou. Mezi nevýhody polymerů se řadí nižší odolnost vůči teplotě, změna mechanických vlastností v závislosti na teplotě, větší teplotní roztažnost a hořlavost. [1]

Polymerní materiály lze obecně rozdělit na 3 základní skupiny: termoplasty, reaktoplasty a elastomery.

Termoplasty lze zvýšením teploty uvést do stavu tečení, kdy je lze zpracovávat, při ochlazení přejdou zpět do pevného stavu. Lze je opakovaně zpracovávat a tudíž recyklovat. Do kategorie termoplastů řadíme například-

polyetylen, polypropylen, polyvinylchlorid, polyetylentereftalát, polystyren a další.

Reaktoplasty při zpracování procházejí chemickou reakcí, kdy se při účinku tepla, záření, síťovacích činidel či kombinací vytváří prostorově hustě sesíťovaná struktura. Po zesíťování jej nelze roztavit ani rozpustit a jejich recyklace není možná nebo je velmi obtížná. Do kategorie reaktoplastů řadíme nejčastěji různé druhy pryskyřic:

epoxidová pryskyřice, fenol formaldehydová pryskyřice, polyesterová pryskyřice.

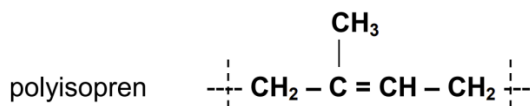
Elastomer je za normálních podmínek vysoce pružný materiál, který tvoří řídkou sesíťovanou strukturu. Při poměrně malé působící síle vykazuje vysokou deformaci. Tato deformace je převážně vratná a tedy se deformované těleso vrací do původního stavu při zániku působící síly. Významnou část skupiny elastomerů zaujímají kaučuky, z nichž lze vulkanizací vyrobit pryž. Kaučuky lze dělit podle několika hledisek. Nejčastější základní rozdělení je dle jejich původu a to na dvě kategorie-

přírodní a syntetické [1–3]

1.1 Kaučuk, kaučuková směs, pryž

1.1.1 Kaučuky

Jak již bylo zmíněno v předchozí kapitole, kaučuky se dělí na přírodní a syntetické. Přírodní kaučuky se nacházejí v mnoha druzích rostlin. Komerčně využitelným zdrojem je pouze latex získávaný ze stromu *Hevea brasiliensis*. Chemicky se jedná o cis-1,4-polyisopren (viz Obr. 1), který je označován jako isopren nebo zkratkou NR (z angl. Natural Rubber). [2, 4, 5]



Obr. 1 Chemický vzorec přírodního kaučuku [4]

První patent pro výrobu syntetického kaučuku obdržel Fritz Hofmann v roce 1909, avšak jako přelomový rok pro syntetické kaučuky je považován rok 1929. V tomto roce došlo k výrobě prvního komerčně využitelného butadien-styrenového kaučuku, který se stal nejběžněji využívaným syntetickým kaučukem.[6, 7]

Syntetické kaučuky jsou tedy elastomery vyráběné nejčastěji z petrochemických surovin. Hlavními předpoklady pro syntetický kaučuk využitelný v technologiích jsou:

- Vysoká molekulová hmotnost
- Amorfní struktura v nedeformovaném stavu a za normální teploty
- Nízká teplota skelného přechodu ($-40\text{ }^{\circ}\text{C}$)
- Schopnost řídkého zesíťování hlavními nebo vedlejšími valencemi

Syntetické kaučuky dělíme do dvou kategorií z hlediska použití:

Kaučuky pro všeobecné použití-

Pro tento typ kaučuků je typická poměrně nízká cena a vyšší objem spotřeby. Řadíme zde nejčastěji butadien-styrenový kaučuk SBR, polybutadienový kaučuk BR, izoprenový kaučuk IR, etylen-propylenový kaučuk EPM a etylen-propylen-dienový kaučuk EPDM).

Kaučuky pro speciální použití-

Využívají se v případě potřeby kaučuku odolného vůči vyšším teplotám – teplovzdorné (silikony Q, fluorové kaučuky FPM) či oleji – olejovzdorné (chloroprenový kaučuk CR, isobutylen-isoprenový kaučuk IIR, butadien-akrylonitrilový kaučuk NBR, polysulfidový kaučuk OT).[1, 4, 8]

1.2 Kaučukové směsi

Vlastnosti kaučuků nejsou dostatečné pro použití v běžných aplikacích. Mohou však být výrazně ovlivněny použitými přísadami při přípravě kaučukových směsí. Prostřednictvím chemikálií a přísad mohou být tyto vlastnosti měněny. V některých případech je jakost výrobku na prvním místě, proto je potřeba volit vybrané materiály, dodávající nejvyšší kvalitu i na úkor vyšší ceny. Naopak v jiných uplatněních mohou být přísady voleny k minimalizaci finančních nákladů. Všechny složky kaučukové směsi se navzájem ovlivňují a je proto potřeba volbu složek předem naplánovat.[8–10]

Kaučuk je základní surovinou směsi. Vhodný kaučuk je volen podle aplikace výrobku a od toho se odvíjí i ostatní složky směsi. Při výběru je kladen důraz na podmínky, ve kterých se bude finální produkt nacházet.[3, 10]

Samotný kaučuk je viskózní materiál vykazující vlastnosti podobné roztaveným termoplastům. Při působení síly začne téct. Abychom tomuto zabránili, je potřeba použít vulkanizační činidla, která jsou schopna chemickou reakcí vytvořit trojrozměrnou síť a tím přejít z viskózního materiálu na elastický. Vulkanizační činidla jsou tedy látky se schopností v relativně krátkém časovém úseku zesíťovat kaučukové molekuly pomocí chemických vazeb. Nejčastějším vulkanizačním činidlem je elementární síra, organické peroxidy, oxidy kovů, nebo anorganické pryskyřice. [3, 9, 11]

Pro zvýšení účinnosti zvláště sírné vulkanizace se používají aktivátory. Tyto látky zvyšují síťovací účinnost. Přidáním aktivátoru se zvyšuje koncentrace chemických příčných vazeb, které vznikají při vulkanizaci. Nejčastěji používaný anorganický aktivátor je oxid zinečnatý a dále oxid hořečnatý, oxid vápenatý nebo kyselina stearová. [11, 12]

Vulkanizace samotnou sírou je pomalá a do nízkého stupně. Aby se vulkanizace zrychlila a dosáhla vyššího stupně zesíťování je potřeba použít urychlovač. Urychlovače se dělí na urychlovače sírné a nesírné reakce a dále podle rychlosti na pomalé, rychlé, velmi rychlé a ultraurychlovače. Urychlovače jsou tedy látky zvyšující rychlost a účinnost vulkanizace. Jejich použitím lze snížit dávkování síry a zkracuje se čas vulkanizace řádově z hodin na minuty. Použitím urychlovačů lze také snížit vulkanizační teplotu, což vede k úspoře energie a ochraně jiných složek ve směsi, zejména barviva a textil, které by jinak mohly degradovat. Mohou se zlepšovat i výsledné vlastnosti vulkanizátu. [3, 7]

Z důvodu zvýšení odolnosti vůči oděru, strukturní pevnosti, tahových vlastností apod. je nutné do kaučukových směsí přidávat látky, které tento nárůst vlastností splní a nazýváme je plniva. Plniva mohou v širokém rozsahu měnit fyzikální vlastnosti vulkanizátu. Dělí se na neaktivní a aktivní. Neaktivní plniva mají malý nebo žádný ztužující účinek. Aktivní plniva vynikají vysokým ztužujícím účinkem. Plniva výrazně zvětšují objem směsi a tím snižují její cenu. Zároveň upravují a zlepšují další fyzikální vlastnosti jako je tuhost, tvrdost či pevnost směsi, nebo tlumení vibrací, proto jsou téměř všechny gumárenské výrobky plněné. [10, 12]

Dalšími přísadami do kaučukových směsí jsou antioxidanty, změkčovadla retardéry navulkanizace a další.[7]

Antioxidanty jsou prostředky proti stárnutí. Lze je dále dělit na antidegradanty a antiozonanty. Do směsí se přidávají ke zvýšení životnosti výrobků. [12, 13]

Změkčovadla usnadňují dispergaci přísad, snižují spotřebu energie při zpracování a zlepšují tvarování. Nejčastější změkčovadla jsou parafín, stearín, minerální oleje, kalafuna a další. [9, 14, 15]

Retardéry navulkanizace zabraňují předčasnému zahájení procesu vulkanizace. K tomu může docházet při průběhu zpracování za zvýšené teploty nebo při skladování či mezioperačních časech. [3, 13]

Dalšími přísadami jsou látky se speciálními vlastnostmi, jedná se o pigmenty obarvující směs, faktisy zlepšující zpracovatelnost a dodávající hladší povrch zpracovávaného výrobku, nadouvadla vytvářející lehčené pryžové výrobky a další možné přísady.[3, 7, 9]

1.3 Pryž

Přídavkem Vulkanizačního činidla do kaučukové směsi lze za určitých podmínek převést viskózní kaučukovou směs na elastickou pryž. Tento proces se nazývá vulkanizace.

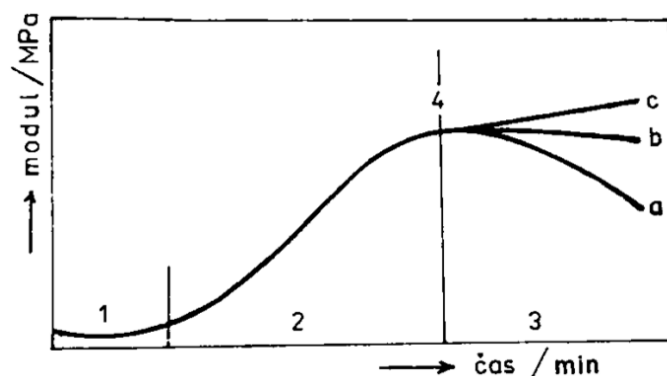
Vulkanizace je fyzikálně chemický děj, při kterém dochází účinkem vulkanizačních činidel ke strukturním změnám v kaučukové směsi. Vulkanizace kaučukové směsi je velmi složitý tepelný proces, při kterém se makromolekuly kaučuku spojují v náhodných místech makromolekul a vzniká tak řídká síť. Síťováním se kaučuková směs, která byla původně plastická, lepkavá a rozpustná vykazující termoplastické chování, mění na pevný, elastický, nerozpustný a chemicky odolnější materiál – pryž. Vulkanizace je časově a energeticky nejnáročnější část výroby pryžových výrobků. Probíhá za zvýšené teploty a tlaku. Tlak během procesu vulkanizace je nutný pro zamezení vzniku pórů ve výrobcích, které se vlivem plynů tvoří. Plyny se uvolňují ze směsi při vulkanizační teplotě. Velikost tlaku tedy ovlivňuje kvalitu výrobku. [16, 17]

Vulkanizace způsobuje změnu mechanických a chemických vlastností, ale také zlepšení fyzikálních vlastností jako je vyšší pevnost v tahu, odolnost proti trhání, odolnost proti oděru, větší pružnost, ale zároveň menší tažnost. Další výhodou vulkanizace je větší odolnost vulkanizátu proti změně teplot. [18]

Zjistilo se, že vulkanizace dosáhne v určitém čase optimální fáze. Po této době pevnost a další vlastnosti opět klesají. Optimální dobou vulkanizace nejčastěji uvažujeme takovou dobu, kdy je dosaženo 90% změny. Celý vulkanizační proces se proto zkouší v laboratořích, aby byly vulkanizací získány co nejlepší vlastnosti. [17]

Vulkanizace se provádí na různých zařízeních, jako jsou hydraulické nebo rotační lis, vulkanizace v kotli, tunelech nebo komorách. U provozní vulkanizace se používá jako topný prostředek pára, vzduch, voda, odporové, dielektrické vyhřívání nebo infračervené záření. Kvalitní vulkanizát se získá stejným prohřátím celé kaučukové směsi. [3, 7]

Doba vulkanizace je závislá na teplotě při daném složení směsi. Teplotní koeficient vulkanizace stanovuje vztah teploty a doby vulkanizace. Tento koeficient udává, kolikrát se zkrátí doba vulkanizace při zvýšení teploty o 10 °C. Dle druhu směsi jsou hodnoty od 1,8 do 2,5. Vyšší teplota však vede k degradaci pryže nebo znehodnocení výztuže pryžového výrobku. Vulkanizační proces se může rozdělit do tří etap podle obrázku. [17, 19]



Obr. 2 Vulkanizační křivka [19]

Bezpečnost směsi proti navulkanizování (oblast 1) je doba, kdy vlastní síťovací reakce při zvýšené teplotě ještě neprobíhá. Umožňuje zpracování směsi na polotovary za zvýšené teploty, i když směs nevulkanizuje a nezhoršují se tak tokové vlastnosti. Vhodně zvolit bezpečnost směsi je ekonomicky velmi významné. Pokud by byla bezpečnost příliš dlouhá, prodloužila by vulkanizační cykly. Bezpečnost se nastavuje urychlovači nebo kombinací urychlovačů a inhibitorů. Bezpečnost se volí jako součet všech potřebných časů probíhajících za vyšší teploty a k tomu je přidána malá časová rezerva pro případné nepravidelnosti v procesu zpracování.[3, 17]

Síťování (oblast 2) je fáze, ve které se vytváří prostorová síť. V této době se zlepšují vlastnosti vulkanizátu. Rychlost síťování má největší vliv na dobu vulkanizace a je závislá na použitém systému vulkanizace. [3, 13]

Optimum vulkanizace (oblast 4) se vyjadřuje v minutách a je to doba, v níž jsou sledované vlastnosti vulkanizátu nejlepší. Pokud zvýšíme vulkanizační teplotu, snížíme dobu pro dosažení optima. Zároveň se ale zkrátí doba bezpečnosti směsi.[3, 13, 17]

V oblasti 3 mohou nastat různé situace. Úsek vulkanizační křivky, kde dochází k poklesu síťové hustoty, se nazývá reverze (křivka a). Reverze je nežádoucí, protože během ní dochází k trhání prostorové sítě a zhoršení kvality výrobků. Některé kaučukové směsi mohou i po dosažení optima zvyšovat svou hustotu sítě, což vede k nežádoucímu tuhnutí výrobků (křivka c). Technologové se snaží, aby doba optima byla co nejširší (křivka b). [3, 13, 17]

1.4 Technologie zpracování polymerních materiálů

Technologie zpracování polymerních materiálů je důležitou částí procesu výroby. Základní podstatou procesu je vstupní materiál přetransformovat vhodnou technologií na finální produkt. Volba technologie je závislá na zpracovatelských vlastnostech materiálu, dále na tvaru a funkci výrobku. [1]

Jak již bylo popsáno výše, polymerní materiály se dělí na termoplasty, reaktoplasty a elastomery. U termoplastů probíhá při zpracování fyzikální změna, kdy se zvýšením teploty stává materiál tekutý a lze mu vnějšími silami určit tvar. Po ochlazení materiál

ztuhne a vytvoří tak finální výrobek. U reaktoplastů a elastomerů probíhá při zpracování chemická reakce, díky které se v materiálu vytvoří vazby (prostorová hustě či mírně zesíťovaná struktura). Tím se materiál stává pevným (reaktoplasty) případně pružným (elastomery).[1]

Při zpracování termoplastů se nejčastěji využívá technologií vstřikování a vytlačování. Naproti tomu při zpracování reaktoplastů a elastomerů se využívá lisování a přetlačování. [1]

Základní technologie zpracování polymerů se zaměřením na pryže jsou popsány v následujících podkapitolách.[15, 16]

1.4.1 Lisování

Lisování je proces tváření polymerních hmot v uzavřené dutině formy za působení tlaku a teploty. Lisování lze využít jak u termoplastů tak i reaktoplastů a kaučuků. Díl vyrobený lisováním se nazývá výlisek. Tvar konečného výlisku je dán formou, která může být buď samostatně vkládána do pracovního prostoru stroje, nebo je přímo jeho součástí.

Lisování lze dělit několika způsoby. Nejčastější je následující dělení:

Dělení dle velikosti lisovacího tlaku:

- Nízkotlaké
- Vysokotlaké

Dělení dle průběhu pracovního procesu:

- Cyklické
- Kontinuální

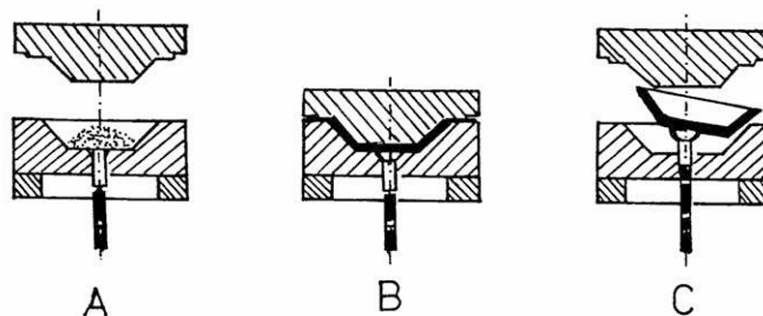
Nejčastěji používaným procesem je cyklické lisování. Na začátku lisovacího cyklu se otevřená dutina formy naplní vhodně upraveným materiálem. Forma se uzavře a za působení tlaku vyplní materiál dutinu formy. Aby bylo dosaženo vyplnění celé dutiny formy, je potřeba počítat s větším množstvím materiálu, který odchází přes odtokové kanálky a vytváří tak přetok (výronek). Ten je po ukončení cyklu nutno odstranit v další operaci. Dostatečně vysoká teplota hraje důležitou roli pro správné tečení materiálu. Ustálení tvaru výrobku je způsobeno chemickou změnou (vytvrzením, vulkanizací) nebo fyzikální změnou (ochlazením) hmoty. Tečením se uskutečňuje proces tváření a je způsobeno vnějšími silami. Průběh tečení ovlivňuje i velikost tlaku. [3, 16]

Stabilizace tvaru výlisků je různá podle použitého materiálu. V případě reaktoplastů a kaučukových směsí probíhá chemická reakce již při lisování, jsou-li zajištěny vhodné technologické podmínky. U termoplastů se dosahuje ustálení tvaru ochlazením ve formě. Teprve po ochlazení je možné výlisek vyjmout z formy. Lisování je vhodné jen pro polymery, u kterých celý postup lisování probíhá při stejné teplotě, což jsou především reaktoplasty a kaučukové směsi. Pokud lisujeme termoplasty, je nutné formu střídavě ohřívat a chladit, což vede k větší spotřebě energie a tento postup je neekonomický.[3, 16, 17]

Kaučukové směsi pro lisování musí splňovat dobré tokové vlastnosti a mít vhodný vulkanizační systém. Připravená navážka musí splňovat požadovaný tvar, který by měl být co nejvíce přizpůsobený tvaru budoucího výlisku. Tímto opatřením se směs ve formě nemusí příliš přemísťovat a je dosaženo vyplnění formy. Hmotnost navážky se volí s ohledem na dostatek místa pro materiál k vyplnění dutiny formy a na přetok normální velikosti. [8, 16]

Před vložením navážky je nutné formu očistit a případně aplikovat separační prostředek umožňující vyjmutí hotového dílce. Samotné vkládání navážky a uzavírání formy musí být co nejrychlejší, aby nedošlo k povrchovému navulkanizování kaučukové směsi. Při vyplňování formy se mohou tvořit plyny. Při nesprávném návrhu odvodu vzduchu formy se mohou vytvořit nežádoucí vady, jako např. puchýřky, zhoršení lesku, vtaženiny a další. Často tyto plyny unikají samočinně kvůli netěsnosti formy. [3, 8, 16]

Po vyjmutí z formy se výrobek smrští přibližně o 1,5 %, je tedy důležité, aby byla dutina větší. Smrštění výrobku většinou klesá s rostoucím obsahem plniv. Tlakové lisování má spoustu nevýhod, jako např. nepřesné uložení do dutiny nebo vkládání studených předlisků. Při vkládání studeného předlisku může dojít k nestejnému vyplnění formy, a zároveň se vytváří nestejně velké přetoky. Dalším krokem výroby je odstranění přetoků, případně jejich opracování, což má za následek zvyšování nákladů. [8, 16, 17]

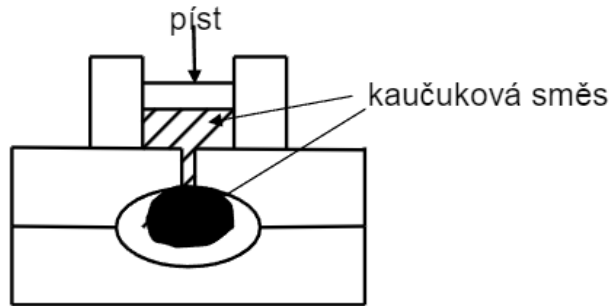


A -plnění formy, B -vlastní lisování, C -vyjímání výlisku z formy

Obr. 3 Schéma technologie lisování [8]

1.4.2 Přetlačování

Přetlačování je výrobní proces, při kterém je kaučuková směs vtlačována do uzavřené formy vstřikovacími kanálky. Samotné vtlačování probíhá pomocí pístu. Tento způsob umožňuje přesnější nastavení množství použitého materiálu, protože forma je již v době vstřiku uzavřená. Smyková napětí vznikající ve směsi při tečení přes kanálky směs ohřívají a snižuje se tak její viskozita. Směs s nižší viskozitou snadněji vyplňuje dutinu formy a zvýšená teplota také urychluje vulkanizaci. Výhodou tohoto procesu výroby je, že odpadá vkládání předlisků do formy. Nevýhodou je ale složitější forma a výrazně vyšší potřebný tlak vyvinutý na směs než v případě přímého lisování. [8, 17]



Obr. 4 Schéma technologie přetlačování [17]

1.4.3 Vstříkování

Vstříkování je proces zpracování polymerních hmot, využívaný zejména ke zpracování termoplastů. Prostřednictvím různých inovací se však stalo jedním z nejúčinnějších způsobů, jak v mnoha případech vyrábět pryžové výrobky. Před samotným naplněním formy je směs plastikována šnekem, který materiál zároveň posouvá vpřed směrem k dutině formy. V gumárenském odvětví se používá krátký šnek a materiál je dodáván do vstříkovacího stroje nejčastěji ve formě pásků. Dutina formy může být naplněna otáčením šnekového mechanismu nebo pístem. Při procesu vstříkování vzniká vysoká vstříkovací rychlost, která způsobuje disipační ohřev. Ten zapříčiňuje snížení viskozity a zároveň i kratší vulkanizaci. Po vstříknutí do dutiny je obvykle teplota dostatečně vysoká na to aby ihned započala vulkanizace, což zkracuje pracovní cyklus. Nevýhodou jsou vysoké počáteční náklady na stroje i nástroje a fakt, že ne všechny produkty lze vyrobit vstříkováním (např. pneumatiky) a nehodí se pro velké objemy jako při lisování.[8, 16, 17]

2 TESTOVÁNÍ POLYMERŮ

V kapitole testování polymerů budou uvedeny základní zkoušky vlastností polymerních materiálů a dále jejich zkoušky mechanických vlastností se zaměřením na testování pryžových výrobků.

