

Přenos tvaru modelu na sádrové jádro

Bc. Libor Kučera

Diplomová práce
2012



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická
Ústav výrobního inženýrství
akademický rok: 2011/2012

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Libor KUČERA**
Osobní číslo: **T10550**
Studijní program: **N 3909 Procesní inženýrství**
Studijní obor: **Řízení jakosti**

Téma práce: **Přenos tvaru modelu na sádrové jádro**

Zásady pro vypracování:

Zpracovat v teoretické části:

1. Materiály na výrobu modelů.
2. Technologie výroby modelů.
3. Segmentové formy, segmenty.
4. Shrnutí teoretické části.

Zpracovat v praktické části:

5. Cíle diplomové práce
6. Postup výroby forem v Barum Continental.
7. Technologické problémy výroby segmentů.
8. Stanovení technologických vlastností flexibelu.
9. Ekonomické zhodnocení.
10. Závěr

Rozsah diplomové práce:

Rozsah příloh:

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

Seznam odborné literatury:

Dvořák, Z., Javořík, J. – Elastomerní konstrukční materiály, ČSVTS, ISBN
978-80-02-02155-1

Dvořák, Z., Javořík, J., KONSTRUKČNÍ MATERIÁLY ELASTOMERNÍ A FORMY PRO JEJICH
VÝROBU,

http://web.ft.utb.cz/cs/docs/T9KSV_konstruk_n_materi_ly_elastomern_skripta.pdf

Vedoucí diplomové práce:

doc. Ing. Zdeněk Dvořák, CSc.

Ústav výrobního inženýrství

Datum zadání diplomové práce:

13. února 2012

Termín odevzdání diplomové práce:

18. května 2012

Ve Zlíně dne 2. února 2012


doc. Ing. Roman Čermák, Ph.D.
děkan




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

Příjmení a jméno: KUCERA LIBOR

Obor: Řízení jakosti

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že

- beru na vědomí, že odevzdáním diplomové/bakalářské práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, bez ohledu na výsledek obhajoby ¹⁾;
- beru na vědomí, že diplomová/bakalářská práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitním informačním systému dostupná k nahlédnutí, že jeden výtisk diplomové/bakalářské práce bude uložen na příslušném ústavu Fakulty technologické UTB ve Zlíně a jeden výtisk bude uložen u vedoucího práce;
- byl/a jsem seznámen/a s tím, že na moji diplomovou/bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, zejm. § 35 odst. 3 ²⁾;
- beru na vědomí, že podle § 60 ³⁾ odst. 1 autorského zákona má UTB ve Zlíně právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona;
- beru na vědomí, že podle § 60 ³⁾ odst. 2 a 3 mohu užít své dílo – diplomovou/bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití jen s předchozím písemným souhlasem Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše);
- beru na vědomí, že pokud bylo k vypracování diplomové/bakalářské práce využito softwaru poskytnutého Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně nebo jinými subjekty pouze ke studijním a výzkumným účelům (tedy pouze k nekomerčnímu využití), nelze výsledky diplomové/bakalářské práce využít ke komerčním účelům;
- beru na vědomí, že pokud je výstupem diplomové/bakalářské práce jakýkoliv softwarový produkt, považují se za součást práce rovněž i zdrojové kódy, popř. soubory, ze kterých se projekt skládá. Neodevzdání této součásti může být důvodem k neobhájení práce.

Ve Zlíně 16.5.2012

Libor Kucera

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

ABSTRAKT

Cílem této diplomové práce je popsat výrobu modelů a forem, provést měření a na jeho základě vybrat vhodný typ flexibelu. Práce je rozdělena do několika částí. Teoretická část se zabývá výrobou modelů a forem z materiálového i technologického hlediska. V praktické části je popsána stávající technologie výroby modelu, flexibelu a sádrových jader. Dále je provedeno měření přenosu tvaru modelu na sádrové jádro, jeho porovnání s 3D CAD modelem a vyhodnocením měření.

Klíčová slova: model, flexibel, sádrové jádro, formy

ABSTRACT

Topic of this work is to describe production of models and molds, carry out measurements and based on these results to choose suitable type of flexible. Work is divided into several parts. Theoretical part deals with production of models and molds from material and technological point of view .

Practical part describes present technology of production models, flexibles and plaster cores. Further is performed measurements of shape fidelity from models to plaster cores, its comparison with 3D models and evaluation of measurements.

Keywords: model, flexible, plaster core, mold

Na tomto místě bych rád poděkoval svému vedoucímu diplomové práce, panu doc. Ing. Zdeňku Dvořákovi CSc. za vedení při práci. Dále děkuji panu Ing. Jiřímu Kratochvílovi z firmy Barum Continental spol. s r.o. za technickou pomoc. Děkuji také celé své rodině za jejich podporu při studiu.

Souhlasím s tím, že s výsledky mé práce může být naloženo podle uvážení vedoucího diplomové práce a ředitele ústavu. V případě publikace budu uveden jako spoluautor.

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

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

Ve Zlíně 16. 5. 2012

.....

Podpis diplomanta

OBSAH

| | |
|--|-----------|
| ÚVOD | 10 |
| I TEORETICKÁ ČÁST | 11 |
| 1 MATERIÁLY PRO VÝROBU MODELŮ | 12 |
| 1.1 VLASTNOSTI MATERIÁLŮ MODELŮ | 12 |
| 1.2 DŘEVO..... | 14 |
| 1.3 POLYMERNÍ DŘEVO | 15 |
| 1.4 KOVY | 17 |
| 1.5 VOSKY..... | 18 |
| 1.6 PRYSKYŘICE | 21 |
| 1.7 SILIKONY | 23 |
| 1.8 KERAMICKÉ MATERIÁLY | 25 |
| 2 TECHNOLOGIE VÝROBY MODELŮ | 26 |
| 2.1 TECHNOLOGIE OBRÁBĚNÍ | 26 |
| 2.2 ROZDĚLENÍ METOD OBRÁBĚNÍ | 26 |
| 2.2.1 Základní metody obrábění | 26 |
| 2.2.2 Abrazivní metody obrábění..... | 31 |
| 2.2.3 Beztřískové metody dokončování obroběných povrchů | 32 |
| 2.2.4 Nekonvenční metody obrábění | 33 |
| 2.3 RAPID PROTOTYPING..... | 34 |
| 2.3.1 Stereolitografie | 36 |
| 2.3.2 3D tisk..... | 37 |
| 2.3.3 Selective Laser Sintering (SLS)..... | 39 |
| 2.3.4 Použití modelů vyrobených metodou Rapid prototyping..... | 40 |
| 2.4 VÝROBA SKOŘEPINOVÝCH MODELŮ | 41 |
| 2.4.1 Galvanoplastika..... | 41 |
| 2.4.2 Metalizace | 44 |
| 3 FORMY | 47 |
| 3.1 SLÉVÁRENSKÉ FORMY | 48 |
| 3.1.1 Netrvalé formy | 49 |
| 3.1.2 Polotrvalé formy | 51 |
| 3.1.3 Trvalé formy | 51 |
| 3.2 LISOVACÍ A PŘETLAČOVACÍ FORMY | 52 |
| 3.2.1 Lisovací formy | 52 |
| 3.2.2 Přetlačovací formy | 54 |
| 3.2.3 Formy na lisování práškových kovů..... | 54 |
| 3.3 VSTŘIKOVACÍ FORMY | 55 |
| 3.4 LISOVACÍ FORMY NA VÝROBU PNEUMATIK..... | 58 |
| 3.4.1 Dvoudílné formy | 59 |

| | | |
|-----------|--|------------|
| 3.4.2 | Segmentové formy..... | 61 |
| 4 | SHRNUTÍ TEORETICKÉ ČÁSTI..... | 62 |
| II | PRAKTICKÁ ČÁST..... | 63 |
| 5 | CÍLE PRAKTICKÉ ČÁSTI..... | 64 |
| 6 | POSTUP VÝROBY SEGMENTOVÉ FORMY VE VFB..... | 65 |
| 6.1 | VÝROBA SEGMENTOVÉ FORMY V VFB..... | 65 |
| 6.2 | VYUŽITÍ CAD/CAM SYSTÉMU PŘI VÝROBĚ SEGMENTOVÝCH FOREM..... | 68 |
| 6.3 | FRÉZOVÁNÍ MODELŮ..... | 69 |
| 6.3.1 | Technický popis materiálu Necuron 651..... | 70 |
| 6.3.2 | Postup výroby modelu..... | 71 |
| 6.4 | ODLÉVÁNÍ FLEXIBELU..... | 75 |
| 6.4.1 | Technický popis silikonových materiálů..... | 75 |
| 6.4.2 | Postup výroby silikonové formy..... | 75 |
| 6.5 | ODLÉVÁNÍ SÁDROVÝCH JADER..... | 77 |
| 6.5.1 | Technický popis sádry Thermomold..... | 77 |
| 6.5.2 | Postup výroby sádrového jádra..... | 78 |
| 7 | MĚŘENÍ MODELŮ, FLEXIBELU A SÁDROVÝCH JADER..... | 79 |
| 7.1 | ZPŮSOB MĚŘENÍ..... | 79 |
| 7.1.1 | Specifikace měřeného tvaru..... | 79 |
| 7.1.2 | Měřená síť bodů..... | 80 |
| 7.1.3 | Multisenzorový souřadnicový měřicí stroj Werth..... | 80 |
| 7.1.4 | Měřené veličiny..... | 82 |
| 7.2 | MĚŘENÍ MODELU..... | 83 |
| 7.3 | MĚŘENÍ FLEXIBELU..... | 84 |
| 7.4 | MĚŘENÍ SÁDROVÝCH JADER..... | 86 |
| 7.5 | GRAFICKÉ VYHODNOCENÍ MĚŘENÍ..... | 91 |
| 8 | DISKUZE VÝSLEDKŮ..... | 94 |
| | ZÁVĚR..... | 95 |
| | SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY..... | 96 |
| | SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK..... | 99 |
| | SEZNAM OBRÁZKŮ..... | 100 |
| | SEZNAM TABULEK..... | 101 |
| | SEZNAM GRAFŮ..... | 102 |
| | SEZNAM ROVNIC..... | 103 |

ÚVOD

Rychlý rozvoj výpočetní techniky v 60. letech minulého století dal základ novému způsobu obrábění - CNC obrábění. Číslicově řízené stroje, zejména CNC frézovací centra, našly své uplatnění i v modelárnách. Snadné 3D modelování v moderních CAD programech, přehledné navržení obráběcí strategie za pomoci CAM programů a následná realizace procesu obrábění na CNC stroji vytváří rychlý a pružný výrobní systém. Stále se vyvíjející CAD/CAM programy poskytují možnost nejrůznějších simulací, které ještě ve virtuálním prostředí upozorní na chyby způsobené většinou lidským faktorem. Tím je minimalizována fáze výroby prototypu a rovněž se snižují náklady. [1]

Tato skutečnost umožňuje designérům a konstruktérům vyhovět čím dál větším nárokům na složitější výrobky. CAD/CAM systémy umožňují také technologům zlevňovat a zpřesňovat výrobu. Současné požadavky na vlastnosti a design pneumatiky pro osobní automobily jsou i z důvodu veliké konkurence veliké. Při vývoji nové pneumatiky jsou používané náročné simulace užitečných vlastností pneumatiky testovány pomocí nejmodernějších programů. Vývojový konstruktér proto vyžaduje po výrobci pneumatik dodržení nasimulovaných tvarů a rozměrů. Výrobce pneumatik tuto skutečnost přenáší na výrobce forem pro lisování pneumatik. Z tohoto důvodu musí výrobce forem hledat takové technologie výroby a používat takové materiály, které přesnost výroby zaručují a umožňují.