Při výběru polymeru k výrobě konstrukčních součástí je důležitá znalost jeho fyzikálních, mechanických, chemických, tepelných, technologických a dalších vlastností, které jsou pro daný účel nejdůležitější. Vlastnosti polymerů ovlivňují zejména:

- Chemické složení
- Tvar, velikost a uspořádání makromolekul
- Přísady
- Podmínky prostředí (teplota, vlhkost, UV záření)
- Technologické podmínky zpracování polymeru
- Způsob, velikost a doba zatěžování

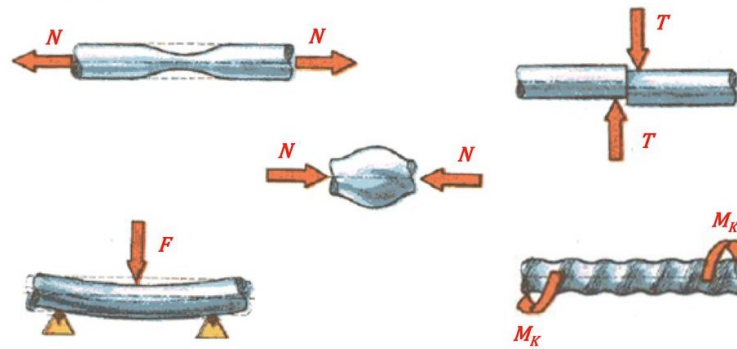
Základní vlastnosti polymerů lze nalézt v jejich materiálovém listě. Ten obsahuje informace o typu polymeru, jeho složení a zpravidla také základní fyzikální, chemické, tepelné, elektrické a další vlastnosti důležité pro správný výběr konstrukčního materiálu ale i k hodnocení kvality výrobku. Znalostmi těchto vlastností lze snadněji a správně nastavit proces výroby a předcházet možným výrobním vadám a defektům.[1]

2.1 Základní mechanické vlastnosti

Základní mechanické vlastnosti materiálů jsou:

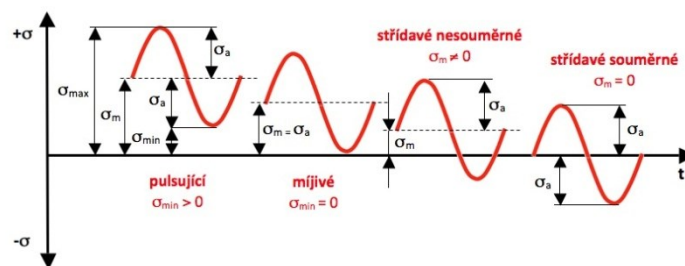
- Pevnost - je odpor materiálu proti deformaci a porušení při působení vnějších sil
- Tvrdost - je odpor materiálu proti vnikání cizího tělesa
- Pružnost - je schopnost materiálu vykazovat před jeho porušením plastickou deformaci
- Houževnatost - je schopnost materiálu odolávat bez porušení velkým napětím, udává jeho odolnost proti křehkému lomu
- Únava materiálu – nejčastěji při cyklickém namáhání. Často dochází k náhlému porušení součásti, i když zatěžující síla ještě nedosáhla statické pevnosti materiálu.
- Viskoelasticita (tečení a relaxace) - tečení materiálu se projevuje nárůstem plastické deformace v závislosti na teplotě, případně velikostí napětí

Základní druhy namáhání jsou tahem, tlakem, krutem, stříhem a ohybem. Tato namáhání mohou působit jednotlivě nebo kombinovaně. Materiál tedy může být vystaven tzv. složenému namáhání.[20]



Obr. 5 Základní druhy namáhání [1]

Existuje velké množství různých druhů zkoušek konstrukčních materiálů. Zkoušky se liší jak druhem zatěžování, tak i podmínkami okolí (teplota, chemické působení, ...). Testováním materiálů nám umožňuje získat informace o jejich vlastnostech, což je nutné oblast použití zkoušeného materiálu. Zkoušky lze provádět přímo na vyrobené součásti, nebo na vzorcích připravených ze zkoušeného materiálu. Z hlediska působící síly rozeznáváme zkoušky statické, kdy zatěžující síla pozvolna roste od nulové hodnoty a dynamické zkoušky rázové nebo cyklické kdy síla působí na zkoušený materiál velice rychle v rázech nebo stále se opakujících cyklech. [20, 21]



Obr. 6 Časové průběhy dynamického namáhání [1]

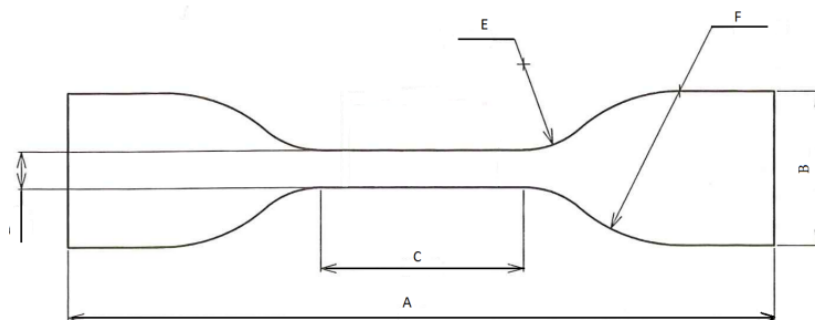
Mezi nejčastěji používané zkoušky mechanických vlastností pryží patří:

- Zkouška v tahu
- Zkouška tvrdosti
- Zkouška odolnosti vůči opotřebení
- Zkouška odrazové pružnosti [14, 22]

2.1.1 Zkouška v tahu vulkanizovaných elastomerů

Norma popisuje metodu pro stanovení tahových vlastností pryže z vulkanizovaných nebo termoplastických elastomerů. Vyhodnocovanými vlastnostmi mohou být tahové napětí, tažnost, napětí při daném prodloužení, prodloužení při daném napětí, mez skluzu a prodloužení na mezi skluzu. Měření tlaku se používá jen u některých termoplastických elastomerů jiných směsí.

Zkušební tělesa tvaru oboustranných lopatek nebo kroužků jsou protahovány v trhacím stroji při konstantní rychlosti. Jsou uchyceny buď v upínacích čelistech, nebo na kladkách.



Obr. 7 Rozměry zkušební tělesa typu oboustranných lopatek [23]

Rozměry mm	Typ 1	Typ 1A	Typ 2	Typ 3	Typ 4
A Celková délka (minimální) ^a	115	100	75	50	35
B Šířka lopatek	25 ± 1	25 ± 1	12,5 ± 1,0	8,5 ± 0,5	6 ± 0,5
C Délka zúžené části	33 ± 2	21 ± 1	25 ± 1	16 ± 1	12 ± 0,5
D Šířka zúžené části	6,2 ± 0,2	5 ± 0,1	4 ± 0,1	4 ± 0,1	2 ± 0,1
E Přechodový poloměr vnější	14 ± 1	11 ± 1	8 ± 0,5	7,5 ± 0,5	3 ± 0,1
F Přechodový poloměr vnitřní	25 ± 2	25 ± 2	12,5 ± 1	10 ± 0,5	3 ± 0,1

^a K zajištění, aby se do kontaktu s čelistmi upínacího stroje dostaly pouze rovnoběžné části rozšířených konců, může být nutná větší celková délka. Vyloučí se tak trhání zkušebních těles v rozšiřujících se částech.

Tab. 1 Rozměry zkušebních tělísek tvaru oboustranných lopatek [23]

Výsledkem zkoušky je vytvoření tahové křivky, která popisuje průběh testování. Výsledné hodnoty tahové zkoušky jsou: tahové napětí, tažnost, napětí při daném prodloužení, prodloužení při daném napětí, mez kluzu a prodloužení na mezi kluzu. [13, 14, 23]

2.2 Zkouška tvrdosti

Tvrdot polymerů je důležitá mechanická charakteristika, obecně nejvyšší tvrdosti vykazují reaktoplasty, nejnižší naopak kaučuky. Základní princip zkoušek tvrdosti je vtlačování vnikajícího tělíska určitou silou do povrchu zkušební vzorku. Jednotlivé metody se mohou lišit ve tvaru zkušební tělíska a velikosti zatěžující síly. Jelikož polymerní materiály vykazují plastickou i elastickou deformaci, vyhodnocuje se hloubka vtisku po určité době a při zatížení. Po odlehčení totiž dochází k elastickému zotavení. [1]

Pro měření tvrdosti polymerů lze vybírat z široké škály metod. Mezi nejčastější lze zařadit:

- Metoda vtlačování kuličky
- Metoda Rockwell
- Metoda Shore
- Metoda IRHD

U pryží jsou nejrozšířenější dva typy zkoušek tvrdosti a to stanovení tvrdosti vtlačováním dle Shore a stanovení tvrdosti IRHD.

2.2.1 Zkouška tvrdosti vulkanizovaných elastomerů, tvrdost dle Shore

Pro stanovení tvrdosti vtlačováním (tvrdost Shore) pro vulkanizované nebo termoplastické elastomery pomocí tvrdoměrů se využívá následujících stupnic:

- Stupnice A pro pryže s normálním rozsahem tvrdosti;
- Stupnice D pro pryže s vysokým rozsahem tvrdosti;
- Stupnice AO pro pryže a pro lehčené pryže s nízkým rozsahem tvrdosti;
- Stupnice AM pro tenká zkušební tělesa s normálním rozsahem tvrdosti

Principem zkoušky je měření hloubky vtlačení specifikovaného zkušebního hrotu tvrdoměru do materiálu za stanovených podmínek.

Dle normy se vybírá vhodný typ tvrdoměru podle následujících kritérií:

- Pro hodnoty menší než 20 při použití tvrdoměru typu D: typ A;
- Pro hodnoty menší než 20 při použití tvrdoměru typu A: typ AO
- Pro hodnoty vyšší než 90 při použití tvrdoměru typu A: typ D;
- Pro tenká zkušební tělesa (tloušťka je menší než 6 mm): typ AM

Tvrdoměry typu A, D, AO a AM se skládají z opěrné patky, zkušebního hrotu tvrdoměru, indikačního zařízení, kalibrované pružiny, automatického zařízení pro měření času a stojanu.[1, 14, 24]

2.2.2 Zkouška tvrdosti vulkanizovaných elastomerů tvrdost IRHD

Zkouška obsahuje čtyři metody pro stanovení tvrdosti vulkanizovaných nebo termoplastických elastomerů s plochými povrchy (standardní metody pro měření tvrdosti) a čtyři metody pro stanovení zdánlivé tvrdosti zakřivených povrchů (metody měření zdánlivé tvrdosti). Tvrdost je vyjádřena v mezinárodních stupních tvrdosti (IRHD z anglického International Rubber Hardness Degree) v rozsahu 10 – 100 IRHD.

4 metody pro standardní měření tvrdosti:

- Metoda N – normální zkouška – pro pryže o tvrdosti v rozsahu 35 – 85 IRHD
- Metoda H – pro vysoké tvrdosti - pro pryže o tvrdosti v rozsahu 85 – 100 IRHD
- Metoda L – pro nízké tvrdosti - pro pryže o tvrdosti v rozsahu 10 – 35 IRHD
- Metoda M – mikrozkouška – možnost zkoušení malých a tenkých zkušebních těles, pro pryže o tvrdosti v rozsahu 30 – 90 IRHD

4 metody pro měření zdánlivé tvrdosti - CN, CH, CL a CM typy, které jsou modifikací metod N, H, L, M, pro případy, kdy povrchy zkoušených těles jsou zakřiveny.

Princip zkoušky tvrdosti spočívá v měření rozdílů mezi hloubkou vtlacení kuličky do pryže při malé kontaktní síle a velké (vtlačovací) síle. Zkušebními zařízeními pro metody N, H, L a M jsou vertikální indentory, zařízení pro vyvození kontaktní síly, zařízení pro měření zvětšení hloubky vtisku, plochá přítlačná patka tvaru mezikruží, zařízení pro mírné vibrování přístroje a temperační komory pro zkušební těleso. Pro metody CN, CH, CL a CM jsou prakticky stejné zařízení lišící se jen minimálně. Jako výsledek zkoušky je brán medián jednotlivých měření, který je zaokrouhlen na nejbližší celé číslo a označeným symbolem stupně (°). Stupnice tvrdosti je zvolena tak, že „0“ představuje tvrdost materiálu s nulovým Youngovým modulem.[13, 14, 25]

2.2.3 Zkouška odolnosti vůči oděru pryže

Zkouška odolnosti vůči oděru definuje metodu stanovení odolnosti pryže proti odírání na přístroji s otáčivým bubnem. Metoda spočívá ve výpočtu objemového úbytku pryžového zkušební tělesa při jeho odírání na specifikovaném odíracím prostředku. Principem zkoušky je odírání zkušební vzorku zatíženého specifickým přtlakem na otáčivém bubnu, který rotuje danou rychlostí. Vzorek se posouvá ve směru osy bubnu po jeho abrazivním povrchu a stanoví se úbytek hmotnosti zkušební tělesa, vypočítá se úbytek objemu z hustoty materiálu. [3, 13, 26]

Přístroj se skládá z pohyblivého držáku pro uchycení zkušební tělesa a otáčivého bubnu. Otáčivý buben je pokryt odíracím prostředkem (brusnou tkaninou). Dále se používají válcové rotační nože určené pro přípravu zkušebních těles a laboratorní váhy ke stanovení úbytku hmotnosti zkušební tělesa. Zkušební těleso k této zkoušce má tvar válce o daném průměru a výšce. Zkušební tělesa jsou připravena vulkanizací v tvárnících nebo vyřezáváním pomocí rotačních nožů. Výsledné hodnoty odírání mohou být vyhodnoceny jako relativní úbytek objemu anebo jako index odolnosti proti odírání.[14, 26]

2.2.4 Zkouška odrazové pružnosti pryže

Pomocí zkoušky se stanoví odrazová pružnost zkoušené pryže. Zkouška je prováděna na přístrojích typu Lüpke a Schob. Lze ji použít pro pryže, jejichž tvrdost je při teplotě zkoušky v rozmezí 30 až 85 IRHD. Stanovením odrazové pružnosti se posuzuje schopnost pryžového materiálu absorbovat nebo vracet mechanickou energii při deformaci rázem. Hodnota odrazové pružnosti se mění v závislosti na teplotě a rozměrech vzorku a dále na typu použitého kyvadla. Princip zkoušky je stanovení vráceného podílu energie při nárazu kyvadla. Na stupnici přístroje se určí výška, do které se kyvadlo vlivem pružnosti zkoušeného materiálu odrazí a kyvadlo se nechá dopadat na zkoušené těleso. Zkušební zařízení se skládá z kyvadla, temperačního zařízení, stupnice nebo elektronického snímání naměřených dat a dopadové tuhé plochy s upínacím zařízením.[3, 14, 27]

Kyvadlo podle Lüpkeho tvoří válcovitá tyč zakončená kulovitým tvarem a zavěšená na čtyřech nitích. Kyvadlo podle Schoba je tvořena z pevného kladiva, zakončeného nárazníkem kulovitého tvaru. Jako zkušební tělesa se používají vyseknuté kruhy pryže s daným průměrem a tloušťkou. Výsledkem je poměr výšky odrazu kyvadla po nárazu k

výšce zdvihu kyvadla ve výchozím postavení, který udává hodnotu pružnosti, vyjádřené v %.[27, 28]

3 VULKANIZAČNÍ FORMY

Vulkanizační formy jsou nástroje určené ke zpracování polymerních materiálů. Jejich úkolem je dodat materiálu ve formě kapaliny či viskózní směsi požadovaný tvar a rozměry.

3.1 Obecné informace

Vulkanizační formy jsou při používání vystaveny náročným podmínkám. Pracují za zvýšeného tlaku, musí odolávat rychlým změnám teplot a zároveň udržet požadovaný tvar a rozměry. Jejich povrch přichází do kontaktu se zpracovávaným materiálem, který může působit agresivně, povrch formy tak musí odolávat chemickému působení a korozi. Proto je potřeba zvolit vhodný materiál. Dále je kladen důraz na konstrukci formy, která musí splňovat následující požadavky. Mezi ně patří jednoduché složení i rozložení formy a vyjímání výrobků. Snadné čištění povrchu formy od přetoků a zbytků materiálu. Vhodně zvolený systém vtokových a odvzdušňovacích kanálů, vznik minimálních přetoků a zajištění rychlého a úplného vyplnění dutiny formy. [22]

3.2 Rozdělení vulkanizačních forem

Vulkanizační formy lze dělit dle několika hledisek, nejčastější dělení budou popsány níže.