Výroba forem Barum (dále jen VFB) používá při konstruování nejmodernější programy Unigraphics NX 7.5 a pro frézování modelů 5.osé frézky. Je stěžejním výrobcem forem koncernu Continental. Jelikož jsem zaměstnán ve VFB na pozici technologa a předtím jsem pracoval na oddělení kvality na slévárně, jsem z důvodu znalostí provozu a výrobního procesu dostal za úkol prověřit výrobu modelu, flexibelu a sádrových jader za účelem vyhodnocení odchylek tvaru a rozměru ve výrobním procesu. Jako nejproblematictější část se jeví flexibel – silikonový kaučuk. Byly vytipovány 3 nové druhy materiálu a s materiálem používaným ve výrobě proměřeny.

Cílem této diplomové práce je navrhnutí takového silikonového kaučuku, který bude nejvhodnější pro překopírování tvaru modelu na sádrové jádro.

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 MATERIÁLY PRO VÝROBU MODELŮ

Při výrobě modelů se používají materiály různých mechanických a technologických vlastností. Nejčastěji používanými materiály jsou dřevo, polymery, kompozity, keramika a kov. Od modelů je vyžadována přesnost, rozměrová a tvarová stálost, trvanlivost, snadná opracovatelnost a ekologická nezávadnost. Při výrobě se používá nejčastěji obrábění, odlévání, nánosování a tvarování. Výroba modelu včetně jeho projektové části je složitý proces, který významně ovlivňuje konečný výrobek – formu. Konstruktor modelu musí znát předpokládané rozměry (tvar, rozměr a jejich dovolené úchytky) a vlastnosti hotového výrobku. Musí znát technologii, kterou bude model vyroben, jeho případné mechanické namáhání, fyzikální a chemické podmínky jeho dalšího zpracování. Násobnost modelu a jeho opakovatelná použitelnost rozhoduje o volbě výrobní technologie a použitých materiálech.

Modely mohou být nedělené nebo dělené. Dělené modely jsou složeny z více částí, které dohromady tvoří tvar odlitku a jsou rozděleny dělicí rovinou na dvě nebo více části z důvodu odformování. Pomocí modelu se vytváří dutina formy. Rozměry dutiny formy bývají zvětšeny o smrštění zpracovávaného materiálu při zvolené výrobní technologii. Smrštění je trvalá změna rozměru výrobku po jeho vyjmutí z dutiny formy. Závisí na druhu zpracovávaného materiálu, ale i na technologických parametrech a čase. [2]

Jak již bylo napsáno, model má v technologické soustavě funkci přípravku, výsledným produktem je forma. Formy jsou funkcí výrobní technologie, zpracovávaného materiálu, a procesních podmínek. Jejich konkrétní řešení ovlivňuje celá řada faktorů (především druh zpracovávaného materiálu, zvolený výrobní postup a použité strojní zařízení) na základě kterých zavádíme hlediska třídění forem. [2]

1.1 Vlastnosti materiálů modelů

Materiálů na výrobu modelů je velké množství. Vlastnosti materiálu ovlivňují možnost použitelnosti technologií a naopak, kdy použitelné technologie diktují vlastnosti materiálů. Použitá technologie i vybrané materiály musí splňovat náročné požadavky na kvalitu výrobku. V dnešní době, době tržního hospodářství, je důležitým faktorem i ekonomická náročnost. Novým pohledem je tzv. ekonomická kvalita, kdy model není z důvodu neekonomičnosti v detailech vyrobený na 100% shodu s budoucím výrobkem a chybějící detail se dodělává až

na výrobku – formě. Neméně důležitou vlastností všech částí technologické soustavy je minimální ekologická zátěž při výrobku a recyklace použitých materiálů.

Použití materiálu na výrobu nástrojů, zbraní, staveb a předmětů denní potřeby je úzce spjato s celou inteligentní érou existence lidstva. Zpočátku se jednalo o materiály přírodní (dřevo, kámen, hlína, kosti, kůže), později byly vlastnosti těchto materiálů upravovány různými druhy zpracování a obrobení (štípané kamenné nástroje, pálená hlína – keramika, tkané textilie). Nejstarší nálezy keramiky jsou již tepelně zpracovány slinováním. Objevení kovů a jejich zpracovatelských technologií přineslo lidstvu významný vývojový posun. Z kovů byly vyráběny nástroje, zbraně i ozdobné předměty. První výskyt bronzových výrobků v Evropě je datován do druhého tisíciletí před naším letopočtem. Mimo bronzu byly známy ve středověku ještě další kovy. Zlato a stříbro, které bylo možno nalézt v čistém stavu, dále pak ještě olovo a cín, jejichž výroba a řemeslné zpracování byly známy v Indii, Číně a Egyptě již 2000 let před naším letopočtem. [3]

Nejvýznamnější objev středověku byl objev výroby železa. Doba železná, která v různých oblastech světa začínala se značným posuvem, začíná ve středoevropské kulturní oblasti asi v sedmém století před naším letopočtem. Výskyt železných archeologických nálezů z období starověku je však velmi vzácný vzhledem k malé odolnosti tohoto kovu proti korozi. [3]

Celosvětový rozvoj strojího průmyslu v 19. a 20. století s sebou mimo jiné přinesl četnou stavbu sléváren. Ne jinak tomu bylo v českých zemích. V každém větším závodě byla obsažena slévárna, obrobna a modelárna. Prakticky na každém stroji najdeme dílec, který byl vyroben ve slévárně. V prospěch této technologie hraje hlavně fakt, že dokážeme vyrobit tvarově náročné polotovary určené k dalšímu opracování. Nejmenší odlitky se pohybují v řádu gramů, ty největší až okolo 200 tun. Nedílnou součástí slévárny je modelárna. Jejím úkolem je zhotovit a dodat slévárně modelové zařízení odpovídající kvality. Materiálů, ze kterých se modely vyrábí, je celá řada. Nejčastěji používaným je však dřevo a to zejména kvůli jeho příznivé poddajnosti při opracování. [1]

Současné konstrukční materiály lze rozdělit do skupin: kovy, keramiky, skla, polymery, dřevo, kompozity atd. Z výše uvedených skupin materiálů jsou nejvíce používány kovy. Je to dáno jejich vysokými mechanickými, funkčními a fyzikálními vlastnostmi a v neposlední řadě dlouhodobou znalostí výrobních i zpracovatelských technologií. [3]

1.2 Dřevo

Dřevo je nejpoužívanějším materiálem používaným v modelářství. Je to snadno dostupný, poměrně levný, dobře obrobitelný přírodní materiál. Dřevo je anizotropní materiál a jeho vlastnosti se mění v příčném a podélném směru. [1]

Dřevo je jedním z nejstarších materiálů, které se lidstvo naučilo využívat ke stavbě obydlí, výrobě pracovních nástrojů i jako zdroje energie či suroviny na výrobu papíru. Je vyhledáváno díky přijatelné ceně, relativně nízké hmotnosti, snadné obrobitelnosti a spojovatelnosti. Má však i některé nevýhodné vlastnosti. Jsou to nehomogenost struktury dřeva a navlhavost. Nehomogenost se projevuje sukovitostí, trhlinami a nestejnými léty. Navlhavost se projevuje náchylností k hnilobě a při vysychání způsobuje tvarové změny, zejména kroucení a povrchové praskliny. Z hlediska použitelnosti dřeva je vlhkost jeho rozhodující vlastností. Na obsahu vody závisí, zda rozměry a tvar výrobku zůstanou neměnné, nebo dojde ke zvětšení či zmenšení. [4]

Tuto nevýhodnou vlastnost dokážeme eliminovat pozvolným sušením a povrchovou úpravou, která zamezí navlhavosti dřeva. Nejčastěji se používají mořidla (hloubková konzervace) a laky (hladký povrch). To je velice důležité z hlediska dalšího použití a životnosti dřevěného modelu. Model po zaformování pískovou, polymerní, keramickou nebo silikonovou formovací směsí jde z důvodu hladkého povrchu lépe odformovat. Další ještě neuvedenou nevýhodnou vlastností dřeva pro použití modelu je malá odolnost vůči opotřebení. Dřevo je přírodní materiál, proto je šetrný k životnímu prostředí. Negativně mohou působit látky použité na povrchovou úpravu modelu, proto se přešlo na emulze ředitelné vodou, které jsou ekologicky odbouratelné.

V praxi se s dřevěnými modely setkáváme v různých odvětvích, zejména ve slévárenství a strojírenství. Je to pro své vlastnosti a dostupnost velmi vyhledávaný materiál. V posledních letech je přírodní dřevo nahrazováno dřevem umělým z důvodu absence výše popsaných nevýhodných vlastností.

Podle tvrdosti dřevo rozdělujeme na:

- polotvrdé - jehličnaté – červený smrk
 - listnaté - javor, olše, bříza, jasan
- tvrdé - listnaté – buk, dub, ořech
- měkké - jehličnaté – smrk, jedle, borovice
 - listnaté – topol, lípa, vrba, osika [4]

Dřevěný model se vyrábí strojním obráběním (hoblovačka, pila, soustruh, frézka, vrtačka, bruska) a ručním opracováním (pilník, řezák, škrabák, dláto).

Nejčastěji používanými dřevy na výrobu modelů jsou smrk, borovice, dub, buk, hrušeň, lípa, javor, ořech a olše. [1]



Obrázek 1 Dřevěný slévárenský model vyrobený CNC metodou s následně dodělanými žebry. [1]

1.3 Polymerní dřevo

Jedná se o poměrně nový materiál. Polymerní dřevo je výbornou alternativou ke dřevu přírodnímu, v některých aplikacích ho začíná i nahrazovat. Skládá se z dřevěného prachu a polymerní matrice zahrnující polyetylen, polyvinylchlorid, polypropylen apod. Polymerní dřevo je odolné proti vlhkosti, hnilobě, dá se obrábět konvenčními způsoby. Není tak tuhé, jako je přírodní dřevo, v extrémně horkém počasí se může mírně deformovat. Jedná se o materiál s velmi nízkým koeficientem tepelné délkové roztažnosti, vysokou otěru vzdornos-

tí, dobrou obrobiteľnosť a kvalitným povrchom po obrobení. Pri výrobe polotovarov sa môže vhodným aditívom dosáhnout v podstate jakýchkoliv barevných odstínů.

Přehled některých vlastností polymerních dřev:

- hustota 0,1÷3,4 g/cm³
- tvrdost 35÷92 D
- tepelná odolnost 65÷300°C [1]

Použití polymerního dřeva:

- slévárenské modely
- jaderníky
- formovací desky

Lepením různých vrstev dřeva k sobě vzniknou překližky, MDF desky a OSB desky. Tyto materiály se používají hlavně na rámy modelů. [1]

Překližky

Překližky pro všeobecné použití jsou velkoplošným překližovaným materiálem na bázi dřeva, vzniklého vzájemným a kolmým slepením lichého počtu loupáných dýh. Jsou vyráběny z tuzemských jehličnatých dřevin (smrk, borovice), lepené močovinoformaldehydovým lepidlem. [1]

MDF desky

Medium Density Fibreboard (MDF) deska je dřevovláknitá deska s velmi homogenní strukturou. Díky jemné struktuře je možné z MDF desky frézovat třídímenzionální profily. Vlákna je získávána z dřevěné kulatiny, která je za pomoci lepidla, velkého tlaku a tepla slisována. Povrch je zbroušený na obou stranách, možná je i jednostranná či oboustranná povrchová úprava laminací, laminátem či grundovací fólií. MDF je vyráběna v různých objemových hmotnostech (od 320 – 900 kg/m³). Na požádání jsou používána rozličná lepidla a dle účelu použití jsou nasazovány speciální lepicí technologie. MDF deska je optimální pro odolnost vůči mechanickému zatížení se schopností nechat se opracovávat. [1]

OSB desky

Oriented Strand Board (OSB desky) – jsou desky složené z orientovaných mikrodýh (tzv. Strands). Tyto mikrodýhy jsou lisovány do 3 až 4 vrstev. V krycích vrstvách jsou tyto mikrodýhy zpravidla orientovány v podélném směru desky, zatímco ve středních vrstvách jsou orientovány do kříže k mikrodýhám v krycích vrstvách. [1]

1.4 Kovy

Kovové materiály jsou houževnaté, tvrdé, mají dobrou elektrickou a tepelnou vodivost, nikoliv však odolnost proti korozi. Vlastnosti kovů a jejich slitin lze měnit tepelným zpracováním. [3] Pro větší rozměrovou přesnost se z pravidla používá kovový model. Jeho výhodou je rozměrová přesnost a výrazně větší životnosti a velmi dobré mechanické vlastnosti. Nevýhodou je však jeho pořizovací cena a omezená možnost dalších tvarových úprav. Při výrobě modelu z kovu se vychází z kovového polotovaru. Jedná se většinou o hutní polotovar, který se dělí nejčastěji nařezáním nebo vypálením na požadovanou velikost včetně přídavek na opracování. Tento polotovar je pak různými výrobními procesy přetvářen na tvar modelu, nejčastěji se používá obrábění. Kovové modely se uplatňují zejména při požadavku větší odolnosti při formování (např. velké série).

Kovové materiály na výrobu modelů můžeme rozdělit podle základního kovu - kovu, který je ve slitině obsažen hlavním podílem. Nejčastěji používanými materiály jsou:

železo – slitiny železa (oceli, litiny)

hliník – slitiny hliníku (dural)

měď – slitiny mědi (mosazi, bronzu aj.)

nikl – slitinu niklu

Kovové modely jsou náchylné na prostředí při skladování. Při nevhodném prostředí, např. zvýšená vlhkost, může docházet ke korozi materiálu. Koroze kovů je jejich znehodnocení, způsobené chemickým nebo fyzikálním působením prostředí. Je to souhrn samovolných fyzikálně-chemických dějů, jejich konečným výsledkem je částečné nebo úplné rozrušení

materiálu. Korozi podléhají téměř všechny materiály, tedy nejen kovy a jejich slitiny, ale také polymery, silikátové materiály apod. [5]

1.5 Vosky

Voskové modely se používají u technologie přesného lití metodou vytavitelného modelu. Zhotovují se z voskových směsí, protože samostatný vosk nesplňuje všechny požadavky kladené na modelovou hmotu. Moderní voskové směsi jsou sloučeniny více komponentů, jako je syntetický vosk, přírodní vosk – uhlovodík, přírodní vosk – ester, přírodní a syntetická pryskyřice, montánní vosk, organické plnivo a voda. Existuje více variant takových sloučenin, které splňují požadavky; vlastnosti kladené na voskové směsi, jako je bod tavení, tvrdost, viskozita, roztahování/smršťování. [6]

Přesné lití metodou vytavitelného modelu je metoda, která umožňuje vyrábět odlitky tvarově velmi složité, s malými rozměrovými tolerancemi a s velmi dobrou jakostí povrchu. Používá se zejména tam, kde se zřetelem na složitý tvar a obtížně obrobitelný materiál je výroba součástí jinou technologií mimořádně nákladná, nebo dokonce zcela nemožná. [7]



Obrázek 2 Voskové směsi [6]

Hmota na výrobu voskových modelů má mít následující charakteristiky:

- Dostatečnou pevnost, tvrdost a dostatečnou stabilitu.
- Dostatečnou pružnost pro manipulaci.
- Malé smrštění během tuhnutí a tím i malou roztažnost za vyšších teplot.
- Nízké procentu popelu.
- Vhodnou viskozitu.
- Musí odolávat oxidaci.
- Nesmí se lepit na stěny kovové formy.
- Nesmí reagovat s obalovými hmotami.
- Musí přesně reprodukovat tvar formy.
- Musí ztuhnout ve formě během krátké doby po vstříknutí.
- Regenerace vosku – je důležitá z ekonomického a ekologického hlediska. [6]

K výrobě voskových modelů existuje několik druhů voskových směsí lišících se použitelností a vlastnostmi:

Neplněné modelové vosky

Jsou komplexní sloučeniny více vosků a pryskyřičných komponentů. Povrch modelů z těchto vosků je obvykle více lesklý. [6]

Emulgované modelové vosky

Mají základní materiály jako výše uvedené vosky neplněné, ale jsou emulgovány vodou, obvykle mezi 7 až 12%. Povrch modelů je mimořádně hladký. [6]

Plněné modelové vosky

Mají základní materiál jako výše uvedené vosky, avšak do směsi je přidáno míchané práškové plnivo, nerozpustné v základním vosku. Plnivo zvyšuje stabilitu směsi a snižuje její kavitaci. Povrch modelů je oproti emulgovaným voskům nepatrně hrubší. [6]

Vosky na vtoky a vtokové soustavy

Mají základní materiály podobné jako neplněné vosky, jsou smíšené pro zajištění požadavku na pevnost vtokové soustavy. [6]

Rekultivované vosky

Jedná se v podstatě o servis poskytovaný výrobcem vosků. Použité vosky ze slévárny jsou důkladně čištěny, míchány a uvedeny do původního stavu, poté vráceny zpět do slévárny a znovu používány na vtokové soustavy a modely. [6]

Adhezní vosky

Jsou lepicí vosky pro spojování modelů z podobných nebo nepodobných vosků. Primárně jsou používány pro spojování modelů a vtokových soustav. [6]

Namáčecí vosky

Jsou velmi tekuté, proto mají schopnost téct do hůře dostupných míst, kde zaplňují otevřené spoje. [6]

Opravné vosky

Opravné vosky tvrdé a měkké se používají pro opravu modelů nebo pro utěsnění vtokové soustavy. [6]

Vosky na jádra

Vosky na jádra se používají k utěšňování keramických jader vkládaných do modelu, zlepšují povrch a snižují možnost praskání. [6]

Vodou rozpustné vosky

Vodou rozpustné vosky se používají pro vytvoření vnitřních tvarů tam, kde by bylo obtížné aplikovat jiné prostředky. Používají se jádra vkládána do dutiny formy před vstříknutím standardního vosku a následně (později) dojde k jeho rozpuštění, a tím dochází k dostatečnému zaplnění dutin. [6]

Většina používaných modelových hmot v současnosti výborně reprodukuje dutinu formy a zajišťuje kvalitní povrch modelu. Rozměry modelů se s dostatečnou přesností dají zajistit. Nejobtížnější je dodržení přesného geometrického tvaru, protože modelová hmota při tuhnutí mění rozměr. To se projevuje velmi nepříznivě u hmotných modelů a u modelů s rozdílnými tloušťkami stěn. Částečně se tvorbě deformací brání zvyšováním tlaku při vstří-

kování vosku do formy, nebo jak už bylo zmíněno, vkládáním voskových jader do formy před vstříknutím. [7]

Voskové modely se vyrábějí dvěma způsoby:

Gravitační lití modelů

Je používáno už jen velice zřídka a to většinou při výrobě pomocných modelů jako jsou např. vtokové kanály apod. [6]

Vstříkování do formy

Výroba voskových modelů vstříkováním vosku do formy je hlavní metodou výroby voskových modelů. Výroba se uskutečňuje na speciálních vstříkovacích lisech, které vstříkují roz-tavený vosk pod tlakem do formy. Teplota vosků při vstříkování je nejčastěji v rozmezí 55 - 90 °C. Po ztuhnutí je model vyjmut z formy. [6]

1.6 Pryskyřice

Polyuretanové licí pryskyřice

Polyuretanové pryskyřice jsou velmi rozmanité skupiny produktů se širokým rozmezím mechanických a fyzikálních vlastností, od pevných tvrdých hmot po měkké elastomery. Tyto pryskyřice umožní vyrobit nejrůznější díly a součásti jako jsou modelová zařízení pro slévárství, formy pro další zpracování plastů, prototypové díly, nebo i funkční díly do přístrojů a zařízení. Dle způsobu použití se dělí na licí hmoty plněné a neplněné určené k dodatečnému naplnění, z časového hlediska se dělí na rychle a pomalu tuhnoucí hmoty. Podle způsobu zpracování lze pryskyřice dělit na určené pro gravitační odlévání, pro odlévání ve vakuu, dále určené pro průběžné mísení a plnění mísícím tlakovým zařízením. Výsledné mechanické vlastnosti se u skupin liší různou tvrdostí a elasticitou hmot, různou tepelnou odolností, barvou a podobně. Potřebné vlastnosti hmot lze také upravovat tím, že se mísí dva odlišné typy pryskyřic v poměru, který dává potřebnou tvrdost a pevnost, nebo elasticitu součástí. Také se mísí typy s krátkou a dlouhou dobou zpracování k dosažení optimální doby pro další zpracování. K tomuto účelu jsou k dispozici potřebné tabulky s doporučením poměrů

míchání. Výhodou rychlých polyuretanových hmot je výhoda možnosti výroby mnoha dílů do jedné formy za směnu, například každých 30 minut 1 díl. [8]

Lze vyrobit polyuretany tuhé nebo měkké, lineární i síťované. Proto musejí postihovat širokou škálu různých vlastností. Základními jsou extrémní odolnost vůči otěru, dobrá adheze k řadě materiálů včetně kovových a polymerních stálost v prostředí vody a zředěných vodních roztoků kyselin i zásad. [9]

Epoxidové licí pryskyřice

Epoxidové pryskyřice se vyznačují především svými vysokými mechanickými vlastnostmi v kombinaci s dobrou stálostí a odolností proti působení různých médií. Mají široké možnosti použití. Jsou vhodné na různé výrobky, jako jsou modelová zařízení pro slévárství, formy pro další zpracování plastů, negativové otisky, šablony pro měření, ale také jako kompozitové díly, modely a formy větších rozměrů, vyměňovací formy, všeobecné využití v modelárnách, pracovní modely pro keramický průmysl, modely pro galvanické pokovování a jiné. Dle způsobu použití se obecně dělí na plněné licí pryskyřice, víceúčelové pryskyřice to je laminovací, nebo vhodné k další úpravě plněním pro odlévání a na pastovité hmoty. Charakteristické vlastnosti při zpracování hmoty: jednoduchost při míchání, delší doba pro zpracování po přidání tvrdidla, která umožňuje provést například odvakování a pohodlné zalití nebo nanesení do forem. Doba pro vyjmutí výrobků z forem je převážně delší, 16 až 24 hodin. [8] Epoxidové systémy se skládají ze tří složek: pryskyřice, tvrdidla a urychlovače. Hlavní výhody těchto systémů: nízká viskozita, dlouhý pot life při pokojové teplotě, nízké smrštění, nízká teplota při exotermní reakci.