- Dělení dle skupiny výrobků
 - Plášťové formy
 - Dušové formy
 - Membránové formy
 - Protektorovací formy
 - Formy na ochranné vložky
 - Formy na výrobky z technické pryže
- Dělení dle způsobu plnění formy
 - Lisovací
 - Vstřikovací
- Dělení dle uspořádání dělicích rovin
 - Dvoudílné
 - Vícedílné
 - Segmentové
- Dělení dle materiálu formy
 - Ocelové
 - Hliníkové
 - Kombinované

- Dělení dle způsobu výroby dezénové části formy
 - Odlévané
 - Frézované
 - Kombinované
- Dělení dle způsobu ohřevu dutiny formy
 - S komorovým ohřevem
 - Bez komorového ohřevu[22]

3.3 Materiály používané k výrobě vulkanizačních forem

Vulkanizační formy během používání odolávají vysokým teplotám, tlakům, separačním prostředkům či působení chemických látek uvolňovaných ze zpracovávané směsi, proto je kladen důraz na volbu vhodného materiálu. Každá část formy má jinou funkci a jsou proto také odlišné požadavky na použitý materiál. [16]

Vhodný materiál k výrobě vulkanizačních forem musí splňovat následující požadavky. Vykazovat dobrou obrobiteľnosť, zvýšenou odolnosť proti oděru a tlaku, stálost rozměrů, vhodnými fyzikálními a mechanickými vlastnostmi, odolností proti korozi a chemickým vlivům použitých směsí. [16]

3.3.1 Oceli

Oceli jsou slitiny železa s uhlíkem (do obsahu uhlíku 2,14 %) a dalšími legujícími prvky jako jsou mangan, křemík, chrom, nikl, molybden, vanad, wolfram, titan, měď, fosfor či síra. Je to základní materiál k výrobě forem ke zpracování polymerních materiálů. Formy vyrobené z oceli vynikají vysokou přesností a životností.[22]

Vulkanizační forma je podle složitosti vyrobena a sestavena z mnoha jednotlivých dílců. Části přicházející do kontaktu se zpracovávaným materiálem či pohybující se díly se vyrábějí z nástrojových ocelí či ocelí vyšší jakosti, které jsou určeny k tepelnému či dalšímu zpracování. Naopak méně namáhané díly jako rozpěrné a opěrné desky jsou z ekonomického hlediska vyráběny z konstrukčních ocelí nižší jakosti.[22]

Pro výrobu forem se běžně používají následující nástrojové oceli:

1.1730 – vhodná pro kolíky, pouzdra, základové desky, sloupky

1.2080 – vhodná pro velké série, má dobrou odolnost proti opotřebení

1.2312 – dobře obrobiteľná, nitridovatelná, vhodná pro výrobu tvarových desek formy

1.2379 – vhodná pro velké série, má velkou odolnost proti opotřebení

1.2842 – vhodná pro velké série, má velkou odolnost proti opotřebení

Ocelové formy jsou náročné na strojní vybavení a samotnou výrobu. Tyto skutečnosti vedou k vysoké výrobní ceně. Je možné je obrábět konvenčními metodami

obrábění jako soustružení, frézování, lze však použít i nekonvenční metody obrábění např. elektroerozivní, obrábění laserem či ultrazvukem. Výhodou ocelových forem je jejich životnost a nízké riziko poškození oproti jiným materiálům. [22, 29]

3.3.2 Slitiny hliníku

Slitiny hliníku se vyznačují dobrou pevností za nízké měrné hmotnosti. Některé slitiny hliníků jsou, tedy co se týče měrné pevnosti charakteristiky, srovnatelné s ocelí. Slitiny mají zároveň dobrou odolnost proti korozi (pokud neobsahují Cu) a kyselým látkám. Slitiny hliníku hůře odolávají alkalickým látkám. Další nevýhodou je nízká tvrdost, což vede ke snadnému poškození povrchu. Nevýhodou je také obtížné leštění slitin a horší třískové obrábění. Slitiny hliníku se nejčastěji vyskytují spolu s Cu, Mg, Si, Mn, Zn. [22, 30]

Každý prvek ve slitinách hliníku způsobuje odlišné vlastnosti. Nejznámější slitinou je slitina mědi s hořčíkem a nazývá se dural a má horší odolnost proti korozi. Časté jsou také slitiny hliníku a hořčíku, jenž oproti mědi zlepšuje odolnost proti korozi a zároveň zlepšuje pevnost. Podobné vlastnosti má i slitina hliníku a manganu či křemíku. Slitina hliníku a zinku má vyšší pevnost, zhoršuje se ale houževnatost a také odolnost proti korozi. Slitina hliníku se železem má podobné vlastnosti jako slitina hliníku se zinkem, ale zlepšuje také tvárnost. [22, 30, 31]

3.3.3 Ostatní materiály

Mezi ostatní materiály používané k výrobě forem lze zařadit pryskyřice či laserem spékané prášky. Pomocí těchto materiálů lze vyrábět prototypové formy, aby se ověřila např. funkčnost výrobku.

Pryskyřicové formy jsou určeny pouze na výrobu několika kusů výrobků. Formy vyráběné spékáním prášku jsou vyráběné pomocí technologie 3D tisku. Lze tak vyrábět tvarově velmi složité formy, které konvenčními způsoby obrábění nelze vyrobit. [30, 31]

3.4 Povrchové úpravy vulkanizačních forem

Povrchové úpravy vulkanizačních forem se provádí nejčastěji za účelem zvýšení životnosti či zlepšení separačních vlastností. Zvýšením životnosti rozumíme zlepšení mechanických vlastností a zvýšení chemické odolnosti. Mezi hlavní povrchové úpravy můžeme zařadit kalení povrchu dutiny formy anebo jeho pokrytí vrstvou jiného kovu.

3.4.1 Kalení

Provádí se u ocelí. Zakalením se zvýší tvrdost a tím i odolnost vůči oděru. Dále se zvýší rozměrová stálost a odolnost vůči korozi. Nevýhodou je zvýšení křehkosti, a tak náchylnosti k praskání vlivem vnitřního tahového napětí v materiálu. Podmínkou možnosti kalení je dostatečné množství uhlíku (min 0,2 % C). Nejčastěji se provádí povrchové kalení do hloubky několika desetin až jednotek milimetrů. Takto vznikne tvrdá a odolná povrchová vrstva se zachováním houževnatého jádra formy.[30]

3.4.2 Chromování

Chromování je nejčastější povrchovou úpravou u gumárenských forem. Chromováním se zvýší odolnost proti oděru, korozi a vyšším teplotám. Výhodou je také snadná separace, používá se tak pro výrobky, u kterých je požadavek na kvalitní povrch. Formy ošetřené chromováním nejsou vhodné pro halogenové kaučuky, protože vytvořený oxid na povrchu formy propouští kyselinu chlorovodíkovou a fluorovodíkovou. [30]

3.4.3 Niklování

Niklováním získáme povrch odolný kyselinám. Využívá se také kombinace niklování a následně chromování kdy niklová vrstva slouží jako podkladní a na ni je nanesena finální vrstva chromu. Takto ošetřený povrch formy je odolný vůči korozi. Samotná vrstva niklu je nevhodná k ošetření povrchu vulkanizačních forem a to z důvodu horších separačních vlastností niklu od pryžových výrobků. [30]

3.4.4 Laserové zpracování

Princip spočívá v natavení horní vrstvy opracovaného povrchu formy. Roztavený kov se slije do kompaktní vrstvy, která nevykazuje výstupky a prohlubně po třískovém obrábění, tím je snížena hodnota drsnost povrchu a zlepši se odolnost proti korozi a znečištění. [30]

3.4.5 Povlakování PVD

Proces povlakování metodou PVD (z anglického Physical Vapour Deposition) probíhá při teplotách od 150 do 500 °C. Jedná se o fyzikální princip napařování. Z možných způsobů povlakování je tato metoda nejekologičtější, neboť se při deponování neuvolňují toxické látky a nepoužívá se žádný nebezpečný materiál. Původní použití metody PVD bylo k úpravě nástrojů k třískovému obrábění, zejména rychlořezné oceli a slituté karbidy. Dnes se povlakování stále častěji používá i pro formy ke zpracování polymerů a kaučuků.

Princip metody PVD spočívá v odpaření či odprášení pevné látky v řízené atmosféře za sníženého tlaku kolem 0,1 až 10 Pa. Do pracovní vakuové komory je vypuštěn pracovní plyn např. argon či dusík. Proces lze rozdělit na tři na sebe navazující fáze:

- Převedení deponovaného materiálu do plynné fáze
- Transport par deponovaného materiálu ze zdroje k substrátu
- Tvorba vrstvy na povrchu substrátu

Vzniklá vrstva vyniká vysokou tvrdostí a odolností vůči oděru, chemickému působení a korozi. Dále je snadnější separace výrobku z dutiny formy. [32]

3.4.6 Povlakování CVD

Povlakování metodou CVD (z anglického Chemical Vapour Deposition) je chemický proces, při kterém dochází k reakcím chemických sloučenin na povrchu

substrátu. Chemické sloučeniny jsou přiváděny v plynné fázi do reakční komory, kde reagují s pevnou fází materiálu určeného k povlakování. Proces CVD povlakování probíhá při vyšších teplotách kolem 900 až 1050 °C a sníženém tlaku 50 až 500 mbar. K nanášení CVD povlaků se používají zpravidla tvrdé vysokotavitelné sloučeniny karbidů, nitridů a oxidů.[32]

3.5 Životnost vulkanizačních forem

Životnost formy je důležitý parametr určující, jak dlouho lze nástroj provozovat při výrobě, aniž by výrobky vykazovaly jiné než požadované parametry. Na životnost vulkanizačních forem má vliv mnoho faktorů. Mezi nejvýznamnější patří použitý materiál formy a jeho zpracování, konstrukce formy, vulkanizační činidla, čištění forem, skladování forem, manipulace, konzervování, opravy forem a další. Životnost formy se dělí do tří skupin.[22]

- Ekonomická životnost – znamená postupné odepisování formy až do její nulové hodnoty.
- Morální životnost – vyznačuje se inovačními cykly pláštů a je pro každou skupinu výrobků rozdílná. Méně exponované pláště, např. diagonální znamenají formy staré i více než 15 let. Oproti tomu pro moderní radiální pláště pro osobní automobily se obměna forem blíží hranici 4 let.
- Technická životnost – tento parametr je pro hodnocení životnosti nejpoužívanější a vyjadřuje se počtem pracovních cyklů na jednu formu. Počítačové řízení výroby umožňuje přesnou evidenci.[22, 30]

3.6 Chemické prostředky používané k separaci pryže

Při zpracování kaučukových směsí ale i polymerních materiálu se u většiny technologií potýkáme s problémem lepení materiálu na nástroje a další součásti zpracovatelských strojů. Nejčastěji se tento problém vyskytuje u technologií lisování, vstřikování a tepelné svařování. K snadnějšímu vyjmutí výrobků z forem se volí jejich vhodná konstrukce, tzn. zkosené úhly, průchody atd. Dále je to dokonale lesklý, čistý a bezvadný povrch nástroje. V neposlední řadě je to i volba vhodného polymeru s malým koeficientem tření. I přes dodržení těchto pravidel, může docházet k ulpívání a kontaminaci forem. Proto se v praxi používají separační prostředky, které také někdy přispívají ke zvýšení produktivity stroje.[8]

Separací prostředky slouží k usnadnění vyjmutí výrobků z formy a zároveň zabraňují zničení formy. Používají se vnější maziva, silikonové oleje nebo polytetrafluorethylenové disperze ve formě nátěru či nástřiku pracovních ploch nástroje. Tyto separační prostředky vynikají dobrou teplotní stabilitou. Jejich nevýhodou je nutnost očištění povrchu výrobků od separačního média při následném lakování či pokovení. Proto lze volit i separační folie z celofánu nebo polyvinylalkoholu usnadňující vyjímání výrobků. [7, 8]

Jako separační prostředek mohou být použity vosky, mýdla nebo silikonové separační nátěry. Chemická struktura vosků brání dostatečnému přilnutí zpracovávaného materiálu na povrch formy. Velmi dobré separační vlastnosti mají silikonové nátěry, které mají tepelnou stabilitu kolem 300 °C a ani po tepelném rozkladu nevzniká karbonový film. Silikonové separační nátěry se nanášejí na pracovní plochy nastříkáním. [22]

Mýdlový roztok se připravuje z práškového nebo mazlavého mýdla s koncentrací 3 až 10 %. Nevýhodou tohoto roztoku je, že znečišťuje lisovací formy a ovlivňuje vulkanizaci. Z tohoto důvodu se již příliš nepoužívá. [22]

Silikonový olej patří k nejvhodnějším a neúčinnějším separačním prostředkům. Ulehčuje vyjímání výrobků z formy a také jim dodává hladký a lesklý povrch. Neznečišťuje povrch formy a jeden nátěr či nástřik vydrží i několik pracovních cyklů. Nevýhodou silikonového separačního oleje je vysoká cena. [22]

Vodní emulze silikonového oleje o koncentraci 1,5-3 % vykazuje podobné vlastnosti jako silikonový olej, je však levnější. Uplatňuje se hlavně při lisování pneumatik, dopravních pásů apod. [22]

Mezi separační prostředky se řadí také práškovadla, která zabraňují slepování kaučuků nebo plastů při jejich manipulaci a skladování. Některá práškovadla brání také přilepování směsi na formu nebo na jádro při vulkanizaci. Některá brání slepování pouze dočasně a při vulkanizaci se ztrácejí (např. křída nebo stearan zinečnatý). Práškovadla usnadňují unikání vzduchu z prostoru mezi směsí a formou při zalisování. Např. stearan zinečnatý brání slepení směsi jen za studena. Mezi nejpoužívanější práškovadla patří křída, mastek, stearan zinečnatý, škrob. [12]

Křída je mletý vápenec (uhličitan vápenatý) a patří k nejlevnějším a nejpoužívanějším poprašovadlům. Při manipulaci s materiálými dílci zabraňuje jejich slepování. Nejčastěji se používá k zaprašování zamíchaných směsí při ukládání. Během vulkanizace se ztrácí, a proto nezanechává na povrchu žádné stopy. [12]

Mastek je hydrát křemičitanu hořečnatého. Má bílou až šedou barvu a je na dotek mastný. Někdy obsahuje příměs slídy. Používá se ve formě prášku, pasty či disperze. Je levný a patří k nejčastěji používaným poprašovadlům v gumárenském průmyslu. Zabraňuje slepování směsi v surovém stavu i při vulkanizaci. Při vulkanizaci se do výrobků nevstřebává, na povrchu zůstane šedý nádech. Vyskytuje se v mnoha kvalitách a je potřeba proto dbát na pečlivost při jeho výběru. Není možné ho použít v případech, kde je požadována velmi dobrá soudržnost po vulkanizaci. [12]

Slída je křemičitan hlinitodraselný a používá se ve formě jemných šupinek, které jsou různé hrubosti zrn a různých odstínů. Používá se na zaprašování předlisků při vulkanizaci nebo se přidává do antiadhezivní suspenze na postřikování vnitřních částí plášťů pneumatik. Po vulkanizaci dodává výrobkům stříbrolesklý povrch. [12]

Stearan zinečnatý je bílý mastný prášek. Jeho funkcí je zabránit slepování dílců při manipulaci s nimi a napomáhat dobrému spojení dílců při vulkanizaci. Při vulkanizaci se vstřebává do výlisků a dodává jim lesklý povrch. Stearan zinečnatý je drahý, a proto se

používá jen do náročnějších výrobků. Používá se tam, kde se po vulkanizaci požaduje dobrá soudržnost vrstev a spojů. [12]

Škrob je jemný bílý prášek, který se používá na poprašování natíraných tkanin a tenkých folií. Používá se škrob bramborový, rýžový, pšeničný a další. Výrobkům dodává sametový vzhled. [12]

V praxi se lze setkat s případem, kdy není možné skladované pryžové folie nebo pogumovaný textil zaprašovat ani opatřit nátěrem emulze, a to buď z estetických či praktických důvodů. Aby se tyto materiály neslepovaly, používají se zábalové materiály. Jako zábalový materiál se nejčastěji používají bavlněné tkaniny, které jsou většinou impregnované roztokem na bázi mýdla nebo syntetických pryskyřic. [12]

Používají se i folie z plastických hmot, jako například polyetylenu a polyamidu nebo ze speciálního textilu. Je možné použít i folie z některých druhů papíru, který je opatřen nánosem polyetylenu. Folie z plastických hmot je možné po použití znovu zpracovat, při použití se téměř nelepí. Pryžové polotovary je možné do folií balit až po vychladnutí. Dalším zábalovým materiálem jsou bandáže, které se využívají především při vulkanizaci hadic, válců, kol atd. [7]

Maziva zabraňují lepivosti kaučukové směsi ve formě. Jejich nevýhodou však je, že zhoršují adhezi a vlastnosti výrobku. Původně maziva sloužila k usnadnění zpracování pro těžko zpracovatelné plasty. Maziva můžeme rozdělit podle chemického složení na mastné kyseliny a jejich deriváty a na pryskyřičné produkty.[33]

4 OBRÁBĚNÍ

Obrábění je technologie zpracování nejčastěji kovových ale i plastových a dalších materiálu jeho odebráním, při kterém vzniká hotový výrobek a vedlejší odpadní produkt ve formě třísek. Obrábění má významné místo při výrobě strojírenských součástí a dílů. Umožňuje pomocí technologických procesů vytvářet z polotovarů hotový výrobek s požadovanými tvary, požadovaných rozměrových přesností a jakostí obrobených ploch. Volba rezných podmínek při obrábění byla v minulosti částečně zanechávána na obsluze stroje, tato volba dnes přechází na technology výroby, kteří jsou v největší možné míře schopni ovlivnit celý proces. Jsou tím kladeny nároky na jejich zodpovědnost, protože ve značné míře ovlivňují ekonomické aspekty a konečnou cenu výrobku. Čím modernější a výkonnější stroj tím stoupá i ekonomická náročnost obrábění.[34]

4.1 Základní teorie obrábění

Obrábění je technologický proces výroby, při kterém je přebytečná část materiálu oddělována z obrobku ve formě třísky pomocí břitu rezného nástroje. Tento proces se uskutečňuje v soustavě stroj – nástroj – obrobek – přípravek (SNOP). Pro teorii obrábění je typická skutečnost, že většina poznatků je získávána na základě experimentů a statistiky. Změny rezných podmínek je možno provádět v širokém rozsahu a každá zákonitost je platná pouze pro určitou vymezenou oblast použití.[34]

Obrobkem je označován obráběný, nebo částečně obrobený předmět. Polotovarem je nazýván předmět, u kterého teprve dojde k obrábění. Předmět již zcela obrobený se nazývá výrobek. Ta část povrchu, z níž je odebrán materiál se označuje jako obráběná plocha, část vzniklá obráběním se nazývá obrobená plocha. Plocha vznikající těsně za břitem je plocha rezná.[34]

Řzný nástroj je aktivní prvek při obrábění. Řzná část nástroje se označuje jako břit, který má tvar klínu. Zpravidla mívá řzná část hlavní a vedlejší ostří. Ta část, za níž je nástroj upnut se nazývá stopka nástroje. Ta může mít tvar čtvercového nebo obdélníkového průřezu (nejčastěji soustružnické nože) u některých osových nástrojů má stopka podobu válcovou nebo kuželovou.[34]

Při obrábění dochází k oddělování částic materiálu obrobku břitem nástroje. Fyzikálně-mechanický proces oddělování materiálu obrobku se specifikuje jako řzání. Řzný proces lze v závislosti na oddělování materiálu dělit na:

- Kontinuální (soustružení, vrtání, vyvrtávání)
- Diskontinuální (hoblování, obrázení)
- Cyklický (frézování, broušení)

Reálný řzný proces probíhá za daných rezných podmínek, které jsou součástí podmínek obrábění.[35]

Z hlediska kinematiky obrábění rozlišujeme vzájemný pohyb mezi nástrojem a obrobkem. Uskutečňuje se určitou relativní rychlostí na určité dráze. Ve většině případů je složen ze dvou složek pohybu:

- Hlavní řezný pohyb – se shoduje se základním pohybem obráběcího stroje. U soustruhů, frézek nebo vrtaček se jedná o rotační pohyb vřetene. Může se jednat i o přímočarý vratný pohyb, typický pro obrážecí a hoblovací stoje.
- Vedlejší řezný pohyb – je zpravidla kolmý na hlavní řezný pohyb. Ten se nazývá posuv. Dle způsobu obrábění lze rozdělit na podélný, příčný, kruhový, plynulý a přerušovaný

Velikost posuvu je vyjádřena:

- Délkou dráhy f (s) v mm na jednu otáčku pracovního vřetena
- Délkou dráhy f_z (sz) v mm na jeden zub vícebřitého nástroje
- Rychlostí posuvu v_f v $\text{mm}\cdot\text{min}^{-1}$ je-li posuv nezávislý na hlavním pohybu

Prísuv je vzájemný pohyb mezi nástrojem a obrobkem. Zpravidla je kolmý na obráběnou plochu a umožňuje nastavení hloubky řezu h . [34, 35]

4.2 CNC obrábění

Číslicové řízení pomocí počítače (z anglického Computer Numeric Control CNC) obráběcích strojů představuje jednu z nejdůležitějších součástí strojírenské výroby. CNC stroje se podílí na významné části operací v každodenní průmyslové výrobě. Zasahují do všech segmentů strojírenské výroby a jejich vývoj je neustále zdokonalován. CNC stroje umožňují při správném užívání zkrátit výrobní časy dílů, které byly dříve vyráběny na konvenčních klasických strojích, z hodin na minuty. V mnoha firmách napříč spektrem jsou dnes standardem a velmi vysoká poptávka zasahuje výrobce z celého světa. CNC stroje tvoří nosný prvek automatizace výroby u velkosériových, malosériových i kusových výrob. Největší výhodou CNC strojů oproti konvenčním je jejich opakovatelnost výroby. Ať už se jedná o jeden kus vyrobený na zakázku nebo velkosériovou výrobu stále se opakující výrobu jednoho dílu, jejich společným charakteristickým znakem je aplikace řídicího programu. Ten zajišťuje návaznost soustavy stroj-nástroj-obrobek, kterou lze opakovaně uvést do provozu za stejných vstupních podmínek, které tvoří nástroje na obrábění, rozměry polotovaru a poloha nulového bodu obrobku. Číslicové řízení stroje je zajišťováno řídicím systémem navázaným na soustavu celého stroje. Ať už se jedná o elektrickou soustavu, soustavu pohybu os či vnějšího okruhu stroje a periférií, vše je podřízeno řídicímu systému. Ten udává informace o směru, dráze a smyslu pohybu pracovních úkonů a dále pak podmínkách pro nástroje a dalších přídavných funkcích nezbytných k procesu výroby. [36]

4.3 Metody programování CNC strojů

Metody programování CNC strojů dělíme na dvě základní kategorie. Jejich společným znakem je vytvoření funkčního kódu, který řídicí systém stroje zpracuje a jehož aplikací na stroji lze vyrobit danou součást.