Podle množství přidaného urychlovače může být nastaven pot life epoxidového systému od několika hodin až po několik dní. Pryskyřice má po vytvrzení velmi dobré mechanické, elektrické i teplotní charakteristiky. Při vytvrzování se neuvolňují žádné vedlejší produkty a dochází jen k velmi malému smrštění. Vytvrzené produkty mají velmi dobré vlastnosti v poměrně široké oblasti teplot. Jsou značně odolné vůči vodě, rozpouštědlům, roztokům kyselin a alkálií. Vytvrzené produkty mají výbornou přilnavost na kovy, sklo, keramiku, dřevo aj. [9]

Akrylátové licí pryskyřice

Dlouholetým vývojem byly vypracovány speciální technologie pro tyto licí pryskyřice, které odpovídají nejnovějším poznatkům techniky pro oblast výroby forem a náradí. Jedná se o za studena vytvrzující licí systémy pryskyřic. Tyto systémy používají speciální hliníkové plnivo a samovytvrzovací pryskyřice. Vyrobené formy pak vykazují vysokou rozměrovou stálost a vysokou tepelnou odolnost. Jsou charakteristické také výbornou opracovatelností a lehce dosažitelného vysokého stupně vyleštění povrchu. [8]

Akrylátové pryskyřice mají použitím formy:

- formy pro vakuové tvarování folií
- formy pro RTM tlakové injektážní plnění
- formy pro RTM vakuovo - tlakové injektážní plnění
- formy pro RIM technologie
- formy pro PU vypěňování [8]

1.7 Silikony

Silikony patří mezi elastomerové otiskovací hmoty. Na výrobu forem jsou často používány silikonové kaučuky. Snadno se zpracovávají i vytvrzují a jejich konečné vlastnosti uspokojí i náročné požadavky uživatelů. Mimo výroby forem jsou vhodné i na výrobu dalších výrobků. Jejich použití je tedy velmi široké. Pro praktické použití silikonových kaučuků jsou zejména důležitá pružnost. Díky ní se snadno z forem uvolňují i tvarově komplikované odlitky. Ve většině případů není nutno pro snadné uvolnění z formy používat separátory. Při vytváření modelu pro zaformování si musíme uvědomit, že každá nepravidelnost na modelu se otiskne naprosto dokonale do formy a tím i do každého odlitku. Model nesmí mít pórovitý povrch. Model při použití silikonového materiálu na formu, může mít i negativně tvarované plochy, ale máme-li členitý povrch, musíme použít vakuum. Vakuum získáváme dvou-
stupňovou vývěvou. Elastomery (přírodní a syntetická pryž) jsou směsí amorfních polymerů a dalších přísad. Silikony jsou určeny především na stavbu forem pro výrobu dílů bez úkosů, nebo i s negativními úkosy. Uplatní se především při výrobě prototypových dílů,

v malosériové výrobě dílů z polymerů v umělecké výrobě, a to v oborech elektrotechniky, přístrojové techniky a zvláště v automobilovém průmyslu. Vyznačují se vysokou reprodukovatelností snímaných povrchů, vysokou elasticitou výrobků, lehkou zpracovatelností při vlastní výrobě, také dobrými samoseparačními vlastnostmi forem. Jsou dvojího druhu: polyadiční a polykondenzační. Vyrábí se v různých tvrdostech, od silikonových gelů po houževnaté elastomery. [8] Vytvrzené silikony dobře odolávají povětrnosti, dlouhodobě snášejí teploty do 200°C, krátkodobě až 300°C. Jejich elektroizolační vlastnosti se s teplotou mění jen minimálně. V podobě vypalovacích laků nebo skelných laminátů slouží jako součásti motorů pracujících za vysokých teplot. Používají se k úpravám nástrojů ke zpracování plastů a kaučuků, kde se využívá jejich vynikajících separačních vlastností. K modifikaci epoxidových i jiných pryskyřic se dodávají tzv. silikonové meziprodukty, které se za tepla reagují se základní pryskyřicí a zvětšují pak její odolnost vůči teplu a povětrnosti. [9] Silikonové otiskovací hmoty dělíme podle typu tuhnutí na kondenzační C-silikony a adiční A-silikony.

Polykondenzační silikonové hmoty

Základem polykondenzačních silikonových hmot je siloxanový řetězec, ve kterém jsou střídány pravidelně atomy křemíku a kyslíku. Polysiloxany vhodné pro protetické použití mají zakončený řetězec skupinami – OH. Silikonové hmoty jsou kombinací anorganických a organických látek. Anorganické látky zajišťují chemické a tepelné stálosti a organické látky zajišťují plasticitu. Koncové skupiny – OH jsou velmi reaktivní. Silikonové hmoty mohou zesít'ovat, tj. z vulkanizovat. Základní látkou polykondenzačních silikonových otiskovacích hmot je silikonový polymer – polydimetylsiloxandiol. K zesít'ování (vulkanizaci) se používají estery kyseliny křemičité. Při pokojové teplotě je vulkanizace pomalá. Do hmoty se proto přidává přísada katalyzátorů, aby byla vulkanizace rychlejší. Podstatou tuhnutí je polykondenzace, tím vzniká vedlejší produkt – alkohol. Vypařuje se a způsobuje kontrakci u ztuhlého otisku. [9]

Polyadiční silikonové hmoty

Polyadiční silikonové hmoty se začaly vyskytovat v 70. letech 20. století. Polyadiční a polykondenzační silikonové hmoty se odlišují svými chemickými reakcemi. U polyadičního silikonu se nevyskytuje žádný vedlejší produkt, ani se nesmršťuje. Reakce je umožněna katalyzátory, které obsahují ušlechtilé kovy (platina, paladium). [9]

Z hlediska použití rozlišujeme silikonové hmoty:

- licí hmoty
- natírací a špachtlovací hmoty
- transparentní systémy
- licí hmoty pro elektrotechniku
- licí hmoty pro zdravotnictví [9]

1.8 Keramické materiály

Keramické materiály mají vysoké moduly pružnosti, vysokou odolnost proti korozi a dobře snášejí i velmi vysoké teploty. Mají vysokou tvrdost a odolnost proti opotřebení. Keramiku nelze plasticky deformovat. Použití keramiky a skel pro strojní díly je limitováno jejich křehkostí. [3] Pro výrobu modelů se nejčastěji používá sádra, protože má dobrou slévatelnost, dobrou kopírovatelnou, stálost rozměrů, schopnost rychlého tuhnutí a dobrou opracovatelnost. Životnost je však v porovnání s kovovými a dřevěnými modely výrazně nižší. Nejčastěji je používána pro netrvalé modely. Výchozí surovinou pro výrobu sádry je nerost sádrovec. Sádra se připravuje tak, že do vhodné nádoby se nalije voda a do ní se pomalu vsypává sypká sádra. Veškerá sádra se nechá řádně provlhnout a poté se míchá, v případě potřeby s podporou vakua. Při rozmíchávání sádry lze přimísit i různé látky, jako zpomalovače tuhnutí, disperze a barviva. Hotové sádrové odlitky se suší volně, nebo v sušárnách. Vlhká sádrová forma snese i teploty 200°C, ale je náchylná na prudké změny teploty při sušení.

2 TECHNOLOGIE VÝROBY MODELŮ

2.1 Technologie obrábění

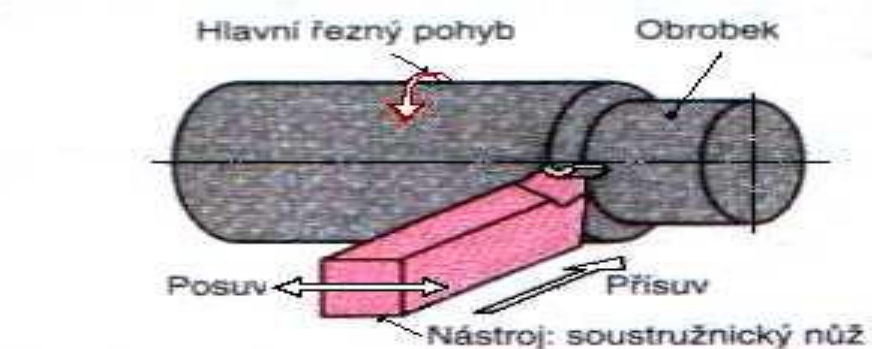
Technologie obrábění je vědní obor, který studuje, zkoumá a analyzuje vzájemné faktory a souvislosti obráběcího procesu jako integrální složky výrobního procesu strojírenských součástí. Obráběcí proces se realizuje v obráběcím systému, který lze obecně členit na subsystémy obráběcích strojů, řezných nástrojů, manipulačních prostředků a obráběcího prostředí. Objektem obráběcího procesu je obrobek a základním výstupem jsou příslušné obrobené plochy. [10]

2.2 Rozdělení metod obrábění

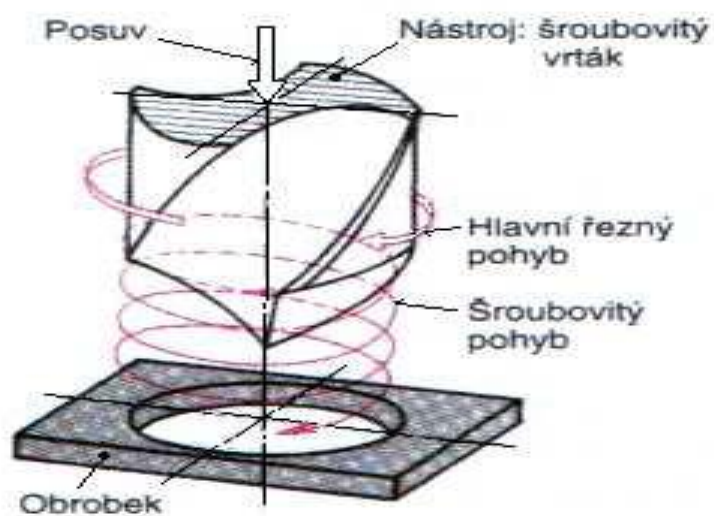
Obráběním získáváme z polotovaru odebráním materiálu (přídavku) součást splňující požadavky konstrukce z hlediska tvarů, rozměrů a kvality. Metody, kterými dosahujeme větších úběrů materiálu, většinou s nižší kvalitou obrobené plochy (hrubovací operace, operace na čisto s běžnými nároky na přesnost a drsnost povrchu) se nazývají výrobní (základní). Pro dosažení vyšší kvality povrchu a přesnosti se používají metody dokončovací. Jiné rozdělení vychází z principu úběru materiálu – třískové (mechanické) a nekonvenční (fyzikálně chemické) způsoby. Do obrábění jsou zahrnovány i speciální metody, vytvářející konečný tvar a kvalitu povrchu součásti některými z procesu tváření. [11]