4.3.1 Dílenské programování

Dílenským programováním rozumíme vytvoření kódu přímo na stroji, na kterém bude díl vyráběn. Dílenské programování je aplikováno v kusových a malosériových výroбах a ve společnostech, které nedisponují CAM softwarem. Dílenské programování je také využíváno především pro jednoduché dílce, bez složitých prostorových křivek a kontur. V zásadě jej lze rozdělit na programování pomocí programovacího jazyka stroje (např. ISO kódu), programování parametrické (za použití podmínek a parametrů) a programování dialogové. Dialogové programování je velmi rozšířenou metodou programování díky své uživatelské jednoduchosti a intuitivním ovládním. Stále více výrobců se snaží zdokonalovat a podporovat tento typ programování. Obsluha stroje je přímo na stroji schopna vytvořit program na daný výrobek a v následné simulaci vytvořeného programu zjistit pohyby nástroje a úbytek materiálu při obrábění a tím i možné chyby v kódu. Systém je vybaven grafickými animacemi, ukázkami a tabulkovými vzory, které navádí uživatele a nabízí mu různé možnosti zpracování daných operací. Operátor po dokončení programování automaticky vygeneruje NC program do stroje a je schopen jej editovat. Toto programování je možno provádět i za běhu stroje. Děje se tak v tzv. backgroundu, kdy na hlavní obrazovce probíhá program jiného dílu a v pozadí lze připravovat program nový. Nevýhodou dílenského programování je omezená možnost úprav konkrétních drah a nájezdů pro svou výpočetní náročnost. Stejně tak optimalizace drah specializovaným softwarem není možná, jelikož výrobci strojů mají již optimální výpočetní metody pevně předdefinovány a ve většině případů do nich uživatelé nemohou zasahovat.[35, 36]

4.3.2 CAM programování

Programování off-line mimo stroj je možné za pomoci speciálního softwaru určeného pro daný typ obrábění. Při tvorbě programu se vychází ze vstupního modelu, který může mít 2D formát pro operace 2D a 2,5D obrábění s definovanou hloubkou řezu nebo 3D model pro všechny potřebné informace na obrábění daného dílu. Výchozí model je otevřen v prostředí CAD softwaru, který slouží pro tvorbu designu a úpravy modelu. Může mít různý formát podporovaný daným typem softwaru. K vytvoření programu pro stroj je potřebný dodatečný software, ve kterém je prostředí velmi podobné tomu CAD. Tímto typem softwaru je CAM neboli Computer Aided Manufacturing – počítačem podporovaná výroba.[35, 36]

K dispozici jsou nabízeny dvě varianty. První variantou je samostatný CAM software. Ten může být nabízen mnoha dodavateli. Druhou, pro uživatele přívětivější variantou, je integrace softwaru do prostředí CAD. Touto kombinací vznikne plnohodnotná soustava, ve které dokáže uživatel přepínat mezi jednotlivými prostředními za pomoci záložek a může tak editovat a upravovat jak model samotný tak v návaznosti na něj i

definovat a přepočítávat programové cykly a dráhy nástrojů. Tento způsob programování je velmi využíván především ve velkých a středních strojírenských firmách, pro které je konstrukční i technologické oddělení stejně tak důležité jako výrobní a dokáže rychle reagovat na náhlé změny v konstrukci výrobku a tím i v následné výrobě.[35, 36]

II. PRAKTICKÁ ČÁST

5 CÍLE PRAKTICKÉ ČÁSTI

Cíle praktické části diplomové práce jsou:

- Návrh a konstrukce lisovací formy na výrobu zkušebních tělísek tvaru kroužků
- Návrh a konstrukce čelistí pro testování kroužků na trhacím stroji Alpha technologies Tensometr T10D
- Vytvoření výkresové dokumentace a podkladů pro technickou přípravu výroby
- Výroba čelistí a formy
- Otestování funkčnosti formy a čelistí

3D modely uváděné v praktické části byly vytvářeny v softwaru Autodesk Inventor Professional 2023. Výkresy a schémata byly vytvářeny v softwaru Autodesk AutoCAD 2021.

5.1 Návrh lisovací formy

Lisovací formu je potřeba navrhnout tak, aby splňovala následující požadavky:

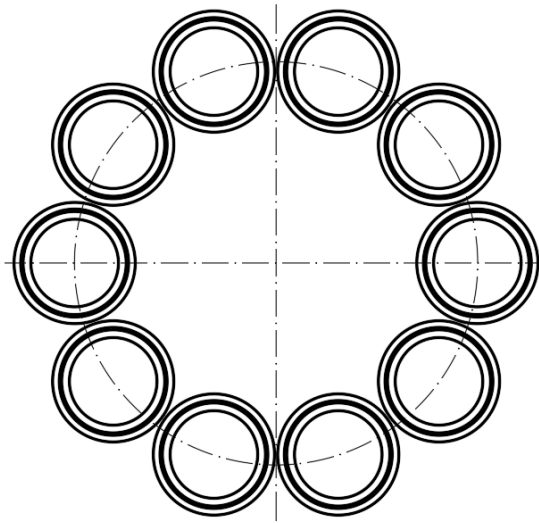
- Možnost výroby na CNC obráběcím stroji
- Snadné vkládání navážky
- Dostatečný počet zkušebních tělísek na jeden cyklus lisování
- Velikost tvarových dutin zvětšit o stanovené smrštění
- Jednoduché a jednoznačné složení lisovací formy
- Snadná manipulace s formou pro obsluhu (co nejnižší hmotnost)

Forma se bude skládat ze dvou desek, ve kterých budou frézovány tvarové dutiny kroužků. Přetokové drážky budou frézovány pouze v jedné desce. Desky budou dále opatřeny středícími kolíky, které budou zaručovat vždy správné a jednoduché složení obou desek a vyloučí tak možné otočení a výrobu zmetkových zkušebních tělísek.

Návrh zkušebních tělísek tvaru kroužků proběhne dle normy ISO 37. V ní jsou uvedeny veškeré náležitosti o tvaru a velikosti tělísek a dále také minimálním počtu tělísek při jejich zkoušce v tahu.

Při návrhu byly probírány různé možnosti počtu tvarových dutin a jejich umístění. V následujících odstavcích uvedu několik předběžných návrhů i s komentářem o vhodnosti varianty.

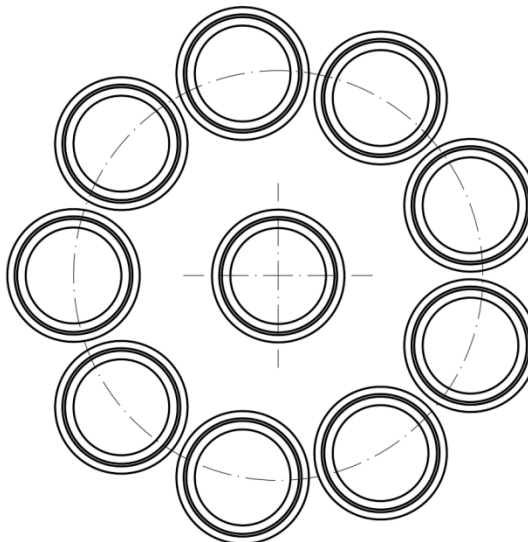
Jednou z variant lisovací formy byl návrh uspořádání dutin kroužků do kruhového pole v počtu 10 kusů, jak vidíte na následujícím obr. 8.



Obr. 8 Návrh formy, uspořádání do kruhového pole

Toto řešení má hlavní nevýhodu ve výsledné velikosti formy. Takto vyrobená forma by měla velkou hmotnost a manipulace s ní při vkládání do a vytahování z vulkanizačního lisu by byla obtížná. Dále se uprostřed formy nachází příliš velký nevyužitý objem materiálu, který by zvyšoval energetickou náročnost vulkanizace, jelikož formu je potřeba před lisováním vyhřát na danou teplotu. Tímto by se musel ohřát i tento objem materiálu, který by zase po ukončení vulkanizace dlouho chladnul. Z těchto důvodů byl tento návrh zamítnut.

Další variantou bylo uspořádání dutin formy do kruhového pole jako v předchozí variantě, ale v počtu 9kusů po obvodu a jednoho kusu uprostřed jak ukazuje obr. 9.

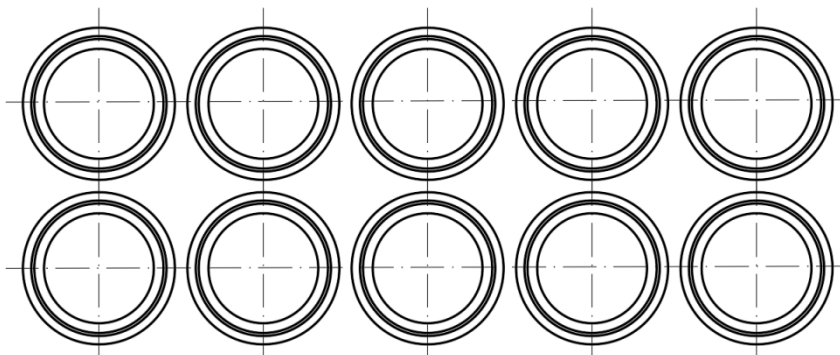


Obr. 9 Návrh formy, uspořádání do kruhového pole s využitím středu

Toto řešení vychází z předchozího. Počet dutin je stejný, ale jedna dutina se umístila do středu. Tímto lze docílit alespoň částečné zmenšení venkovních rozměrů formy a tím i snížení hmotnosti. Přesto však kolem středu zůstává poměrně velký objem materiálu nevyužitý. Z tohoto důvodu byl i tento návrh zamítnut.

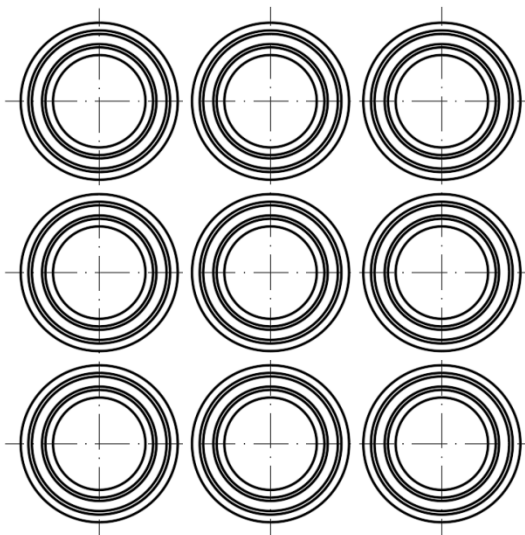
V předchozích případech bylo použito uspořádání tvarových dutin formy do kruhového pole. Toto řešení má jak je vidět hlavní nevýhodu v nárůstu venkovních rozměrů formy s velkým objemem nevyužitého materiálu ve středu a jeho okolí. Abychom využili co nejlépe celou pracovní plochu formy, je nutné přistoupit k uspořádání dutin do obdélníkového/ čtvercového rastru.

V úvahu byly dvě varianty uspořádání. První s deseti kusy tvarových dutin vložených do obdélníku v počtu pěti kusů v řádku a dvou sloupců jak ukazuje obr. 10.



Obr. 10 Návrh formy, uspořádání do obdélníkového pole

Druhou variantou je uspořádání dutin do čtvercového pole v počtu tří kusů v řádku a tří kusů sloupců. Výsledný počet dutin je snížen na 9 kusů. Toto uspořádání ukazuje následující obr. 11.



Obr. 11 Návrh formy, uspořádání do čtvercového pole

Obě uvedené varianty uspořádání do obdélníkového nebo čtvercového pole mají hlavní výhodu ve využití pracovní plochy formy. Výsledkem může být razantní zmenšení venkovních rozměrů formy a tím i hmotnosti. Zlepší se tak i manipulace a sníží se i energetická náročnost při ohřevu formy při vulkanizaci.

Menší nevýhodou uspořádání do čtvercového pole oproti obdélníkovému, je výsledný počet dutin, který je o jednu dutinu snížený. Tato skutečnost však nehraje zásadní

roli při provádění tahových zkoušek, protože norma ISO 37 uvádí minimální počet zkoušených tělísek na tři kusy.

Jelikož byl k dispozici materiál ve tvaru kruhové tyče s velkým průměrem, byla i z tohoto důvodu upřednostněna varianta uspořádání do čtvercového pole, která lépe využívá možnou obráběnou plochu polotovaru. Obdélníkové uspořádání by se do plochy polotovaru nevešlo.

5.1.1 Výpočet velikosti smrštění

V předchozích odstavcích bylo uvedeno několik variant návrhů formy a byla vybrána ta nejvhodnější zohledňující jak informace z příslušné normy, tak i materiálové dispozice.

Nyní je potřeba provést výpočet velikosti smrštění a dále navrhnout velikost přetoků. Jelikož se ve formě budou připravovat různé druhy vulkanizátů, nelze přesně stanovit velikost smrštění. Z tohoto důvodu byla stanovena pouze obecná velikost smrštění pryží a to na 5%. Velikost přetoků byla po domluvě s vedoucím diplomové práce stanovena na 30 % objemu výrobku.

Základní rozměry zkušebních tělísek tvaru kroužků nalezneme v příslušné normě ISO 37. V ní se uvádí, že vnitřní rozměr kroužku musí být $44,6 \pm 0,2$ mm, radiální šířka a axiální tloušťka musí být $4 \pm 0,2$ mm. V normě nenalezneme informace o tvaru průřezu kroužku. Z udaných rozměrů můžeme uvažovat dva průřezy a to čtvercový a kruhový. Po konzultaci s vedoucím se rozhodlo o uvažovaném průřezu tvaru kruhu. Z těchto základních rozměrů nyní můžeme vypočítat velikost smrštění.

Dáno:

$$D_i = 44,6 \text{ mm}$$

$$D_p = 4 \text{ mm}$$

$$V_p = 30 \%$$

$$\text{Smrštění } s = 5 \%$$

$$\text{Přetok } p = 30 \%$$

Střední průměr kroužku

$$D_s = D_i + D_p = 44,6 + 4 = 48,6 \text{ mm}$$

Střední průměr kroužku zvětšený o smrštění

$$D'_s = D_s \cdot 1,05 = 44,6 \cdot 1,05 = 51,03 \text{ mm}$$

Průměr průřezu kroužku zvětšený o smrštění

$$D'_p = D_p \cdot s = 4 \cdot 1,05 = 4,2 \text{ mm}$$

Stanovení velikosti objemu přetoku

Obsah průřezu kroužku

$$S_p = \frac{\pi \cdot D_p^2}{4} = \frac{\pi \cdot 4,0^2}{4} = 12,57 \text{ mm}^2$$

Objem kroužku

$$V_k = S_p \cdot o_s = S_p \cdot \pi \cdot D_s = 12,57 \cdot \pi \cdot 48,6 = 1918,65 \text{ mm}^3$$

Objem přetokové drážky

$$V_p = V_k \cdot p = 1918,65 \cdot 0,3 = 575,60 \text{ mm}^3$$

Pomocí softwaru Autodesk Inventor 2023 byl vytvořen 3D model kroužku, na kterém byl ověřen správný výsledek výpočtu objemu. Správnost výsledku potvrzuje následující obr. 13.



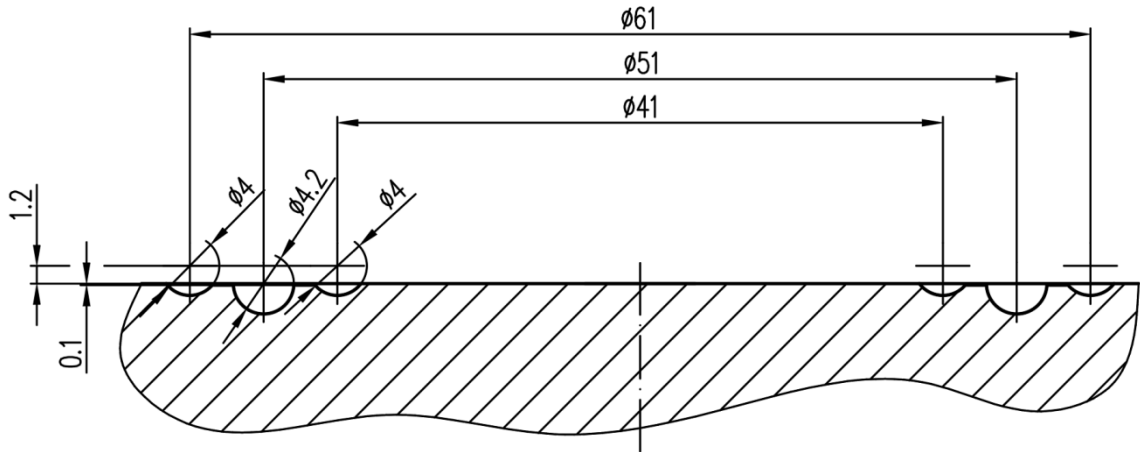
Obr. 12 3D model kroužku vytvořený v Inventor 2023

Obecné vlastnosti		Těžisko	
Hmotnost	0,002 kg (Relativní)	X	0,000 mm (Relativní)
Povrch	1918,651 mm ² (R)	Y	0,000 mm (Relativní)
Objem	1918,651 mm ³ (R)	Z	0,000 mm (Relativní)

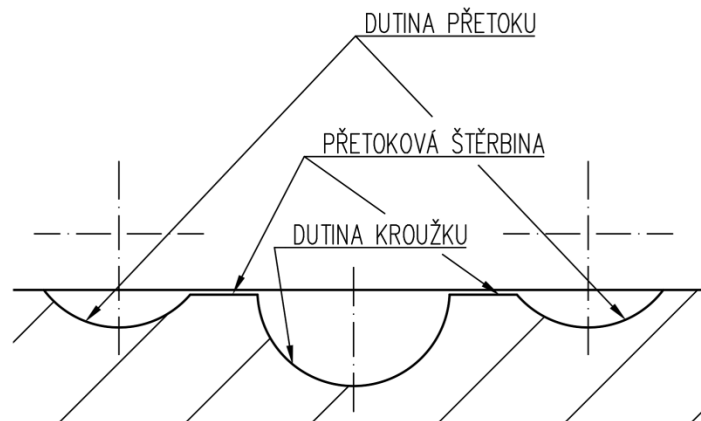
Obr. 13 Informace o obecných vlastnostech pro 3D model kroužku

Dále byl vytvořen 3D model tvaru přetokové drážky a jeho rozměry upraveny tak aby objem získaný ze softwaru byl co možná nejbližší s objemem získaným pomocí výpočtu. Tvar přetokové drážky byl volen s ohledem na tvarovou jednoduchost, jeho kótování, tvorbě programu k obrábění a také výrobu. Dutina určující konečný tvar výrobku má tvar kruhu s dělicí rovinou v jeho středu, z tohoto důvodu bylo nutné použít k vyfrézování dutiny jako nástroj kulovou frézu. Žádným jiným běžně dostupným nástrojem by nebylo možné dosáhnout požadovaného tvaru. Z důvodu volby kulové frézy k výrobě dutiny kroužku byl i tvar přetokové drážky volen pro stejný nástroj. Přetoková drážka bude mít tedy tvar kruhové úseče, která bude umístěna jak z vnější tak vnitřní strany tvarové dutiny kroužku a bude umístěna pouze v jedné desce lisovací formy. Takto vytvořené úseče budou s dutinou kroužku spojeny v dělicí rovině pomocí odfrézovaného odsazení o hloubce 0,1 mm. Tím vznikne přetoková šterbina, ve které se bude zvulkanizovaná kaučuková směs snadno odtrhávat od hotového kroužku. Výhodou tvaru

kruhové úseče přetokových drážek lze spatřit i v jejich snadném odstraňování z dutin formy. Kruhový tvar nebude mít tendenci dostatečně přilnout ke stěnám formy na rozdíl od ostrých tvarů. Na následujících obrázcích je vidět tvar přetokové drážky i s jejím objemem.