2.2.1 Základní metody obrábění

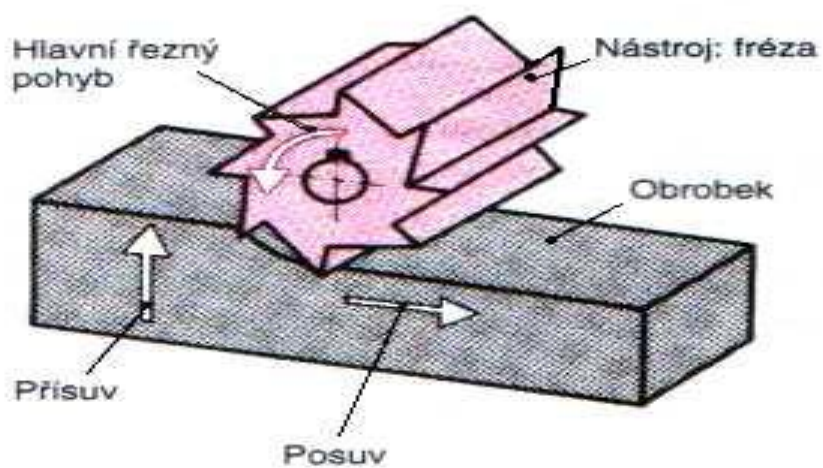
K základním metodám obrábění nástroji s definovanou geometrií břitu patří soustružení, frézování, vrtání, vyhrubování, vystružování a zahlubování, vyvrtávání, hoblování a obrážení, protahování a protlačování. Uvedené metody představují v současné době nejvíce využívané aplikace při obrábění strojírenských součástí. [10] K úběru materiálu u těchto metod dochází odřezáváním třísek nástroji s definovanou geometrií nebo zrny brusiva. Moderní řezné materiály, konstrukce nástrojů a tuhé vysoce výkonné obráběcí stroje umožňují (při jemném obrábění) tyto metody použít i k posledním (dokončovacím) operacím (výroba celé součásti na jedno upnutí). [11]



1 Soustružení

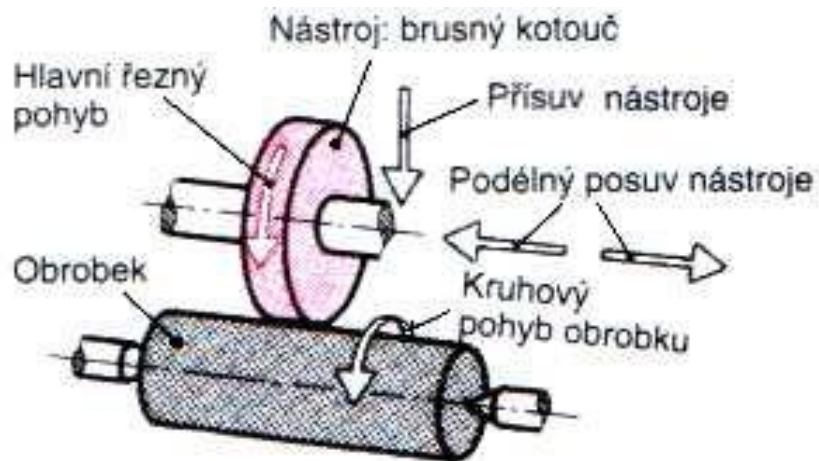


2 Vrtání

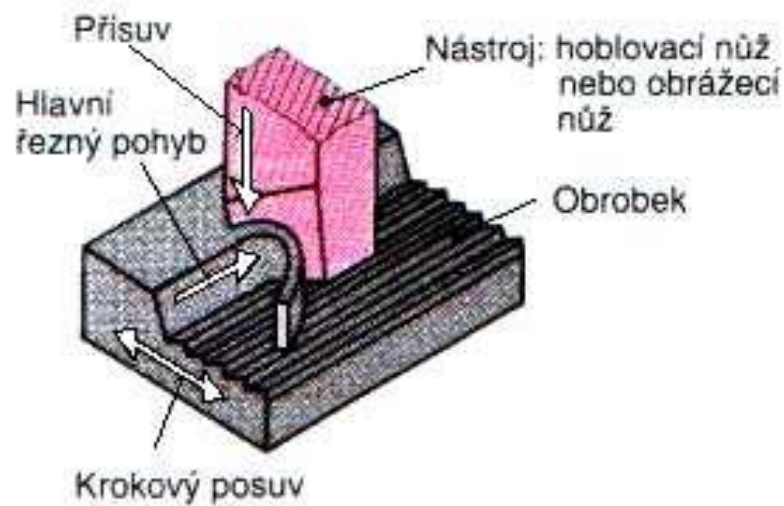


3 Frézování

Obrázek 3 Základní metody obrábění [11]



4 Broušení



5 Hoblování / obrážení

Obrázek 4 Základní metody obrábění [11]

Metoda (způsob) obrábění je určena druhem nástroje a pracovními pohyby, které se dějí na příslušném obráběcím stroji. Hlavní metody obrábění jsou **soustružení, vrtání, frézování, broušení a hoblování (obrážení)**. U všech těchto způsobů rozlišujeme tyto pracovní pohyby: hlavní řezný pohyb, vedlejší pohyb – posuv, přísuv; výsledný řezný pohyb a najíždění.

Hlavní řezný pohyb je složka řezného pohybu, která se shoduje se základním pohybem obráběcího stroje. Může být buď rotační (otáčivý) – v případě soustružení jej vykonává obrobek a v případě vrtání, frézování a broušení jej koná nástroj. Nebo může být přímočarý – v případě hoblování jej vykonává obrobek a v případě obrážení jej koná nástroj. Podle toho se tříška odebere buď při jedné otáčce, nebo při jednom zdvihu obrobku, případně nástroje. Je charakterizován řeznou rychlostí v [m.min⁻¹]. Při rotačních pohybech se vypočte ze vztahu:

$$v = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{1000}$$

Rovnice 1 Řezná rychlost

kde D je průměr obrobku nebo nástroje v [mm] a n jsou otáčky obrobku nebo nástroje [1.min⁻¹].

Vedlejší pohyb – posuv je při rotačním hlavním řezném pohybu (soustružení, vrtání, frézování, broušení) plynulý a při přímočarém hlavním řezném pohybu (hoblování, obrážení) se staví po krocích v úvratí obrobku nebo nástroje. Obrábění tedy probíhá buď během několika otáček, nebo během několika zdvihů, případně dvojzdvihů.

Rozeznáváme:

posuv na otáčku: f [mm . ot⁻¹],

posuv za minutu: f_m [mm . min⁻¹],

posuvová rychlost: v_f [mm . min⁻¹],

posuv na zub: f_z [mm . z⁻¹],

posuv na zdvih: f_{zd} [mm . zd⁻¹],

a na dvojzdvih: f_{dz} [mm . dz⁻¹].

Vedlejší pohyb – přísuv je dán nastavením vzájemné polohy nástroje a obrobku. Pak jej označujeme t [mm]. Určuje zároveň hloubku řezu (záběru) nástroje a_p .

Výsledný řezný pohyb vzniká při obrábění jako složený pohyb ze dvou výše jmenovaných složek. Například u soustružení a vrtání má tvar šroubovice a u frézování má tvar cykloidy.

Soustružení

Soustružení je metoda obrábění používaná pro zhotovení součásti rotačních tvarů, při níž se většinou používají jednobřité nástroje různého provedení. Z mnoha hledisek představuje soustružení nejjednodušší způsob obrábění a tak velmi frekventovanou metodu využívanou ve strojírenství. [10]

Frézování

Frézování je obráběcí metoda, při které se materiál obrobku odebírá břity otáčecího se nástroje. Posuv nejčastěji koná součást, převážně ve směru kolmém k ose nástroje. U moderních frézovacích strojů jsou posuvné pohyby plynule měnitelné a mohou se realizovat ve všech směrech (obráběcí centra, víceré CNC frézky). Řezný proces je přerušovaný, každý zub frézy odřezává krátké třísky proměnné tloušťky. [10]

Vrtání, vyhrubování, vystružování a zahlubování

Uvedené metody se využívají při obrábění válcových děr. Charakteristickým znakem je rozměrový nástroj, který svým tvarem a dalšími technologickými vlastnostmi výrazně ovlivňuje parametry obrobené díry. V převážně většině případů se využívají vícebřité nástroje. [10]

Vyvrtávání

Vyvrtávání je zvětšování otvoru, který byl zhotoven většinou jednobřítovým nástrojem nebo předlitý, předkovaný nebo jinou technologií. Při použití vyvrtávací hlavy lze jedním nožem vyvrtávat otvory v celém rozsahu průměrů. Další výhodou vyvrtávání spočívá ve schopnosti vytvořit dokonale kruhovitou díru rotací jediného břitu vyvrtávacího nože kolem osy vřete na obráběcího stroje. [10]

Hoblování a obrážení

Hoblování a obrážení se používá při obrábění plochých povrchů jednobřítovým nástrojem. Nástroj je podobný soustružnickému noži. Hoblování a obrážení je z ekonomických důvodů současně nahrazováno frézováním. [10]

Protahování a protlačování

Protahování a protlačování je dokončovací obráběcí proces, při němž se vysoce produktivním způsobem obrábí tvarové díry (protahování a protlačování vnitřní) nebo vnější, převážně tvarové plochy (protahování a protlačování vnější). Protahování a protlačování se od sebe liší jen konstrukcí nástroje, způsobem jeho upnutí a velikostí materiálu, který je možné na jeden pracovní zdvih odebrat. [10]

2.2.2 Abrazivní metody obrábění

Abrazivní metody obrábění jsou charakterizovány použitím nástrojů s nedefinovanou geometrií břitu a představují nejvíce využívané aplikace při obrábění strojírenských součástí, u kterých jsou požadovány vysoké parametry přesnosti obroběných ploch. K uvedeným metodám patří zejména broušení, honování, lapování a superfinišování. [10]

Broušení

Broušení je dokončovací operace, která se vyznačuje velkou přesností, správností geometrického tvaru, zpravidla velmi dobrou jakostí povrchu a patří k nejvýznamnější části technologie výroby dnešní doby. Operace broušení umožňuje vyšší tvarovou a rozměrovou kvalitu a v technologickém procesu je známa jako vysoce přesná dokončovací operace. Pro broušení je charakteristické rozložení zrn brousícího kotouče, která jsou rozložena nepravidelně na celém jeho povrchu a odebírají velké množství malých třísek. [10]