Obr. 14 Nákres dutiny formy s přetokovou drážkou a základními rozměry



Obr. 15 Detail dutiny formy s přetokovou drážkou

Obecné vlastnosti		Těžiště	
Hmotnost	0,001 kg (Relativní)	X	0,000 mm (Relativní)
Povrch	2981,467 mm ² (R)	Y	-0,306 mm (Relativní)
Objem	590,322 mm ³ (Re)	Z	-0,000 mm (Relativní)

Obr. 16 Informace o obecných vlastnostech pro 3D model přetokové drážky

5.2 Návrh čelistí k tahové zkoušce kroužků

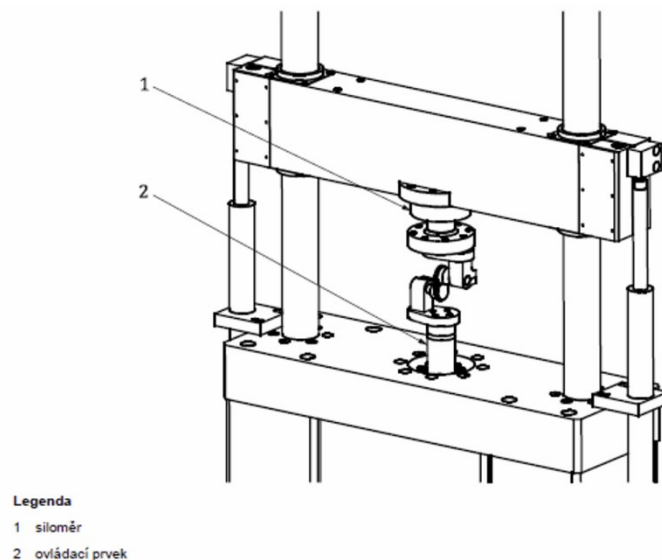
Čelisti je potřeba navrhnout tak, aby splňovaly následující požadavky:

- Možnost výroby na CNC obráběcím stroji

- Konstrukce zajišťující jednoznačné a snadné upnutí na trhací stroj
- Jednoznačné a snadné upnutí a výměna různých druhů testovacích kladek
- Dodržení rozměrů a funkcí udávaných normou

Čelisti slouží jako upínací přípravek k testování tahových vlastností připravených zkušebních tělísek ve tvaru kroužků na trhacím stroji. Norma ISO 37 udává několik důležitých informací, které je nutné vzít v úvahu při navrhování čelistí. Mezi nejdůležitější patří:

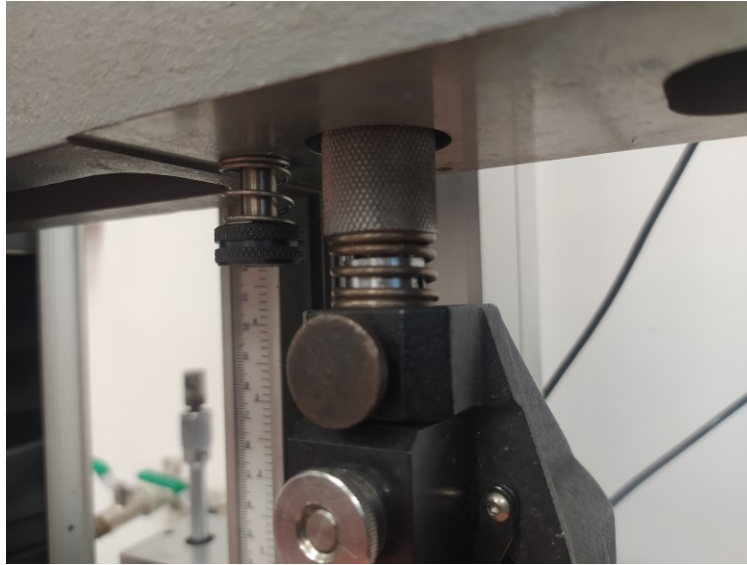
- Dodržení rozměrů kladek
- Velikost osové vzdálenosti čelistí ve výchozí poloze
- Volné otáčení kladek



Obr. 17 Příklad sestavy zkušebního zařízení k testování tahových vlastností kroužků[23]

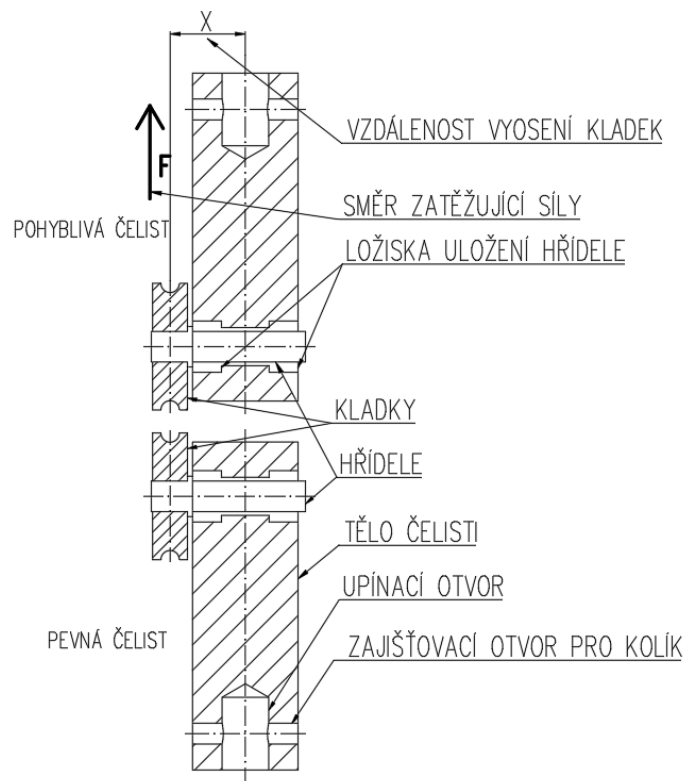
Z informací a obrázku uvedených výše je zřejmé, že čelisti jsou složeny z vlastního těla, ve kterém je umístěna volně se otáčející hřídelka, na niž lze upevnit různé testovací kladky podle tvaru a velikosti testovaného kroužku. Vlastní tělo pak umožňuje bezpečné upnutí této sestavy na upínač umístěný na stroji.

Trhací stroj Alpha Technologies Tensometr T10D, na který se budou čelisti vyrábět je jak na pevné tak na pohyblivé části opatřen upínacím trnem tvaru válce který má radiálně vyvrtanou díru na zajišťovací kolík. Vymezení vůle na obou upínacích trnech zajišťuje tlačná pružina dosedající na jedné straně na pevnou část a na druhé straně na upnutou čelist.



Obr. 18 Upínač trhacího stroje s vymezením vůle pomocí tlačné pružiny

První návrh čelistí vycházel z jednoduché konstrukce, jež byla tvořena obdélníkovou tyčí ve spodní části opatřenou otvorem v ose průřezu sloužící k upnutí na stroj a na horní straně radiálně k ose vyvrtaným a vyfrézovaným otvorem určeným k montáži ložisek a hřídele. Schéma tohoto návrhu lze vidět na následujícím obr. 19.

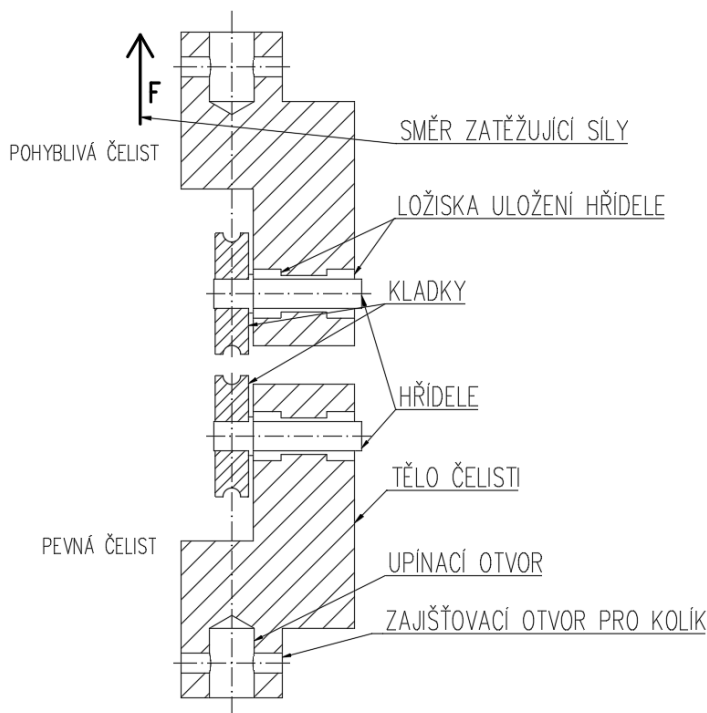


Obr. 19 Schéma návrhu jednoduchých čelistí

Toto řešení vyniká svou jednoduchostí výroby a nenáročností obrábění ve smyslu počtu operací. Při hlubším zkoumání však zjistíme skutečnost, která znemožňuje použití tohoto návrhu. Při této konstrukci čelistí jsou zkušební tělíska ve tvaru kroužků umístěny na kladkách, které jsou však mimo osu stroje. Toto by znamenalo, že zatěžující síla by

působila mimo osu stroje a vytvářela tak ohybový moment přenášený na příčníky a rám trhačícího stroje. Tím by byly výsledky zkoušek zkreslené a neplatné.

Z těchto důvodů je nutné zajistit, aby při tahové zkoušce byly zkušební tělíska vždy umístěny pokud možno přesně v ose stroje a tedy v ose zatěžující síly. Proto je potřeba konstrukci čelistí upravit zalomením jak je vidět na obr. 20 níže.



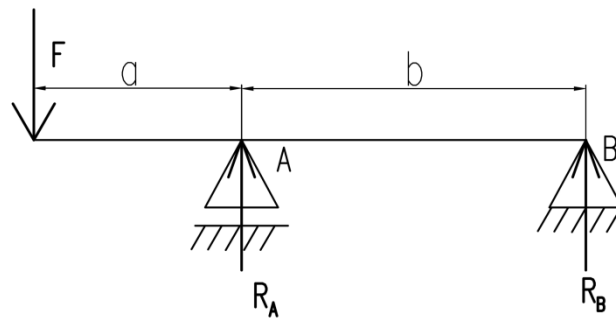
Obr. 20 Schéma návrhu zalomených čelistí

Tato změna přináší již použitelné řešení, zajišťující souosost zkušebních tělísek a zatěžující síly. Nevýhodou je mírně složitější konstrukce a větší množství odpadu při obrábění. Po předloženém obecném návrhu a jeho schválení od mého vedoucího diplomové práce je potřeba provést konkrétní návrhy jednotlivých částí čelistí.

5.2.1 Návrh ložisek k uložení hřídele

Pro správnou funkci čelistí je potřeba zajistit volné otáčení kladek. Je tedy nutné hřídele obou čelistí uložit do ložisek. Ložiska je potřeba správně nadimenzovat aby byly schopné přenášet zatěžující sílu působící na zkušební tělíska. Volné otáčení kladek se využívá pouze na začátku tahové zkoušky a to při usazování testovaných kroužků na kladky. Tímto způsobem je zajištěno, že kroužek správně nasedne na kladky a obepne je. Vyloučí se tak možnost vzniku případných mezer a jiných nepřesností při ustavování, které by měly za následek možné praskání kroužků na rozhraní dotyku kroužku s kladkou či na dosedací ploše na kladce. Takto získané výsledky by byly nepřesné či zavádějící. Je tak nutné zajistit dokonalé nasednutí a obepnutí kroužku na obě kladky na počátku tahové zkoušky. Při samotném průběhu tahové zkoušky se již hřídelky s kladkami neotáčejí či pouze velmi pomalu. Z tohoto důvodu je pro návrh ložisek využít údaj o jejich statické únosnosti.

Nejprve je ale potřeba zjistit reakční síly v podporách. Hřídel bude navrhována jako staticky určitý nosník uložený na dvou podporách zatížený silou na letném konci.



Obr. 21 Schéma nosníku o dvou podporách vyjadřující zatížení hřídele čelisti

Výpočet reakcí nosníku uloženého na dvou podporách zatíženého na letném konci:

Maximální zatěžující síla trhacího stroje Alpha Technologies T10D je 10 kN, uvažujeme, že síla se rozdělí mezi obě čelisti. Výsledná síla působící na jednu čelist bude poloviční oproti celkové síle tedy $10/2=5$ kN.

Dáno:

$$F=5 \text{ kN}=5000 \text{ N}$$

$$a=15,5 \text{ mm}$$

$$b=17 \text{ mm}$$

Stanovení velikosti reakce R_B :

$$\sum M_{i_A} = 0 \rightarrow F \cdot a + R_B \cdot b = 0$$

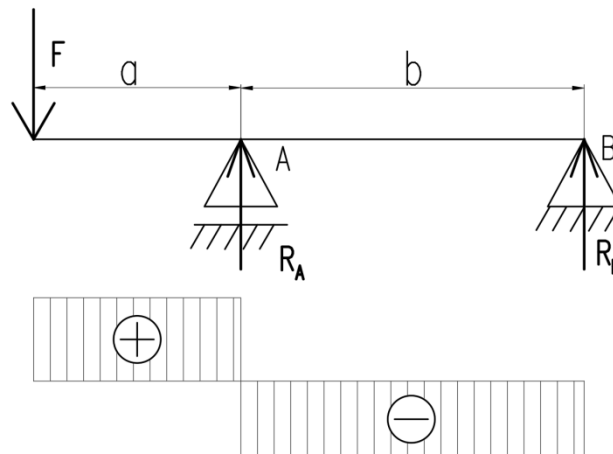
$$R_B = \frac{-F \cdot a}{b} = \frac{-5000 \cdot 15,5}{17} = -4558,82 \text{ N}$$

Stanovení velikosti reakce R_A :

$$\sum F_{i(y)} = 0 \rightarrow -F + R_A + R_B = 0$$

$$R_A = F - R_B = 5000 - (-4558,82) = 9558,82 \text{ N}$$

Jak vidíme, největší reakční síla působí v bodě A a její velikost činí 9558,82 N, tedy 9,56 kN. Z této hodnoty musíme vycházet při návrhu ložisek. Pro jednodušší výrobu budou volena obě ložiska stejná. Jelikož se hřídel při zatěžování bude otáčet velmi pomalu, budeme vycházet ze statické únosnosti ložiska. Statická únosnost ložiska musí být větší, než je největší reakční síla v podporách.



Obr. 22 Výsledný průběh zatížení působícího na nosník

Při hledání vhodného ložiska dojdeme k závěru, že nejlepší volbou budou radiální jehlová ložiska. Radiální kuličková ložiska dimenzovaná na výsledné zatížení by vycházela extrémně velká a bylo by nemožné dodržet osovou vzdálenost kladek, jak uvádí norma. Na výběr jsou jehlová ložiska bez vnitřního kroužku nebo jehlová ložiska s vnitřním kroužkem. Ložiska bez vnitřního kroužku jsou vhodná do extrémně malého zástavbového prostoru. Nevýhodou je nutnost zakalení a broušení dosedacích ploch na hřídeli. Kdyby se kalení a broušení neprovedlo, byla by výrazně snížena životnost hřídele a celé sestavy. Po krátkém čase používání by začalo docházet k vymačkávání a otláčování čepů hřídele od valivých elementů jehlových ložisek, které by nakonec vedlo k vydrolování (petting) a následnému zaseknutí či jinému poškození sestavy. Z důvodu možnosti využití většího zástavbového prostoru byly zvoleny jehlové ložiska s vnitřním kroužkem. Pro tyto ložiska nemusí být čepy hřídele kaleny, v čemž spatřuji výhodu v jednodušší výrobě hřídele. Vhodnou volbou jehlového ložiska s vnitřním kroužkem vycházela ložiska s označením NA4901. Tato ložiska mají deklarovanou statickou únosnost 10,9 kN, což je hodnota s dostatečnou rezervou od skutečné maximální hodnoty 9,56 kN. Navíc je třeba si uvědomit, že udaná hodnota zatížení je maximální hodnota, kterou dokáže vyvodit stroj. V praxi se však nejčastěji pohybujeme v nižších patrech zatížení.

5.2.2 Návrh hřídele a kladek čelistí

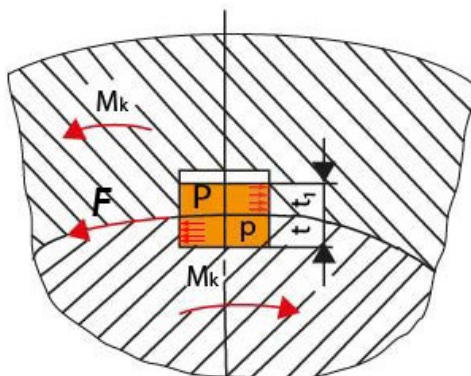
Hřídel a kladky je potřeba navrhnout tak, aby splňovaly následující požadavky:

- Možnost výroby na CNC obráběcím stroji
- Konstrukce zajišťující snadnou a jednoznačnou montáž sestavy čelistí
- Zamezení axiálního pohybu hřídele
- Jednoznačné a snadné upnutí a výměna různých druhů testovacích kladek
- Dodržení rozměrů a funkcí udávající norma

Na hřídele čelistí se budou moci upevňovat různé druhy kladek, lišící se tvarem drážky a svou velikostí. Z předchozí kapitoly víme, že hřídele budou uloženy v jehlových

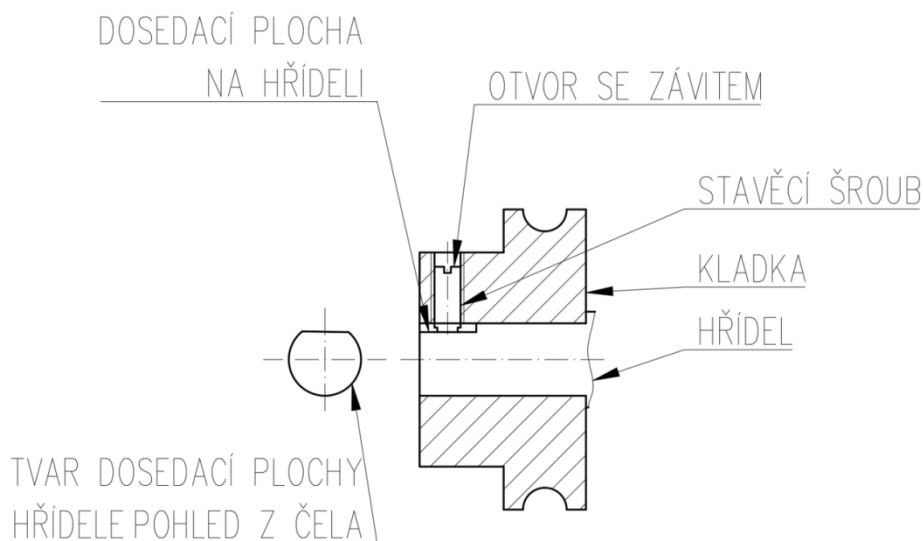
ložiscích s možností volného otáčení. Kladky se na hřídelích musí zajistit, aby nedocházelo k protáčení kladky na hřídeli, ale aby kladka unášela hřídel. Toho lze docílit několika způsoby konstrukčních řešení. Je potřeba vybrat jednoduché, ale zároveň spolehlivé a pro obsluhu přívětivé řešení.