Honování

Honování je dokončovací metoda obrábění, při které se jakost obroběných povrchů zvyšuje řezným účinkem jemného brusiva. Honováním se dokončují hydraulické, pneumatické a brzdové válce, válce spalovacích motorů, bubny, pouzdra, ložiska vřeten apod. Honovat lze kalené i nekalené oceli, litiny, hliníkové slitiny, neželezné kovy, slinuté karbidy, tvrdé povlaky a další materiály. [10]

Lapování

Lapování je dokončovací metoda obrábění, kterou se dosahuje nejvyšší rozměrové přesnosti a nejmenší drsnosti povrchu. Používá se pro dokončování rovinných, válcových a tvarových

vnějších ploch. Lapují se funkční plochy měřidel (koncové měrky, kalibry), důležitá závitová spojení, ozubení, součásti motorů automobilů apod. [10]

Superfinašování

Superfinašování je vysoce produktivní metoda dokončovacího obrábění vnějších a vnitřních rotačních, tvarových a rovinných ploch. Nejvíce se uplatňuje při dokončování valivých ložísek a součástí v automobilovém průmyslu. Superfinašují se součásti z kalené i nekalené oceli, litiny, slitin těžkých kovů a plastů. [10]

2.2.3 Beztřískové metody dokončování obrobených povrchů

Beztřískové dokončování obrobených povrchů spočívá v plastické deformaci povrchové vrstvy. Tato deformace probíhá do hloubky několika setin až desetin milimetru, čímž dochází ke zlepšování parametrů struktury povrchu ke zvýšení pevnosti a tvrdosti. K beztřískovým metodám dokončování již obrobených povrchů patří válečkování, kuličkování a vyhlazování povrchu diamantem. [10]

Válečkování

Při válečkování působí na dokončovanou plochu váleček, který se po dokončovaném povrchu odvaluje. Výsledný efekt závisí na průměru aktivního povrchu válečku – menší průměr zvyšuje hloubku zpevnění, většími průměry se dosahuje povrchů s nižší drsností. [10]

Kuličkování

Kuličkování je podobné statickému válečkování, ale místo válečků je tvářecím nástrojem kulička, která se plynule odvaluje po povrchu. Kuličkováním se dokončují vnější i vnitřní rotační plochy, tvarové rotační plochy a rovinné plochy součástí z tvárných materiálů. [10]

Vyhlazování povrchu diamantem

Pro beztřískové dokončování tepelně zpracovaných ocelí se používá vyhlazování povrchu diamantem. V tomto případě nedochází k odvalování nástroje. [10]

2.2.4 Nekonvenční metody obrábění

Rostoucí rozsah využívání nekonvenčních metod obrábění je vyvolán vývojem a používáním materiálů s vysokou pevností, tvrdostí, houževnatostí, materiálů odolných proti opotřebení apod., které nelze standardními metodami hospodárně obrábět. [10]

Elektroerozivní obrábění

Elektroerozivní obrábění zahrnuje řadu metod, které mají jeden společný znak, úběr materiálu je vyvolán periodicky se opakujícími elektrickými, popř. obloukovými výboji. [10]

Obrábění paprskem plazmy

Při obrábění paprskem plazmy je obráběný materiál postupně odtavován a odpařován paprskem plazmy, vystupujícím vysokou rychlostí z plazmového hořáku. [10]

Obrábění paprskem laseru

Při laserovém obrábění dochází k odebrání materiálu účinkem úzkého paprsku silného monochromatického světla soustředěného na velmi malou plošku. [10]

Obrábění paprskem elektronů

Obrábění paprskem elektronů využívá soustředěný svazek elektronů o vysoké rychlosti, který dopadá na obráběný materiál, ten se natavuje a tím se odpařuje. [10]

Elektrochemické obrábění

Elektrochemické obrábění je řízený proces oddělování materiálu anodickým rozpouštěním v elektrolytu, kdy obrobek je anoda a nástroj je katoda. Elektrolyt prochází mezerou mezi nástrojem a obrobkem, kdy stejnosměrný proud o nízkém napětí rozpouští materiál na obrobku. [10]

Chemické obrábění

Podstatou chemického obrábění je řízené odleptávání vrstev materiálu o tloušťce od několika setin milimetru do několika milimetrů z povrchu obrobku, založené na chemické reakci obráběného s pracovním prostředím, nejčastěji kyselinou nebo hydroxidem. [10]

Ultrazvukové obrábění

Ultrazvukové obrábění je proces, který využívá ultrazvukových vibrací nástroje při opracování tvrdých a křehkých, kovových a nekovových materiálů. [10]

Obrábění vodním paprskem

Obrábění vodním paprskem se někdy označuje jako hydrodynamické obrábění. Využívá se především pro řezání různých materiálů, kdy řezným nástrojem je paprsek vody o vysokém tlaku a rychlosti nebo vodní paprsek s abrazivní příměsí. [10]

2.3 Rapid Prototyping

V současných podmínkách, při neustálém zkracování inovačních cyklů, představuje příprava prototypů významnou fází procesu přípravy nového výrobku. Její kvalitní a rychlé zvládnutí umožňuje vyhodnotit širší spektrum možných variant řešení při posuzování designu a funkčnosti produktů, při zlepšování a zlevňování výrobního procesu. Právě možnost relativně levného odstraňování skrytých vad a nedostatků výrobku již ve fázi návrhu umožňuje předcházet vysokým nákladům na odstraňování chyb v pozdějších fázích. Fyzický prototyp je první materiálovou vizualizací výrobku, který se nachází ve fázi vývoje. Jeho úkolem je poskytnout praktické informace o funkčnosti, kvalitě, ergonomii výrobku a v některých případech slouží i pro získání informací o potřebných technologiích výroby a nákladech na výrobu. Při použití tradičních metod produkce je výroba prototypu poměrně zdoluhavá, spotřebuje velkou část času určeného pro celý vývoj výrobku. Důsledkem je, že v mnoha případech prototyp není k dispozici při řešení dalších kroků vývoje a při některých důležitých rozhodnutích. Dlouhá průběžná doba výroby prototypu je kromě jiných faktorů způsobena i vysokým podílem manuální práce. Nezanedbatelná je i nákladová stránka zhotovení prototypu. [12]

Nové metody výroby 3D objektů mají tři společné jmenovatele - co nejkratší a nejlevnější výrobu a co nejlepší kvalitu zpracování. Souhrnně jsou tyto metody nazývány Rapid Prototyping. Jedná se o skupinu technologií, jež umožňuje výrobu modelů a prototypů značné geometrické složitosti na základě dat z 3D CAD systémů. [1]

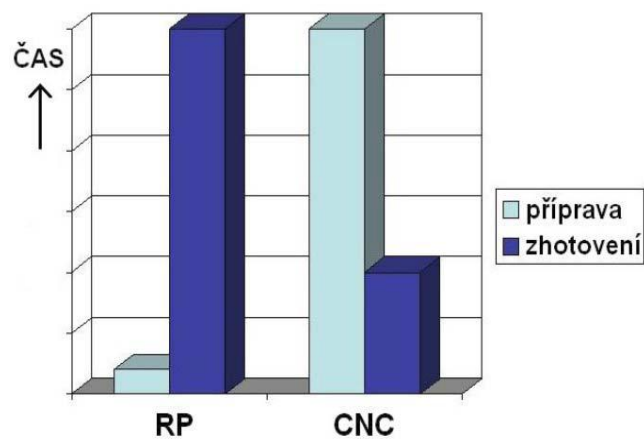
Technologie Rapid Prototyping se používají k výrobě fyzických prototypů přímo ze zdroje dat, kterým je 3D CAD systém (např. CATIA, INVENTOR, PROENGINEER, SOLID WORKS atd.), nebo digitalizovaného metodou 3D scanování (např. fotostereometrie, laserové nebo optické scanování, digitalizace pomocí 3D SMS). Podstata všech metod spočívá v postupném přidávání materiálu až do dosažení konečného tvaru součásti. [13]

Nejrozšířenější a nejpoužívanější RP technologie jsou Stereolitografie, 3D tisk a Selective Laser Sintering (SLS). Principem všech RP technologií je rozřezání 3D dat na rovinné vrstvy. Vrstvy mají konstantní tloušťku a jejich tloušťka je důležitým faktorem ovlivňujícím přesnost prototypu a vykreslení detailů. Pro tyto účely se převádějí data do speciálního datového formátu s označením STL. Modely jsou v tomto formátu tvořeny sítí rovinných trojúhelníků, které obalují původní datový model s požadovanou přesností. Přesnost lze upravovat v závislosti na velikosti a složitosti modelu. U menších a složitějších modelů se využívá maximálního nastavení (odchylka trojúhelníkové obálky od původního tvaru v řádu tisícín milimetrů), u větších modelů může být nastavena odchylka v řádu desetin milimetrů. Nastavení přesnosti obálky ovlivňuje hlavně velikost výsledného datového souboru – počet trojúhelníků – a tedy možnosti práce s ním. [12]

Materiály používané při RP:

- pryskyřice
- práškové materiály s obsahem plastů, kovů nebo keramiky
- papír
- vosky

Nové materiály pro RP se neustále vyvíjejí. Důraz je kladen hlavně na jejich pevnost, aby se součásti z nich vyrobené mohly dále upravovat a opracovávat zejména třískovým obráběním. [1]

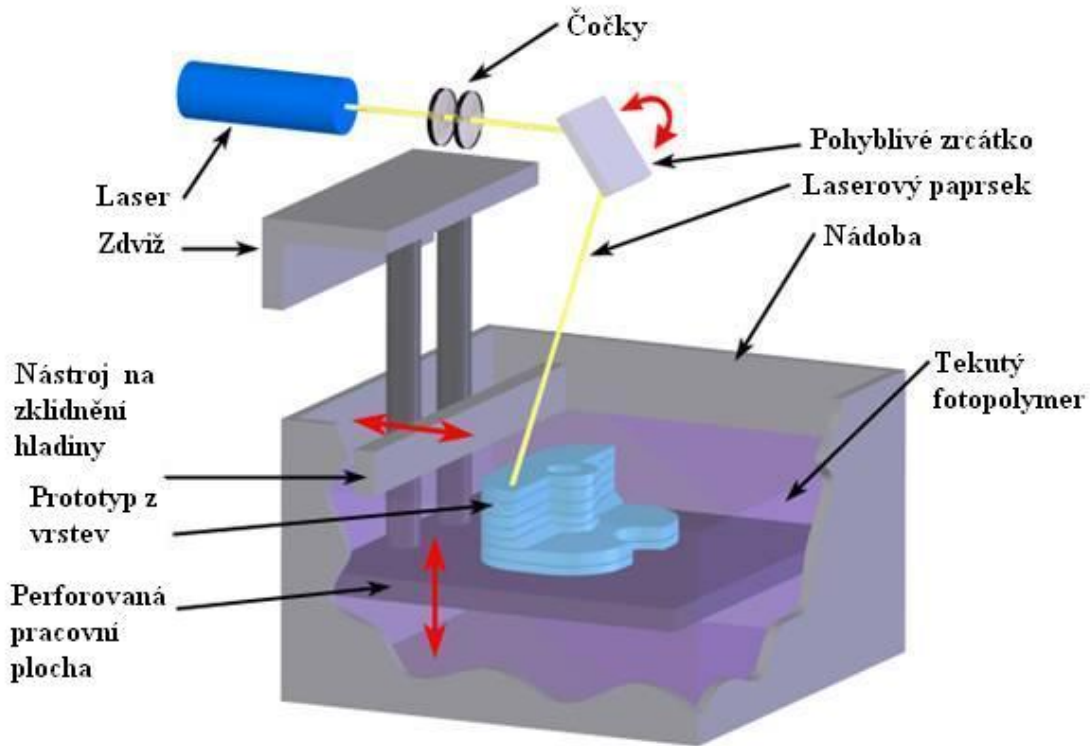


Obrázek 5 Porovnání výroby modelu pomocí CNC centra a metotou RP [12]