První z možností zajištění kladky na hřídeli je pomocí drážky a těsného pera. Toto řešení vyniká spolehlivostí a možností přenášet velké zatížení krouticího momentu. Nevýhodou je náročná výroba jak drážky v kladce (náboji), tak i na hřídeli. Řešení spoje hřídele a náboje pomocí pera vidíme na obr. 23.



Obr. 23 Spoj hřídele s nábojem pomocí pera těsného [37]

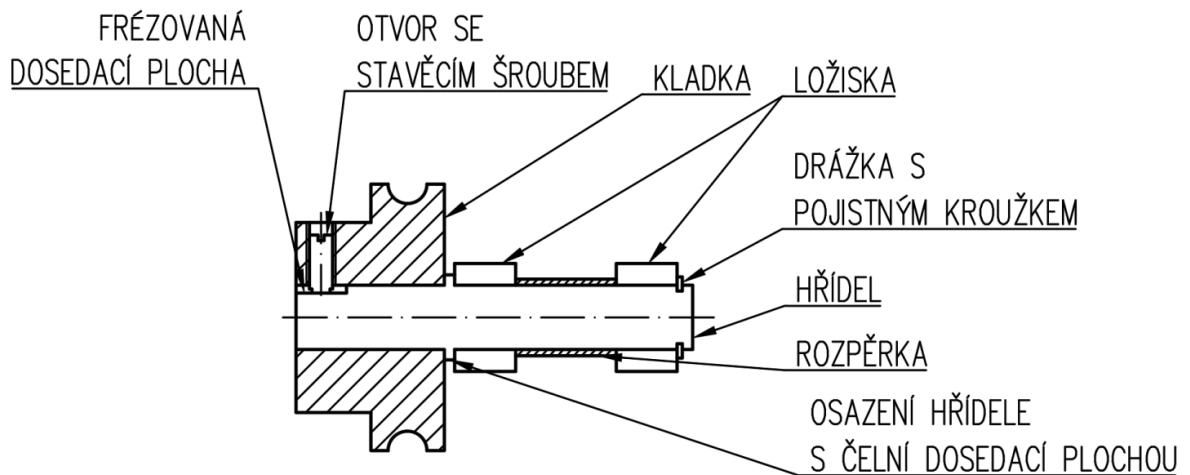
Jelikož při průběhu testování pryžových kroužků se na hřídele budou přenášet velmi malé krouticí momenty, lze přistoupit k jednoduššímu způsobu zajištění. Konstrukční řešení spočívá v opatření hřídele vyfrézovanou ploškou a vyvrtáním otvoru se závitem do kladky radiálně na její osu. Kladka bude nasunuta na válcovou část hřídele a stavěcím šroubem zajištěna o frézovanou plochu. Toto řešení bude zajišťovat souosost kladky s hřídelí pomocí lícovaného uložení čepu, snadné zajištění kladky stavěcím šroubem proti axiálnímu posunutí a zároveň dostatečné zajištění k přenosu otáček a krouticího momentu z kladek na hřídele. Schéma konstrukčního řešení vidíme na obr. 24.



Obr. 24 Zajištění hřídele a kladky pomocí stavěcího šroubu

Tvar hřídele je potřeba navrhnout tak aby byl zamezen axiální posun hřídele vůči čelistem a také aby bylo zajištěno jednoduché a jednoznačné ustavení kladek při výměně. Nedodržením těchto dvou požadavků by mohlo docházet k posunutí osy kladek mimo osu stroje a tím ke zkreslení výsledků zkoušek vlivem posunutí působení síly.

Hřídel je navržena s ohledem na předchozí požadavky a zajištění co nejjednodušší výroby. Hřídel bude sestávat z válcového konce opatřeného částečně frézovanou plochou sloužící jako dosedací plocha stavěcího šroubku kladky. Pokračovat bude osazením s čelní dosedací plochou, o kterou se opře čelo kladky. Tím bude zajištěna vždy správná poloha kladky na hřídeli. O druhou stranu osazení se bude opírat plocha prvního jehlového ložiska. Následně bude hřídel pokračovat stejným průměrem i pro druhé ložisko a budou na něm nalisovány ložiskové kroužky, mezi kterými bude umístěna rozpěrka. Hřídel bude ukončena zajišťovací drážkou pro pojistný kroužek. Tímto způsobem se zajistí poloha hřídele vůči čelisti v axiálním směru. Tvar hřídele vidíme na následujícím obr. 25.



Obr. 25 Schéma konstrukčního řešení tvaru hřídele

Z předchozích odstavců a obrázků je zřejmý i tvar kladek. Ty budou opatřeny lícovaným otvorem určeným k nasunutí na hřídel, aby byla zajištěna sousost kladky a hřídele. Radiálně na jejich osu bude vyvrtán otvor se závitem na stavěcí šroub sloužící k zajištění kladky. Při výrobě je důležité dodržet tvar profilu drážky, na které bude dosedat zkušební tělísko tvaru kroužku a také vzdálenost tohoto profilu od čelní dosedací plochy, aby byla zajištěna správná poloha a tím i působení síly do osy.

Veškeré výrobní výkresy součástí a jejich sestavy jsou uvedeny v přílohách diplomové práce viz. P I. až P IX.

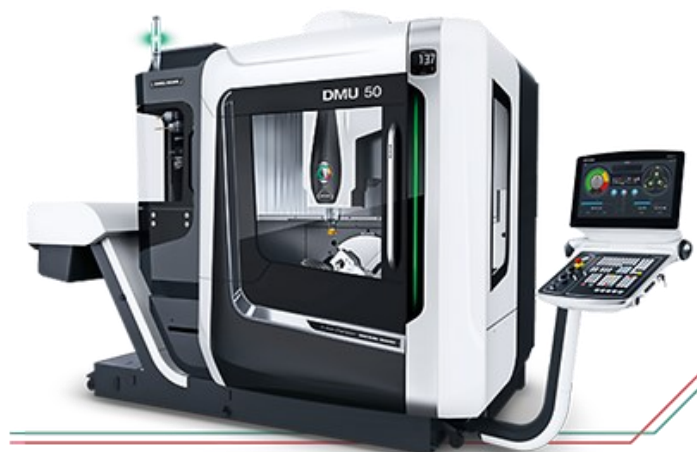
6 VÝROBNÍ POSTUP

Na následujících stránkách budou uvedeny informace o výrobě jednotlivých součástí, použitých strojích, nástrojích a měřidlech.

6.1 Výrobní stroje

6.1.1 S1 CNC frézka s naklápěcím rotačním stolem DMU 50

Jedná se o CNC frézku pro pětiosé simultánní obrábění. Obráběcí centrum používá řídicí systém Siemens Sinumerik 840 d sl / CELOS. Další technické údaje o stroji jsou uvedeny v následující tabulce.



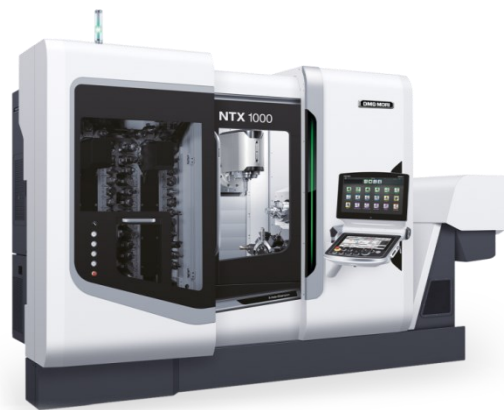
Obr. 26 Obráběcí centrum DMU 50

Max. pojezd v ose X	650 (mm)
Max. pojezd v ose Y	520 (mm)
Max. pojezd v ose Z	475 (mm)
Max. zatížitelnost stolu	300 (kg)
Průměr stolu	630 (mm)
Zásobník nástroje	30 (pozic)
Max. otáčky vřetena	15000 (min ⁻¹)

Tab. 2 Technické údaje stroje DMU 50

6.1.2 S2 CNC obráběcí centrum NTX 1000

Jedná se o soustružnicko-frézovací centrum umožňující vysoce přesné soustružnické a frézovací operace. Centrum je vybaveno řídicím systémem Fanuc/ CELOS.



Obr. 27 Obráběcí centrum NTX 1000









Max. průměr soustružení	430 (mm)
Max. délka soustružení	800 (mm)
Max. průměr polotovaru	65 (mm)
Max. otáčky hlavního vřetena	6000 (min ⁻¹)
Max. otáčky frézovacího vřetena	12000 (min ⁻¹)

Tab. 3 Technické údaje stroje NTX 1000

6.2 Výrobní nástroje






Nástroj číslo	Obrázek	Název
T01		Rovinná frézovací hlava s vyměnitelnými břitovými destičkami
T02		Dokončovací rohová fréza s vyměnitelnými břitovými destičkami D25

T03		Monolitní stopková fréza D6
T04		Monolitní rádiusová fréza D4R2
T05		NC navrtávák D10
T06		Spirálový vrták D10
T07		TK srážeč hran D10/ 90°
T08		Výstružník D10H7
T09		Středící vrták R2,5
T10		Spirálový vrták D12
T11		Spirálový vrták D16h8
T12		Spirálový vrták D18

T13		Výstružník 16H7
T14		Spirálový vrták D4,2
T15		Strojní závitník M5
T16		Kuželový záhlubník D 20,5/ 90°
T17		Spirálový vrták D8h8
T18		Soustružnický držák DCLN 95° s břitovou destičkou CNMG
T19		Soustružnický upichovací držák s upichovací destičkou šíře 2 mm
T20		Soustružnický držák SRDC s břitovou destičkou RC R3

T21		Ruční odjehlovač, odhrotovač
-----	---	---------------------------------

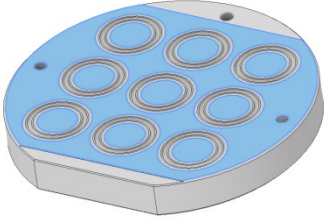
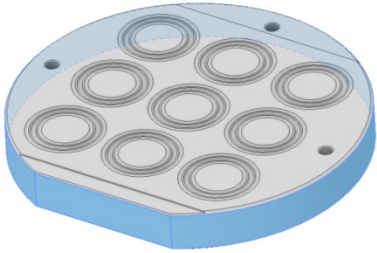
6.3 Měřidla

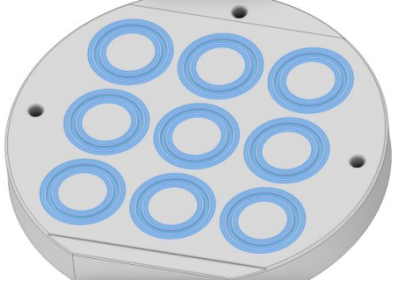
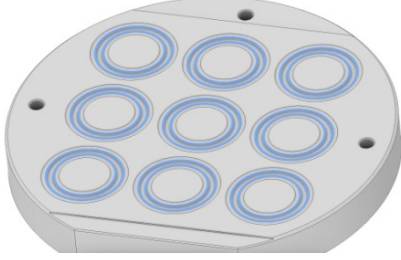
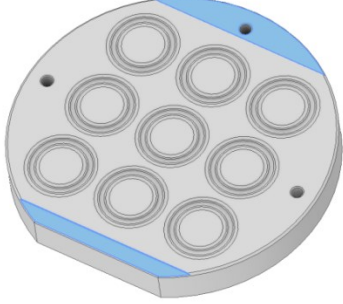
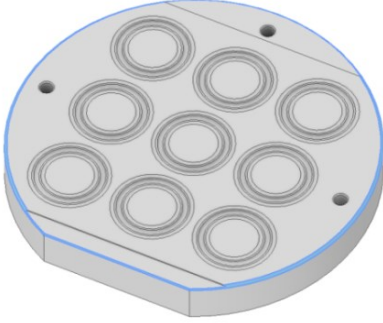
Měřidlo číslo	Obrázek	Název/Výrobce
M1		Digitální posuvné měřítko 0-150 mm
M2		Analogové posuvné měřítko 0-300 mm
M3		Digitální mikrometr 0-25 mm
M4		Měřidlo drsnosti povrchu
M5		Válečkový kalibr 24H7

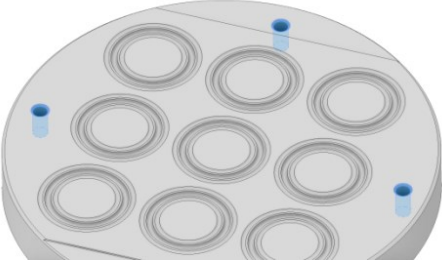
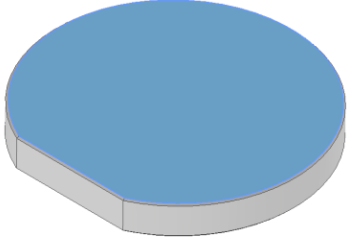
M6		Válečkový kalibr 16H7
M7		Válečkový kalibr 10H7

6.4 Výrobní postup spodního dílu formy

Výrobní výkres viz. Příloha P I.


Číslo Operace	Obrázek	Popis	Stroj	Nástroj	Měřidlo
1		Frézovat rovinnou plochu načisto	S1	T01	M1,M2
2		Frézovat obvod	S1	T02	M2

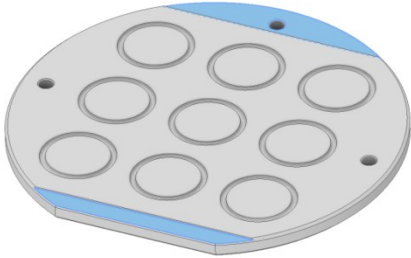
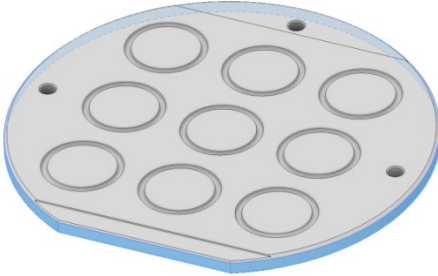

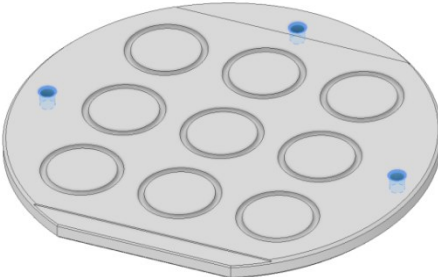
3		Frézovat dutiny formy a přetokové drážky celkem 9 ks	S1	T04	M1
4		Frézovat odsazení přetokové drážky celkem 9ks	S1	T03	M1
5		Frézovat odsazení rovinné plochy	S1	T02	M1
6		Srazit hrany	S1	T07	M1

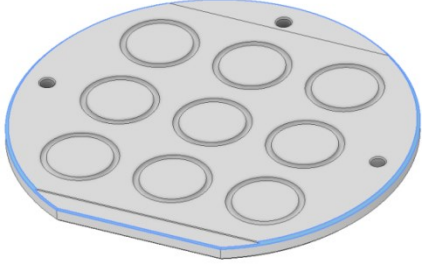
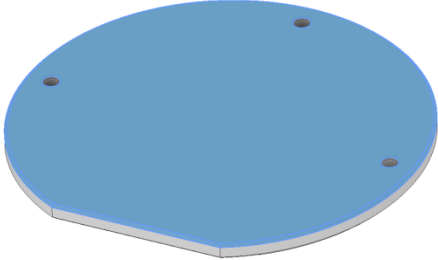
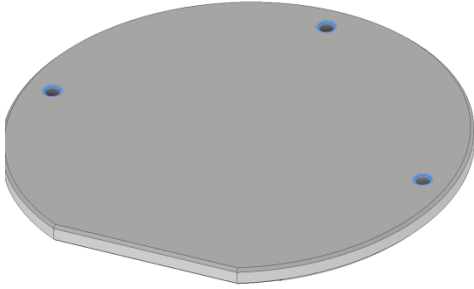
7		Vrtat srazit hrany a stružit otvory pro středící kolíky celkem 3 ks	S1	T05,T06,T16	M1
8		Přeupnout, frézovat rovinnou plochu načisto srazit hranu	S1	T01	M1

6.5 Výrobní postup horního dílu formy

Výrobní výkres viz. Příloha P II.

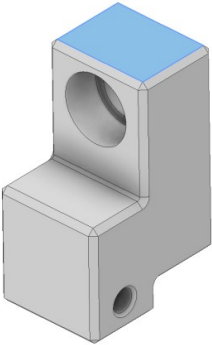
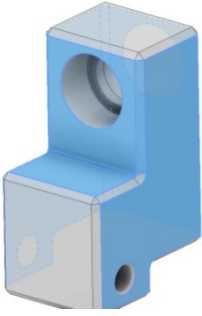
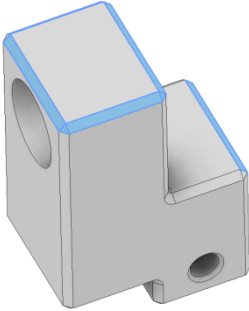
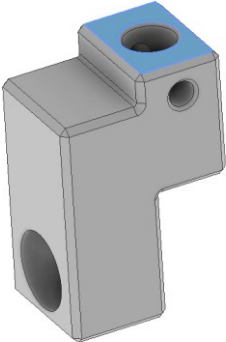
Číslo Operace	Obrázek	Popis	Stroj	Nástroj	Měřidlo
1		Frézovat rovinnou plochu nahotovo	S1	T01	M1

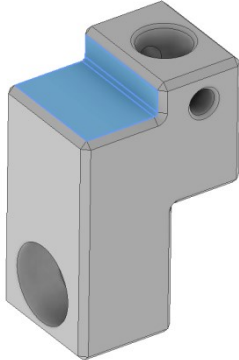
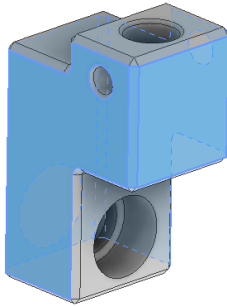
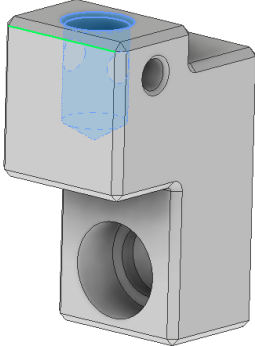
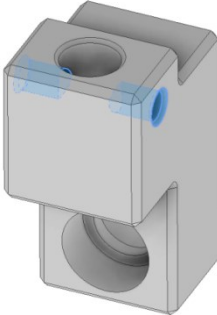
2		Frézovat odsazení rovinné plochy	S1	T02	M1
3		Frézovat obvod	S1	T02	M2
4		Frézovat dutiny formy celkem 9 ks	S1	T04	M1
5		Navrtat vrtat a srazit hrany otvorů pro středící kolíky celkem 3ks	S1	T05, T06, T08, T16	M7

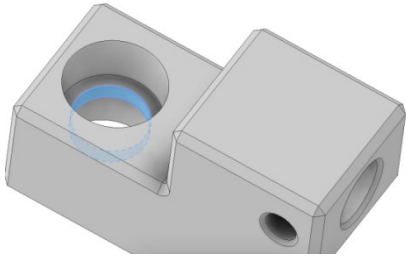
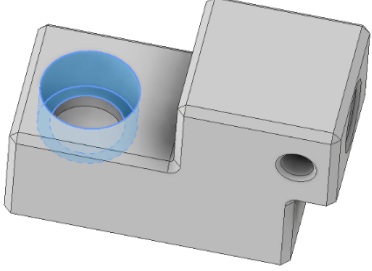
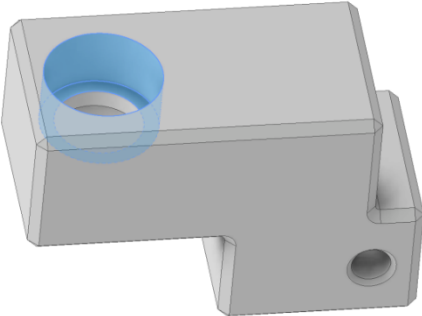
6		Srazit hranu po obvod	S1	T07	M1
7		Přeučnout frézovat rovinnou plochu a srazit hranu nahotovo	S1	T01,T07	M1
8		Srazit hrany otvorů pro středící kolíky celkem 3 ks	S1	T16	M1

6.6 Výrobní postup těla čelistí

Výrobní výkres viz. Příloha P III.