2.3.1 Stereolitografie

Tato technologie je založená na vytvrzování epoxidové nebo akrylátové pryskyřice - fotopolymeru – laserovým paprskem pracujícím v UV rozsahu. Stereolitograf (tak se nazývá zařízení, kde se metoda používá) se skládá ze tří hlavních částí – z pracovní komory, řídicí jednotky a opticko-laserového systému. Řídicí jednotka obsahuje počítač, který ovládá celý stroj od ustavení nejlepší polohy modelu na platformě, nastavení parametru laseru až po samotnou stavbu. Opticko- laserový systém se skládá z laseru, čoček a soustavy zrcátek pro nasměrování laserového paprsku. V pracovní komoře stroje je umístěna nádoba s tekutou pryskyřicí, ve které se pohybuje v ose Z platforma a nůž zajišťující konstantní tloušťku vrstvy. Tloušťka vrstvy je jedním z důležitých parametrů při výběru RP technologie pro zhotovení modelu. U této metody se pohybuje v rozmezí 0,5–1,5 mm. Po vykreslení a vytvrzení vrstvy laserovým paprskem dojde k poklesu platformy, srovnání hladiny nožem a následně ke zhotovení další vrstvy. Tento proces se opakuje do té doby, než je pomocí těchto rovinných vrstev postaven celý model. Po ukončení stavby se model umyje od nevytvrzené pryskyřice, odstraní se podpory, na kterých byl fixován k platformě, a dá se vytvrdit do UV komory. Výhodou oproti SLS modelům je větší přesnost ($\pm 0,2$ – $0,3$ mm/100 mm) a snazší opracování modelů. V současné době je na trhu celá řada různých materiálů pro stereolitografii, které vyhoví mnoha požadavkům pro zástavby, průhledné modely, ale také pro modely simulující standardní plasty, jako je ABS či PP. Každý z těchto materiálů musí vyplnit celý zásobník stroje – a to samozřejmě značně prodražuje výrobu. Nevýhodou této technologie je, že při dokončovacích je nutné čištění a pomalé tvrzení polymeru. Model se vyzna-

čuje menší tepelnou a mechanickou odolností. Při výrobě je nutná stavba podpor a následně jejich mechanické odstranění. [12]

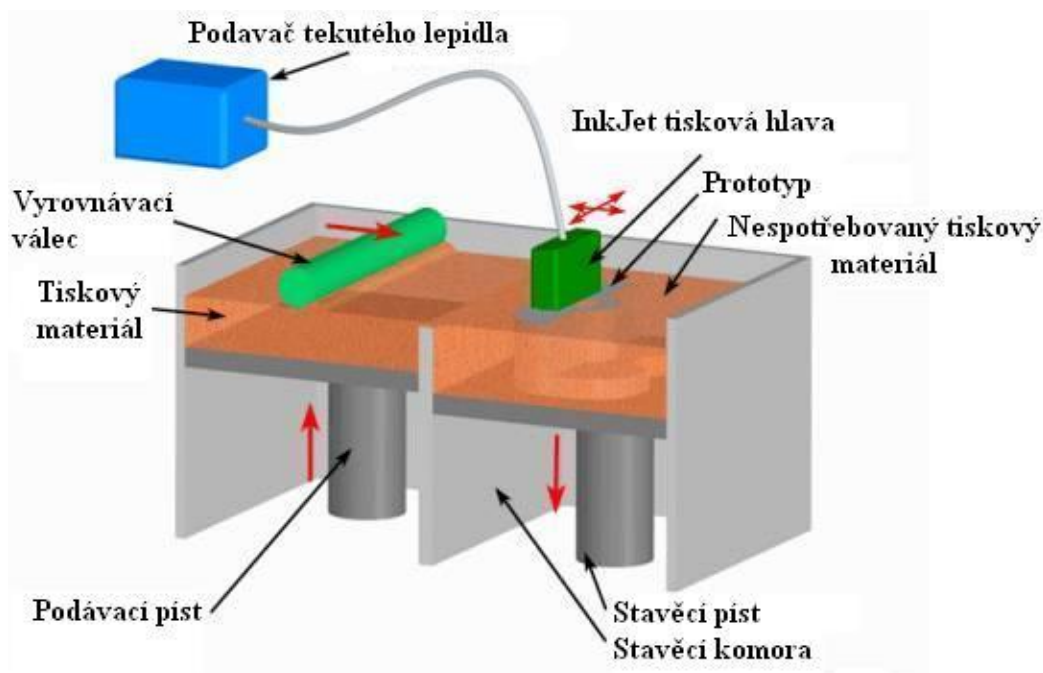


Obrázek 6 Stereolitografie [14]

2.3.2 3D tisk

Jedná o nejnovější a nejpřesnější z technologií Rapid Prototyping. Pracuje na principu inkoustových tiskáren a skládá se z několika hlavních částí. Nejdůležitější částí je tisková hlava. Její zpracování se liší podle výrobce zařízení. Např. izraelská firma Objet vyrábí tiskové hlavy s 8 tryskovými tělesy, každá pak má 96 mikroskopických trysek. Čtyři tělesa dodávají na kovovou platformu stavební materiál a zbylá 4 tělesa podporový materiál, který je velmi snadno odstranitelný z finálního modelu proudem vody. Všechny trysky jsou synchronizovány tak, aby na platformu dodávaly stejné množství materiálu. Materiálem jsou opět akrylátové pryskyřice – fotopolymery, které se vytvrzují UV zářením. Proto je hned za tryskami umístěna UV lampa, která vytvrzuje právě nanesenou vrstvu a nemůže tak docházet k deformacím při chladnutí jako u SLS modelů. Materiál je nanášen podle nařezaných vrstev na kovovou platformu, postupné nanášení vrstev je umožněno mechanickým posuvem platfor-

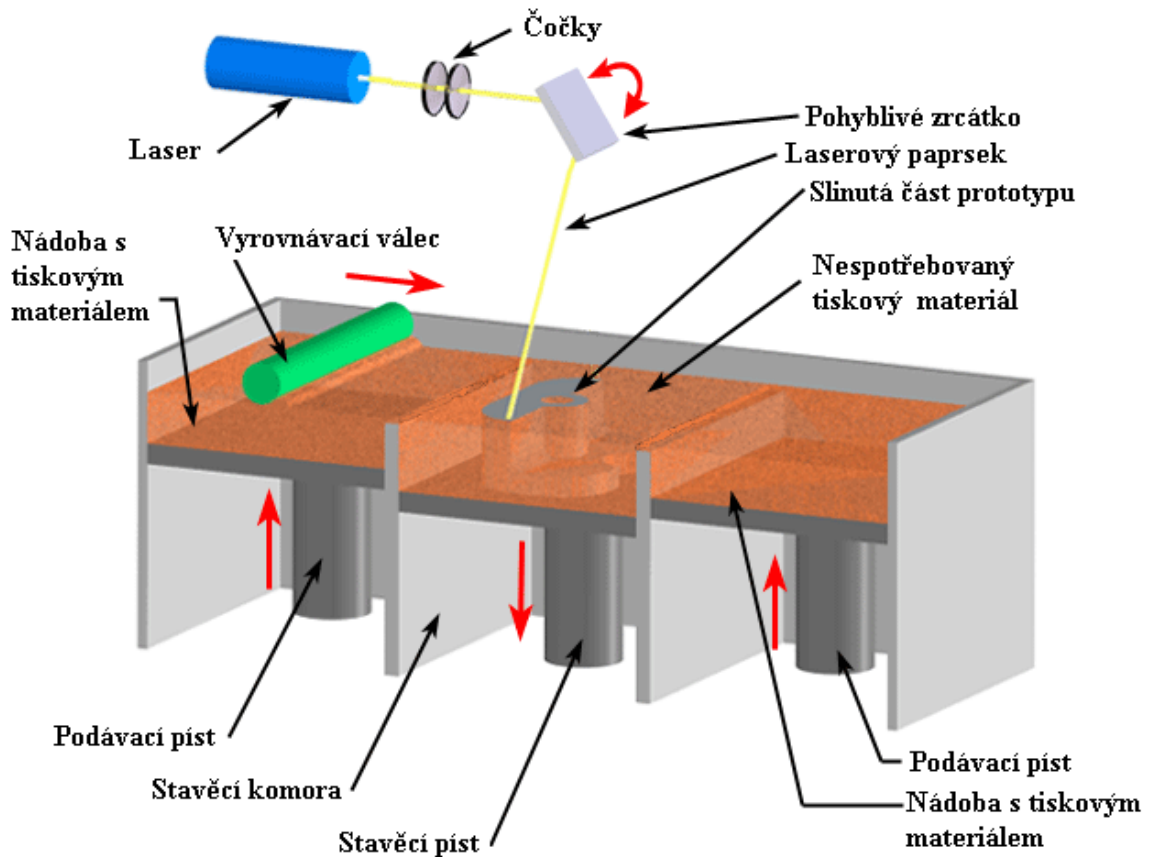
my nahoru a dolů. Veškeré pohyby platformy a hlavy má na starosti řídicí systém. Materiál je dodáván v náplních obdobných jako u klasických tiskáren, jen s větším objemem. U větších tiskáren jsou zásobníky na 2 náplně stavebního a 2 náplně podporového materiálu, což umožňuje nepřetržitou stavbu po dobu až 72 hodin. Jedinečnost této technologie je založena na malé tloušťce jednotlivých vrstev v porovnání s dalšími dvěma popisovanými technologiemi – a opět se liší podle výrobce tiskárny. U tiskáren firmy Objet je akrylátová pryskyřice na platformu nanášena ve vrstvě 0,016 mm a v rastru 600 dpi. To umožňuje dosáhnout přesnosti modelů $\pm 0,1$ mm v ose Z a $\pm 0,1-0,15$ mm v osách X a Y. Malá tloušťka vrstvy dovolí dosáhnout vysoce kvalitního povrchu modelů bez dodatečného dokončování s vykreslením jemných detailů, touto technologií je možno vyrobit modely s minimální tloušťkou stěny až 0,8 mm. Na výběr je v současné době 6 různých materiálů včetně 2 simulujících pryží. Pro všechny druhy materiálů lze použít jeden druh podporového materiálu. Obecně lze říci, že modely z uvedených materiálů mají větší pevnost, jsou tedy vhodné i pro zástavbové zkoušky a podobně. Nevýhodou těchto materiálů je jejich nízká teplotní odolnost do 50°C. Jestliže jsou modely vystaveny vyšší teplotě, může docházet k jejich deformaci. Nový materiál ABS-like má jednu nespornou výhodu, a to teplotní odolnost až 90°C. [12]