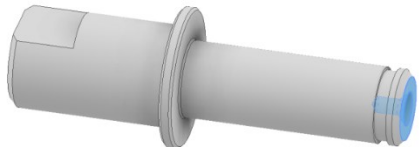
Číslo Operace	Obrázek	Popis	Stroj	Nástroj	Měřidlo
1		Frézovat horní rovinnou plochu nahotovo	S1	T02	M1
2		Frézovat stěny do hloubky odsazené rovinné plochy	S1	T02	M1
3		Srazit označené hrany	S1	T07	M1
4		Přeupnout frézovat horní plochu	S1	T02	M1

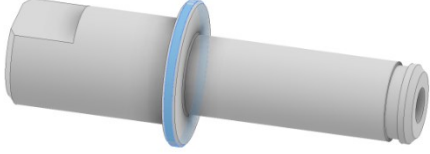
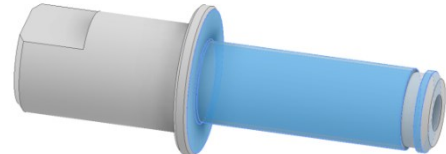
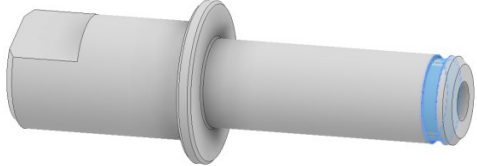
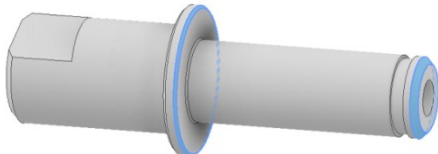
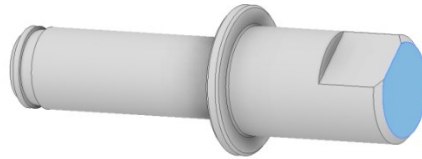
<p>5</p>		<p>Frézovat odsazenou rovinnou plochu</p>	<p>S1</p>	<p>T02</p>	<p>M1</p>
<p>6</p>		<p>Frézovat stěny do hloubky odsazené plochy z operace 2</p>	<p>S1</p>	<p>T02</p>	<p>M1</p>
<p>7</p>		<p>Vrtat stružit a srazit hranu otvoru</p>	<p>S1</p>	<p>T05,T11, T13,T16</p>	<p>M1,M6</p>
<p>8</p>		<p>Otočit vrtat a srazit hrany otvoru</p>	<p>S1</p>	<p>T05,T17, T18</p>	<p>M1</p>

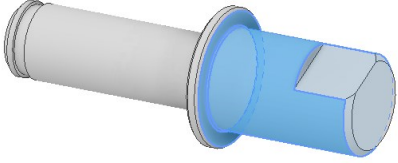
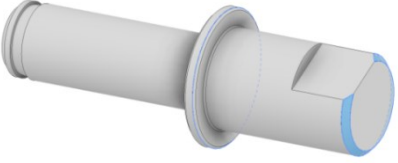
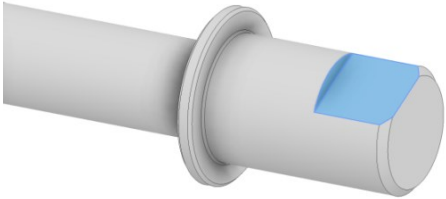
9		Přeupnout vrtat otvor	S1	T12	M1
10		Frézovat vybrání otvoru	S1	T03	M1,M5
11		Otočit frézovat vybrání otvoru	S1	T03	M1,M5

6.7 Výrobní postup hřídele

Výrobní výkres viz. Příloha P IV.

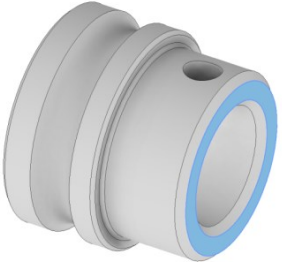
Číslo Operace	Obrázek	Popis	Stroj	Nástroj	Měřidlo
1		Zarovnat čelo navrtat středící důlek podepřít	S2	T09,T18	M1

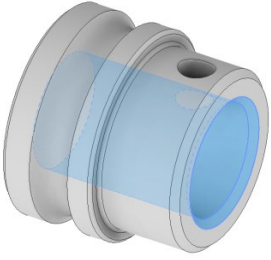
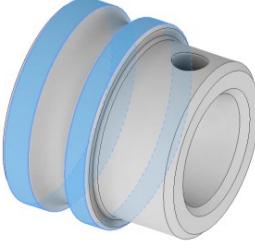
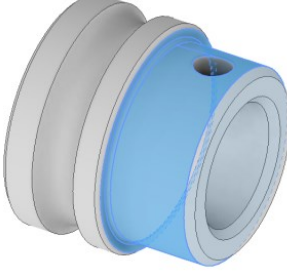
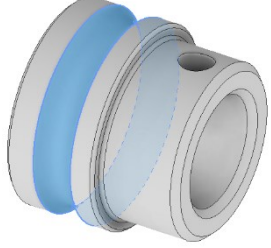
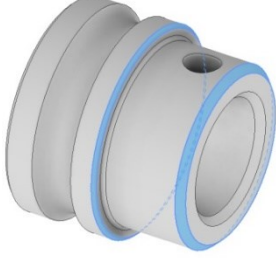
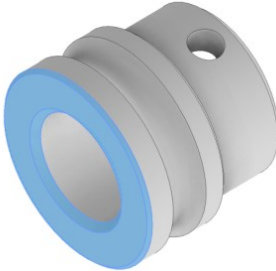
2		Soustružit velký průměr	S2	T18	M1
3		Jemně soustružit průměr na ložiska	S2	T18	M1,M3
4		Soustružit zápich na kroužek	S2	T19	M1
5		Srazit hrany	S2	T18	M1
6		Přeupnout zarovnat čelo na přesnou délku	S2	T18	M1

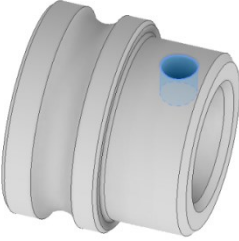
7		Soustružit průměr na kladku	S2	T18	M1,M3
8		Srazit hrany	S2	T18	M1
9		Frézovat plošku na konci	S2	T03	M1

6.8 Výrobní postup kladky

Výrobní výkres viz. Příloha P V.





Číslo Operace	Obrázek	Popis	Stroj	Nástroj	Měřidlo
1		Zarovnat čelo	S2	T18	M1

2		Vrtat stružit a srazit hranu otvoru	S2	T05,T11 T13,T16	M1,M6
3		Soustružit velký průměr	S2	T18	M1
4		Soustružit odsazený průměr	S2	T18	M1
5		Soustružit výsečový zápich	S2	T20	M1
6		Srazit hrany	S2	T18	M1
7		Přeupnout zarovnat na přesnou délku srazit hrany	S2	T18	M1

8		Vrtat otvor a řezat závit	S2	T11,T14 T15,T16	M1
---	---	---------------------------------	----	--------------------	----



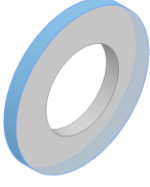
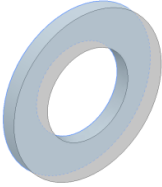
6.9 Výrobní postup rozpěrky

Výrobní výkres viz. Příloha P VI.

Číslo Operace	Obrázek	Popis	Stroj	Nástroj	Měřidlo
1		Zarovnat čelo	S2	T18	M1
2		Vrtat otvor	S2	T05,T10	M1
3		Soustružit vnější válcovou plochu	S2	T18	M1
4		Upíchnout na přesnou délku	S2	T19	M1,M3

6.10 Výrobní postup podložky

Výrobní výkres viz. Příloha P VII.

Číslo Operace	Obrázek	Popis	Stroj	Nástroj	Měřidlo
1		Zarovnat čelo	S2	T18	M1
2		Vrtat otvor	S2	T05,T10	M1
3		Soustružit vnější válcovou plochu	S2	T18	M1
4		Upíchnout na přesnou délku	S2	T19	M1,M3

7 TESTOVÁNÍ FUNKČNOSTI A ZÍSKANÉ VÝSLEDKY

Po výrobě obou dílů formy a všech součástí čelistí a jejich montáži a kompletaci je nutné otestovat jejich funkčnost.

7.1 Test funkčnosti formy

Forma byla po výrobě řádně očištěna a do otvorů byly naklepnuty středící kolíky. Následně již mohla být ověřena funkčnost, kdy se budou zjišťovat možné nedostatky a také jejich řešení.

Forma je určena k manuálnímu vkládání navážky do dutin formy. Postup práce je následující. Nejprve je potřeba formu před samotným lisováním a procesu vulkanizace vyhřát na stanovenou teplotu. To se děje tak, že se forma sestaví a vloží do vyhřátého vulkanizačního lisu. Vulkanizační lis se uzavře a forma se nechá několik minut, aby se vyhřála na vulkanizační teplotu. Následně je lis otevřen, forma vyjmuta z pracovního prostoru a otevřena. Do dutiny formy je vložena předem připravená navážka, která musí splňovat vypočtenou hmotnost sestávající z hmotnosti konečného výrobku (kroužku) zvětšeného o rezervu na přetoky. Hmotnost je vypočítána z objemu dutiny formy a hustoty použité kaučukové směsi. Dále je forma sestavena zpět a vložena do pracovního prostoru lisu. Lis se uzavře na stanovený tlak a nechá se proběhnout proces vulkanizace po stanovenou dobu. Po uplynutí této doby je forma vytažena a jsou z ní vyjmuty hotové výrobky, následně se nechá vychladnout, případně se pokračuje dalším cyklem lisování. Výrobky vyjmuty z dutin formy je potřeba zbavit přetoků. To je možné buďto pouhým utržením nebo ostřížením pomocí nůžek.



Obr. 28 Připravená navážka do formy



Obr. 29 Kroužky po vulkanizaci ve formě

Při prvních pokusech otestování funkčnosti byla do dutin vkládána navážka ve formě pásek. Bylo zjištěno, že při plnění dutiny kaučukovou směsí při manuálním vkládání je nutno pásek vložit přesně do tvaru budoucího kroužku. Nelze spoléhat na tečení materiálu při působení tlaku v lisu. I velmi malé mezery a nedokonalosti při manuálním vkládání měly za následek nedostatečné vyplnění dutiny a tím vznik defektů a zmetků. Stávalo se, že buďto kroužky nebyly spojeny a tvořili tak písmeno C, nebo se přebytečný materiál dostal do dělící roviny mimo dutinu formy a přetoku a forma tak byl mírně pootevřená a nebyly dodrženy rozměry kroužků. Následující obrázek ukazuje možné defekty při výrobě kroužků.



Obr. 30 Defekty kroužků připravených ve vulkanizační formě

Aby se předešlo nedostatečnému vyplnění dutiny, špatným tečením materiálu bylo nutné pásky předem ručně spojovat do uzavřeného tvaru kroužku. Tato činnost byla velmi

obtížná a časově náročná, jelikož bylo potřeba dodržet jak hmotnost navážky tak alespoň přibližné rozměry průměru kroužku aby materiál lehce vyplnil dutinu.

Z těchto důvodů bylo potřeba přijít s vhodným řešením, které by zajistilo snadnou přípravu navážky s danými rozměry i hmotností. Možností je použití vysekávacích nožů, pomocí kterých by se z pásu kaučukové směsi připravila navážka tvaru mezikruží s rozměry podle dutiny formy. Poté by bylo nutné pouze zajistit správnou tloušťku pásu kaučukové směsi, ze kterého by byla navážka vysekávána.

Vysekávací nože by však museli splňovat nutné požadavky a to, že jejich rozměry by měly být co nejbližší rozměrům dutiny formy, případně upraveny tak aby vysekávané mezikruží bylo o něco větší, čímž by se zajistila i materiálová rezerva na přetoky. Dále snadné vyjímání vyseknutého mezikruží kaučukové směsi, buď pomocí vyhazovacích otvorů, přes které by se mezikruží vytlačilo ven, nebo dělenou konstrukcí, kdy by bylo možné nůž vnitřní a vnější od sebe oddělit.

Proto byly pro účely diplomové práce vyrobeny jednoduché dělené vysekávací nože, pomocí kterých byla pokusně připravována navážka do formy. Konstrukce nožů je velmi jednoduchá z důvodu rychlé a snadné výroby. Sestávají z vnitřního a vnějšího nože, které jsou do sebe vloženy přes lícovaný otvor s uložením s vůlí. Tím je zajištěna sousost obou nožů. Při vysekávání jsou nože voženy do sebe, vyseknuto mezikruží a následně se vnitřní nůž vysune z lícovaného otvoru a vyjme se vyseknuté mezikruží sloužící jako navážka. Vysekávací nože jsou zobrazeny na následujícím obr. 29.



Obr. 31 Dělené nože vyrobené pro účely diplomové práce



Obr. 32 Navážka kaučukové směsi tvaru mezikruží připravené pomocí vysekávacích nožů

Využitím nožů se výrazně zkrátí čas nutný k přípravě navážky a omezí se i možnost nedokonalého vyplnění formy jako v případě vkládání pásků v prvních pokusech.

Následně proběhl další test funkčnosti, kterým byla dokázána správná funkce a konstrukce vulkanizační formy. Tvar a rozměry tělísek vyrobených ve formě odpovídají požadovaným rozměrům při návrhu a tedy i rozměrům, které udává norma ISO 37. Odvdušnění dutin je naprosto dostatečné přes dělicí rovinu formy a na kroužcích nevznikají defekty, jako jsou puchýřky či nedotečená místa.

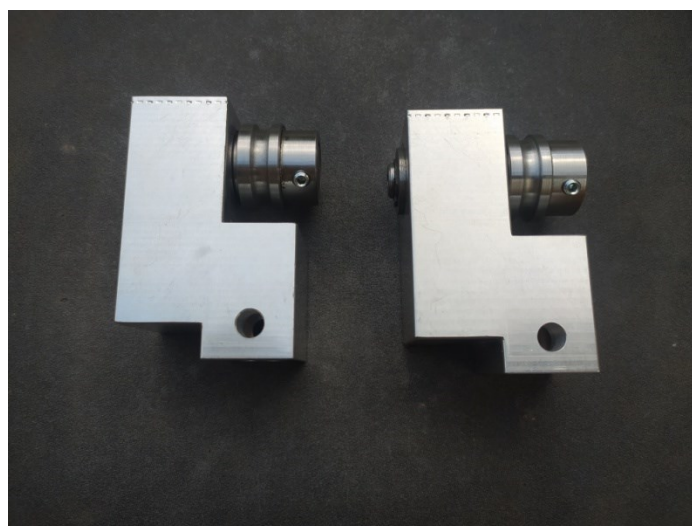
Vzniklé přetoky kroužků je možné odstranit odtržením. Při obtížnějším odtrhávání je potřeba si pomoci nůžkami.

7.2 Test funkčnosti čelistí

Montáž sestavy čelistí proběhla dle zásad montážních postupů vyplývající z konstrukce čelistí. Nejprve bylo osazeno první jehlové ložisko na hřídel pomocí nalisování. Následně byla vnitřní část ložiska s valivými tělíska opatřena mazacím tukem. Vnější kroužek ložiska a otvor uložení ložiska v čelisti byly očištěny benzínovým čističem. Následně byla hřídel i s ložiskem vložena do čelisti a k zajištění ložiska v otvoru bylo použito speciální lepidlo určené k tomuto účelu. Poté byla vložena na hřídel rozpěrka zajišťující správnou vzdálenost vnitřních ložiskových kroužků na hřídeli. Stejným způsobem bylo připraveno druhé jehlové ložisko. Valivé tělíska byly natřeny tukem a vnější kroužek i otvor v čelisti očištěn. Následně bylo ložisko nalisováno na hřídel a lepidlem zajištěno v otvoru. Zajištění ložisek v čelistech je tedy řešeno použitím lepidla, jelikož uložení v čelistech je vyrobeno s vůlí. Na hřídeli je uložení ložiskových kroužků řešeno s přesahem a tedy nalisováním. Nakonec je zajištěna samotná hřídel proti vypadnutí a axiálnímu posunu pomocí podložky a pojistného kroužku na hřídeli. Podložka byla vyrobena tak aby byla vymezena vůle v axiálním směru na minimální hodnotu, při které nedochází k posunutí působí síly, ale zároveň aby bylo možné s hřídelí lehce otáčet. Následně zbývá nasunout na pracovní konec hřídele kladku a zajistit jí pomocí stavěcího šroubu. Tímto je dokončena montáž sestavy čelistí. Stejným způsobem je postupováno i u druhé sestavy čelistí.



Obr. 33 Sestava čelistí před montáží

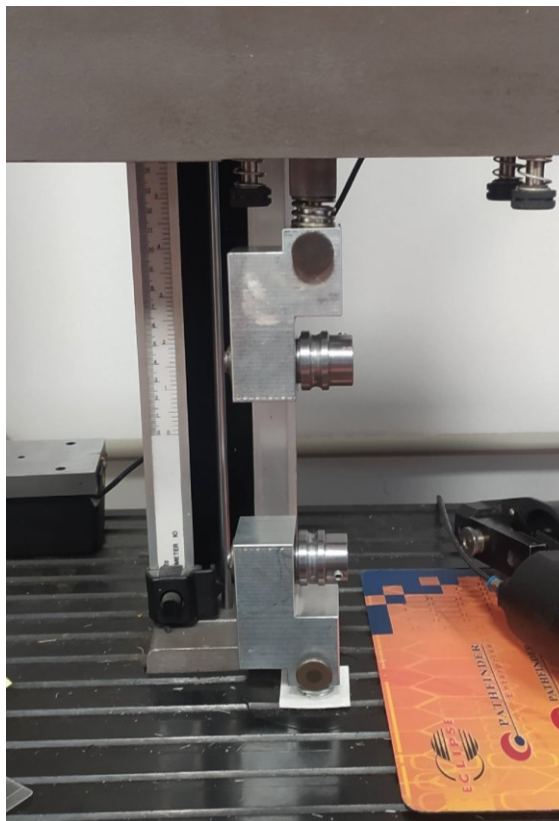


Obr. 34 Zkompletovaný pár čelistí

Použitý mazací tuk má označení MOGUL LV 2-3 a je to víceúčelové plastické mazivo na bázi lithných mýdel. Dle technického listu je doporučeno k použití mazání kluzných i valivých ložisek v běžných či středně náročných podmínkách zatížení a v rozsahu teplot od -30 až $+120$ °C.

K zajištění vnějších kroužků ložisek bylo použito lepidlo s označením GECOHEM 91.243 POJIŠTĚNÍ ŠROUBŮ STŘEDNÍ PEVNOST, jež je vhodné jak k zajištění šroubových spojů, tak i cylindrických spojovacích částí. Lepidlo vytvrzuje bez přístupu kyslíku, při nanesení na kovové kontaktní plochy. Teplotní rozsah použití je od -55 do $+150$ °C. Konečná pevnost po aplikaci je do 24 až 36 hodin.

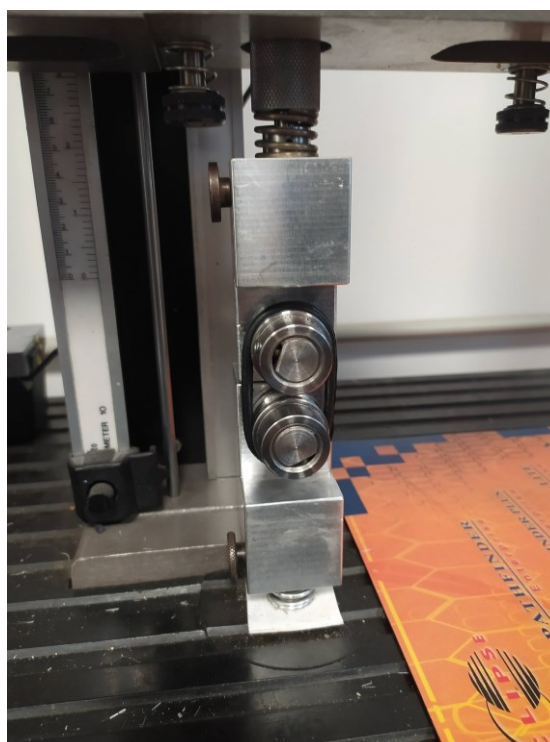
Čelisti je následně nutné upevnit do upínačů na samotný stroj. Děje se tak velmi jednoduše nasazením čelistí na válcový konec upínacího trnu stroje a jejich zajištěním pomocí zajišťovacího kolíku. Poté už je jen nutné nastavit správnou vzdálenost os kladek mezi sebou na hodnotu udávající normou. Děje se tak nastavením v softwaru počítače připojeného ke stroji.



Obr. 35 Čelisti upnuty na trhacím stroji

Následně už je možné otestovat čelisti tahovou zkouškou zkušebními tělísky tvaru kroužků.

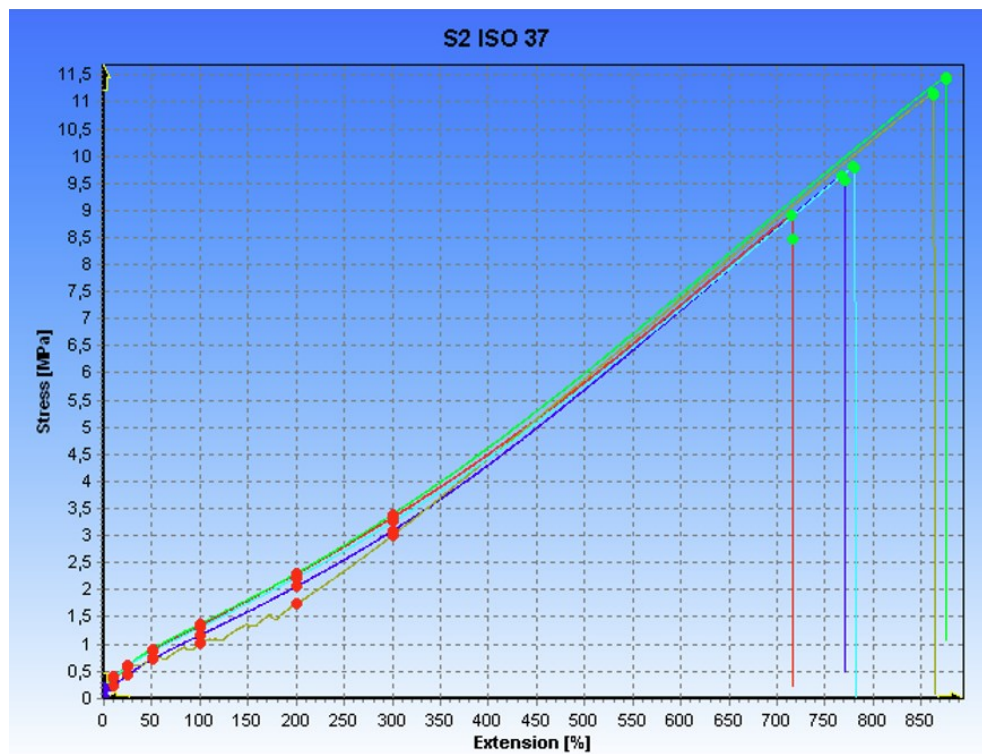
Sestavu čelistí umístěných na stroji v průběhu zkoušky lze vidět na následujícím obr. 34.



Obr. 36 Čelisti s nasazeným kroužkem ve výchozí poloze

7.3 Průběh tahové zkoušky

Tahová zkouška byla provedena dle hodnot a informací, kterou udává příslušná norma ISO 37. Kroužky byly připraveny ve vulkanizační formě, poté byly zbaveny přetoků a vizuálně zkontrolovány zda na nich nejsou defekty. Viditelně vadné vzorky musí být vyřazeny. Následně byly vzorečky kondicionovány po stanovenou dobu při laboratorní teplotě a změřeny jejich rozměry. Dále již proběhla samotná tahová zkouška, při které se čelisti nastavily na přesnou vzdálenost od sebe, a zatížení bylo nastaveno na nulu. Poté se kroužek nasadil na kladky čelistí a byl spuštěn chod stroje, při kterém se zaznamenávají jak aktuální poloha příčnicku, tak velikost zatížení. Děje se tak automaticky pomocí počítače připojeného ke stroji. Rychlost příčnicku musí být nastavena na 500 mm/min. Výsledek tahové zkoušky je zobrazen ve formě tahové křivky v grafu jak je vidět na následujícím obr. 35.



Obr. 37 Graf průběhu tahové zkoušky kroužků

Z uvedených obrázků, textu a získaných dat lze konstatovat, že funkčnost čelistí byla ověřena a je správná. Výsledky tahové zkoušky jsou konzistentní a shodují se s teoretickými výpočty i praktickými výsledky provedenými pomocí tahové zkoušky na tělískách tvaru oboustranných lopatek připravených ze stejné kaučukové směsi.

ZÁVĚR

Teoretická část diplomové práce shrnuje základní informace o polymerních materiálech zaměřených blíže na kaučuky, jejich směsi, přísady a zpracování. Dále jsou popsány možnosti testování polymerních materiálů, kaučuků a pryží. V diplomové práci také nalezneme informace o vulkanizačních formách, jejich rozdělení, používaných materiálech a požadavcích na jejich konstrukci. V poslední části jsou shrnuty informace k obrábění a možnosti programování číslicově řízených obráběcích strojů.

Praktická část je rozdělena na dvě hlavní části, z nichž první se zabývá návrhem a výrobou vulkanizační formy pro přípravu zkušebních tělísek a druhá část se zabývá návrhem a výrobou čelistí k jejich zkoušení pomocí tahové zkoušky. V obou případech jsou uvedeny různé možnosti návrhů i s informacemi o vhodnosti daného řešení. Následně byly jednotlivé návrhy porovnány a vybrány nejideálnější varianty z hlediska materiálních dispozic, výroby, montáže a snadné použitelnosti pro obsluhu. Poté byly tyto vybrané konstrukční návrhy dále detailněji zpracovány a vytvořena výkresová dokumentace a podklady pro technickou přípravu výroby ve formě výrobních postupů jednotlivých částí. Po výrobě a montáži do funkčního celku bylo přistoupeno k testům funkčnosti, které proběhly dle očekávání a splnily veškeré požadavky na ně kladené. Vulkanizační forma poskytuje možnost výroby pryžových zkušebních tělísek tvaru kroužků s kruhovým průřezem a sestava čelistí zase možnost jejich zkoušení.

Konstrukční řešení čelistí poskytuje možnost výměny kladek. Je tak možné dodatečně vyrobit kladky s jinými rozměry či tvary dosedacích ploch a tím možnosti zkoušek jiných než v průřezu kruhových kroužků, například tvaru čtverce, obdélníku či tvaru X. Tímto lze dále rozšiřovat možnosti testování kroužků pomocí tahové zkoušky kroužků.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] ING. BĚHÁLEK, Luboš, Ph.D. *Polymery* [online]. 2016 [vid. 2024-02-19]. ISBN 978-80-88058-66-3. Dostupné z: <https://publi.cz/books/180/Uvod.html>
- [2] HOVORKA, František. *Technologie chemických látek*. Vyd. 1. Praha: Vydavatelství VŠCHT, 2005. ISBN 978-80-7080-588-6.
- [3] PRINCI, Elisabetta. *Rubber: Science and Technology*. B.m.: Walter de Gruyter GmbH & Co KG, 2019. ISBN 978-3-11-064032-8.
- [4] MALÁČ, Jiří. *Gumárenská technologie 2. Kaučuky* [online]. [vid. 2024-02-19]. Dostupné z: <https://adoc.pub/jii-mala-gumarenska-technologie-2-kauuky-1-obsah.html>
- [5] *Specifikace přírodního kaučuku - STEMA spol. s r.o.* [online]. [vid. 2024-02-19]. Dostupné z: <https://www.stema-trade.cz/kaucuky-prirodni>
- [6] *Historie kaučuku a pryže | TYMA CZ* [online]. [vid. 2024-02-19]. Dostupné z: <https://www.tyma.cz/technicke-informace/materialy-remenu/historie-kaucuk-pryz/>
- [7] DUCHÁČEK, Vratislav a Zdeněk. HRDLÍČKA. *Gumárenské suroviny a jejich zpracování*. Vyd. 4., přeprac. Praha: Vysoká škola chemicko-technologická v Praze, 2009. ISBN 978-80-7080-713-2.
- [8] DUCHÁČEK, Vratislav. *Polymery: výroba, vlastnosti, zpracování, použití*. Vyd. 2., přeprac. Praha: Vydavatelství VŠCHT, 2006. ISBN 978-80-7080-617-3.
- [9] MALÁČ, Jiří. *Gumárenská technologie 3. Přířady*. *adoc.pub* [online]. [vid. 2024-02-19]. Dostupné z: <https://adoc.pub/jii-mala-gumarenska-technologie-3-pisady-1-obsah.html>
- [10] MALÁČ, Jiří. *Gumárenská technologie 4. Směsi*. *adoc.pub* [online]. [vid. 2024-02-19]. Dostupné z: <https://adoc.pub/jii-mala-gumarenska-technologie-4-smsi-1-obsah.html>
- [11] LEE, K. S. a A. WHELAN. *Developments in Rubber Technology—4*. B.m.: Springer Science & Business Media, 2012. ISBN 978-94-009-3435-1.
- [12] SIMPSON, Richard B. *Rubber Basics*. 1. vyd. Shawbury,UK: ISmithers Rapra Publishing, 2002. ISBN 978-1-85957-307-5.
- [13] CIULLO, Peter A. a Norman HEWITT. *The Rubber Formulary*. 1. vyd. Norwich, New York 13815: William Andrew, 1999. ISBN 978-0-8155-1929-4.
- [14] CHANDRASEKARAN, Chellappa. *Essential Rubber Formulary: Formulas for Practitioners*. B.m.: William Andrew, 2007. ISBN 978-0-8155-1709-2.
- [15] CIESIELSKI, Andrew. *An Introduction to Rubber Technology*. 1. vyd. Shawbury,UK: Smithers Rapra Publishing, 1999. ISBN 978-1-85957-150-7.
- [16] MORTON, Maurice. *Rubber Technology* [online]. 3. vyd. Akron, Ohio: Springer Science & Business Media, 2013. ISBN 978-90-481-4010-7. Dostupné z: DOI:10.1007/978-94-017-2925-3
- [17] MALÁČ, Jiří. *Jiří Maláč: Gumárenská technologie 5. Procesy* [online]. [vid. 2024-02-20]. Dostupné z: <https://docplayer.cz/16222517-Jiri-malac-gumarenska-technologie-5-procesy-1-obsah.html>
- [18] KOHJIYA, Shinzo a Yuko IKEDA. *Chemistry, Manufacture and Applications of Natural Rubber*. B.m.: Woodhead Publishing, 2021. ISBN 978-0-12-818844-6.
- [19] KHIMI, Raa a K. PICKERING. A New Method to Predict Optimum Cure Time of Rubber Compound Using Dynamic Mechanical Analysis. *Journal of Applied Polymer Science* [online]. 2014, **131**. Dostupné z: doi:10.1002/app.40008
- [20] HLUCHÝ, Miroslav a Jan KOLOUCH. *Strojírenská technologie 1*. Praha: Scientia, 2013. ISBN 978-80-86960-26-5.
- [21] EHRENSTEIN, Gottfried W. *Polymerní kompozitní materiály*. v ČR 1. vyd. Praha, Česko: Scientia, 2009. ISBN 978-80-86960-29-6.

- [22] PREKOP, Štefan. *Gumárska technológia: II.* B.m.: Gc tech, 2003. ISBN 978-80-88914-85-3.
- [23] ČESKÝ NORMALIZAČNÍ INSTITUT. ČSN ISO 37 (621436) - *Pryž, vulkanizovaný nebo termoplastický elastomer - Stanovení tahových vlastností.* únor 2019
- [24] ČESKÝ NORMALIZAČNÍ INSTITUT. ČSN ISO 6133 (621459), *Pryž a plasty - Vyhodnocení záznamových křivek s více vrcholy získaných při stanovení strukturní pevnosti a soudržnosti.* červen 2018
- [25] ČESKÝ NORMALIZAČNÍ INSTITUT. ČSN ISO 48-2 (621433), *Pryž, vulkanizovaný nebo termoplastický elastomer - Stanovení tvrdosti - Část 2: Tvrdost mezi 10 IRHD a 100 IRHD.* září 2019
- [26] ČESKÝ NORMALIZAČNÍ INSTITUT. ČSN 62 1466 (621466), *Pryž. Stanovení odolnosti proti odírání na přístroji s otáčivým bubnem.* březen 1993
- [27] ČESKÝ NORMALIZAČNÍ INSTITUT. ČSN ISO 48-2 (621433), *Pryž, vulkanizovaný nebo termoplastický elastomer - Stanovení tvrdosti - Část 2: Tvrdost mezi 10 IRHD a 100 IRHD.* září 2019
- [28] ISO 4662:2017 - Rubber, vulcanized or thermoplastic — Determination of rebound resilience. *iTeh Standards* [online]. [vid. 2024-02-22]. Dostupné z: <https://standards.iteh.ai/catalog/standards/iso/7b982f0b-3f32-4680-a24e-366e7de34bbd/iso-4662-2017>
- [29] Katalog nástrojové oceli. www.bohler.cz/cs/vyroba/ [online]. Dostupné z: https://www.bohler.cz/app/uploads/sites/109/2019/08/katalog_bohler_vyroba.pdf
- [30] BOBČÍK, Ladislav. *Formy pro zpracování plastů. II. díl.*, 1. vydání. B.m.: Uniplast Brno, 1999.
- [31] LENFELD, Petr. *Technologie II.: Zpracování plastů. Část 2.* B.m.: Technická univerzita v Liberci, 2005. ISBN 978-80-7372-037-7.
- [32] HUMÁR, Anton. *Materiály pro řezné nástroje.* Praha, Česko: MM Publishing, 2008. ISBN 978-80-254-2250-2.
- [33] DUCHÁČEK, Vratislav. *Přírodní a syntetické kaučuky, termoplastické elastomery.* Zlín: Česká společnost průmyslové chemie, 2006. ISBN 80-02-01784-6.
- [34] HLUCHÝ, Miroslav, Jan KOLOUCH a Rudolf PAŇÁK. *Strojírenská technologie 2. 2., upr.vyd.* Praha: Scientia, 2001. ISBN 80-7183-244-8.
- [35] KOCMAN, Karel. *Technologické procesy obrábění.* Brno: Akademické vydavatelství CERM, 2011. ISBN 978-80-7204-722-2.
- [36] BÍLEK, Ondřej a Imrich LUKOVICS. *Výrobní inženýrství a technologie.* 2014. ISBN 978-80-7454-471-2.
- [37] ŘEŘÁBEK, Antonín. *Stavba a provoz strojů 1 Strojní součásti* [online]. Praha: Scientia, 2006 [vid. 2024-04-24]. Dostupné z: <http://www.academia.cz/stavba-a-provoz-stroju-1-strojni-soucasti--rerabek-antonin--scientia--2006>
- [38] LEINVEBER, Jiří a Pavel VÁVRA. *Strojnické tabulky.* Úvaly: Albra, 2011. ISBN 978-80-7361-081-4.

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

a	Vzdálenost na nosníku
b	Vzdálenost na nosníku
D_i	Vnitřní průměr kroužku
D_p	Průměr průřezu kroužku
D_p'	Průměr průřezu kroužku zvětšený o smrštění
D_s	Střední průměr kroužku
D_s'	Střední průměr kroužku zvětšený o smrštění
F	Zatěžující síla
o_s	Obvod středního průměru kroužku
p	Velikost přetoku
R_A	Reakce v bodě A
R_B	Reakce v bodě B
s	Velikost smrštění
S_p	Plocha průřezu kroužku
V_k	Objem kroužku
V_p	Objem přetoku

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1 Chemický vzorec přírodního kaučuku [4]	13
Obr. 2 Vulkanizační křivka [19]	16
Obr. 3 Schéma technologie lisování [8].....	18
Obr. 4 Schéma technologie přetlačování [17]	19
Obr. 5 Základní druhy namáhání [1]	21
Obr. 6 Časové průběhy dynamického namáhání [1].....	21
Obr. 7 Rozměry zkušebního tělesa typu oboustranných lopatek [23]	22
Obr. 8 Návrh formy, uspořádání do kruhového pole	39
Obr. 9 Návrh formy, uspořádání do kruhového pole s využitím středu	39
Obr. 10 Návrh formy, uspořádání do obdélníkového pole	40
Obr. 11 Návrh formy, uspořádání do čtvercového pole	40
Obr. 12 3D model kroužku vytvořený v Inventor 2023	42
Obr. 13 Informace o obecných vlastnostech pro 3D model kroužku	42
Obr. 14 Návrh dutiny formy s přetokovou drážkou a základními rozměry	43
Obr. 15 Detail dutiny formy s přetokovou drážkou.....	43
Obr. 16 Informace o obecných vlastnostech pro 3D model přetokové drážky.....	43
Obr. 17 Příklad sestavy zkušebního zařízení k testování tahových vlastností kroužků[23]	44
Obr. 18 Upínač trhačského stroje s vymezením vůle pomocí tlačné pružiny.....	45
Obr. 19 Schéma návrhu jednoduchých čelistí	45
Obr. 20 Schéma návrhu zalomených čelistí.....	46
Obr. 21 Schéma nosníku o dvou podporách vyjadřující zatížení hřídele čelistí.....	47
Obr. 22 Výsledný průběh zatížení působícího na nosník	48
Obr. 23 Spoj hřídele s nábojem pomocí pera těsného [37].....	49
Obr. 24 Zajištění hřídele a kladky pomocí stavěcího šroubu	49
Obr. 25 Schéma konstrukčního řešení tvaru hřídele.....	50
Obr. 26 Obráběcí centrum DMU 50	51
Obr. 28 Obráběcí centrum NTX 1000	52
Obr. 29 Připravená navážka do formy	69
Obr. 30 Kroužky po vulkanizaci ve formě	70
Obr. 31 Defekty kroužků připravených ve vulkanizační formě	70
Obr. 32 Dělené nože vyrobené pro účely diplomové práce.....	71
Obr. 33 Navážka kaučukové směsi tvaru mezikruží připravené pomocí vysekávacích nožů	72
Obr. 34 Sestava čelistí před montáží	73

Obr. 35 Zkompletovaný pár čelistí	73
Obr. 36 Čelisti upnuty na trhacím stroji	74
Obr. 37 Čelisti s nasazeným kroužkem ve výchozí poloze	74
Obr. 38 Graf průběhu tahové zkoušky kroužků.....	75

SEZNAM TABULEK

Tab. 1 Rozměry zkušebních tělísek tvaru oboustranných lopatek [23]	22
Tab. 2 Technické údaje stroje DMU 50	51
Tab. 3 Technické údaje stroje NTX 1000	52

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha P I SPODNÍ DÍL FORMY

Příloha P II HORNÍ DÍL FORMY

Příloha P III TĚLO ČELISTI

Příloha P IV HRÍDEL

Příloha P V KLADKA

Příloha P VI ROZPĚRKA

Příloha P VII PODLOŽKA

Příloha P VIII SESTAVA ČELISTI

Příloha P IX SESTAVA FORMY