Obrázek 7 3D tisk [14]

2.3.3 Selective Laser Sintering (SLS)

Tato technologie je založená na laserovém slinování jemného prášku po jednotlivých vrstvách o tloušťce 0,1–0,2 mm. Platforma se u této technologie v pracovní komoře pohybuje stejně jako u ostatních metod popisovaných v tomto článku. Materiálem však není tekutá hmota, ale jemný prach. Nedochozí u něj k polymeraci, ale spojování jednotlivých částic prachu probíhá slinováním vyvolaným výkonným CO₂ laserem. Nanášení materiálu i rovnání jednotlivých vrstev a zaručení konstantní tloušťky vrstvy v tomto případě zajišťuje posuvný nůž. Pracovní komora stroje je uzavřena a naplněna dusíkem, který zajišťuje ochrannou atmosféru pro správný průběh slinování. Stavěné modely nejsou k platformě fixovány podporami jako u stereolitografických modelů. Modely jsou pevně ustaveny v prášku, který je obklopuje. Po ukončení stavby je však nutné model s okolním práškem nechat vychladnout, což však především u větších modelů může být proces trvající několik hodin. Tepelná vodivost těchto materiálů je totiž velmi nízká. Díky použití práškového materiálu a větší tloušťce vrstvy je tato technologie nevhodná pro vykreslení malých detailů a také přesnost výrobků $\pm 0,3\text{--}0,4$ mm/100 mm je u porovnávaných technologií nejhorší. Výhodou této technologie je větší pevnost modelů a nižší cena, z které vyplývá zejména vhodnost této technologie pro stavbu větších a jednodušších modelů bez větších nároků na přesnost. Modely lze stavět z čistého polyamidového prášku, polyamidu plněného 30 % skla, nebo polystyrénu. K dispozici jsou však také kovové prášky pro přímé (např. kovové prototypy) či nepřímé aplikace (např. vložky vstřikovacích forem). Technologie se také používá pro přímé zhotovení skořepin pro gravitační lití. V tomto případě je materiálem jemný křemičitý písek se speciálním pojivem v práškovém stavu. [12]



Obrázek 8 Selective Laser Sintering [14]

2.3.4 Použití modelů vyrobených metodou Rapid prototyping

Modely všech těchto RP technologií mohou zákazníkovi sloužit bez dalších úprav v surovém stavu např. pro designérské posouzení, reklamní nebo marketingové účely na různých výstavách a veletrzích, pro funkční zkoušky a ověření smontovatelnosti sestav. Dále se modely dají brousit, lakovat i pokovit. Velikost stavěného modelu je omezena velikostí platformy. Nejedná se však o zcela limitující faktor, neboť modely u všech zmiňovaných technologií se mohou stavět dělené a následně se dají slepit. Složitější modely se z důvodu zachování přesnosti slepují v obráběných přípravcích. Tímto způsobem lze vyrobit i několikanásobně větší modely, než jsou platformy jednotlivých strojů. Stále častěji se však tyto prototypy používají jako master modely pro zaformování do silikonových forem pro výrobu polyuretanových nebo voskových odlitků. Díky polyuretanovým odlitkům zákazníci dostanou ve velmi krátké době 2–3 týdnů výrobky s podobnými vlastnosti jako sériové termoplasty (ABS, POM, PA), číré nebo probarvené odlitky včetně jemných detailů a pryžové

odlitky s tvrdostí od 25 do 90 Shore A. Mohou tak velmi rychle prezentovat své výrobky, případně odhalit nedostatky ještě před výrobou nákladné vstříkovací formy. Stejně jako modely, tak i PU odlitky se dají lakovat, leštit a pokovit.

2.4 Výroba skořepinových modelů

Velmi důležitou součástí výrobou modelů a forem jsou technologie, které se vyvinuly s technologií používaných pro povrchové úpravy. Tyto technologie umožňují vytvoření funkční vrstvy takových vlastností, aby odpovídaly budoucímu výrobku, včetně jeho fyzikálních vlastností. Tyto vlastnosti nelze jinou metodou za obdobných ekonomických podmínek zhotovit. Výhodou těchto technologií je výroba rozměrných forem, velikost může být i několik m². Využití je významné u modelových forem pro nízkotlakové vstříkování a výrobu kompozitů.

2.4.1 Galvanoplastika

Ve většině odvětví průmyslu se doposud používají formy vyráběné z nástrojových ocelí klasickým nebo elektroerozivním obráběním. Velikou nevýhodou při jejich výrobě je hlavně jejich vysoká cena a pracnost. Z tohoto důvodu je výhodné vyrábět formy levnějšími technologiemi na bázi skořepin, zhotovovaných některou z technologií povrchových úprav. Trendy ve většině oborů směřují od velkosériové k malosériové výrobě, což vyžaduje odlišný přístup k výrobě forem pro krátké série. Je proto snahou rozšířit možnosti galvanotechniky a žárového stříkání kovů k vytváření forem těmito technologiemi. [15] Galvanoplastika je metoda pro zhotovování kovových předmětů elektrolytickou cestou (elektrolýza, galvanizace). Přínos galvanoplastiky spočívá v možnosti dokonalého kopírování modelů vyrobených z nejrůznějších materiálů, jako je ocel, nerezová ocel, dural, zinkové slitiny, měď, mosaz, vosky, polymery a polymerní dřeva. Vynikající reprodukční schopnost galvanoplastiky umožňuje kopírování dezénů usně, jemně gravírovaných nápisů, struktury dřeva, ale i zrcadlově leštěných povrchů. Jedinou podmínkou je, aby měl model takový tvar, který je možno z hotové skořepiny vyjmout. S výhodou se používá modelů vyrobených ze speciálních vosků, které se z hotové formy vytaví v parní nebo elektrické peci. [16] Hmotnost po-

užitého kovu je neporovnatelně menší, protože místo robustního odlitku vzniká kovová skořepina, max. několik milimetrů silná.

Materiály pro galvanoplastiku

Nejčastěji používanými materiály při galvanoplastice jsou měď a nikl, popřípadě jejich kombinace. Fyzikálně mechanické vlastnosti měděných forem nejsou nejlepší, ale v těch případech, kdy se nepožaduje především zvýšená tepelná odolnost forem, dává galvanoplastika mědi uspokojivé výsledky. Nejčastěji používaným materiálem při galvanoplastice je nikl, který má velmi dobré mechanicko-fyzikální vlastnosti a formy velmi dobře odolávají i cyklickému tepelnému namáhání, což upřednostňuje takto vyrobené formy pro rotační odlévání PVC nebo rotační spékání práškových termoplastů. Běžně se vyrábějí formy s tloušťkou stěny 0,8 - 4 mm. Nečastěji používaným elektrolytem je tzv. Wattsův elektrolyt, jehož základní složkou je síran nikelnatý. Běžně se používají rovněž sulfamátové elektrolyty, nově pak koncentrované sulfamátové nebo niklkobaltové elektrolyty. [16]

Galvanoplastická výroba forem není v žádném případě jednoduchou technologií. Spojuje v sobě náročnou výrobu a přípravu modelů, jejich povrchovou úpravu, zvodivování, dále pak složitý elektrochemický proces galvanoplastiky náročný na kontrolu a hlídání řady parametrů, jako je pH, teplota lázně, proudová hustota a čistota elektrolytů a nakonec často náročné dokončení forem (zalévání galvanoplastických forem do slitin hliníku, popřípadě PES pryskyřic atd.). [16]



Obrázek 9 Galvanoplastická forma protetické náhrady ruky [16]

Výroba modelu

Velkým přínosem pro výrobu modelů (respektive jader) je aplikace nízkotavitelných kovů (teplota tání 50 - 90°C, např. Woodův kov), které lze bez větších problémů odlévat do silikonových forem, odstraňovat, obrábět či spojovat.

Podstata výroby vodivého modelu spočívá v tom, že zhotovíme kopii modelu (z materiálu vosk, sklo, kov, dřevo) do formy ze silikonu, do níž se pak odlévá nízkotavitelný kov. Vyrobené modely se pak dají bez problémů spojovat do větších celků, tmelit speciálními tmely nebo retušovat (zabrušovat, zalešťovat či naopak zdrsňovat). Tohoto postupu se používá převážně pro výrobu tvarově velmi složitých předmětů. Jednodušší modely se zpravidla obrábějí přímo z modelového kovu, protože tím odpadá nutnost výroby silikonové formy. [15]

Výroba skořepiny

Je-li hotový model, je nutné na něm vytvořit samonosnou skořepinu o tloušťce 1 - 2 mm, a to buď galvanicky, nebo žárovým nástřikem. K nejčastěji používaným kovům pro výrobu forem je v galvanoplastice měď a nikl, při žárovém stříkání pak zinek, hliník a cín (respektive jejich slitiny). [15]

Přes poměrně velké rozdíly v pevnosti a tvrdosti se používá velmi často měď, ať už jako nosný nebo jako funkční kov pro nenáročné použití. Nikl má sice lepší mechanické vlastnosti, ale je obtížněji galvanicky vyloučitelný. Jednou z možností je také používání dražších vícerozložkových slitin typu Fe-Ni nebo kompozitních materiálů zvyšujících nejen tvrdost a pevnost, ale i otěruvzdornost.

Ke galvanickému vylučování kovů (vytváření kovové skořepiny) se standardně používá běžně dostupné vanové vybavení galvanoven. Mezi hlavní výhody této technologie patří její jednoduchost. Nevýhodou je však nerovnoměrná proudová hustota na povrchu modelu, a tudíž i nestejnětloušťka vrstvy vyloučeného kovu. Tímto je omezeno vylučování kovu u velmi členitých povrchů.

Odstranění modelu

Máme-li vyrobenou pevnou a kvalitní skořepinu, je nutné odstranit model. Skořepina se ohřeje a model z nízkotavitelného kovu se vypustí ven. Dalším krokem je pak definitivní

odstranění zbytků modelového kovu. Stopové množství kovu se odstraňuje mechanicky, případně odleptáním kyselinou.

Vyrobenou skořepinu je nutné dále zpevnit. To se provádí buď dalším pokovením, nebo vyplněním skořepiny vhodným plnivem. Následuje mechanické upevnění skořepiny do rámu, popřípadě zabudování chladicích a topných elementů. Způsob upevnění a výplňový materiál závisí především na požadavcích kladených na formu. Existuje několik kritérií, podle kterých se volí nejen materiál skořepiny, ale i materiál tělesa formy - lze mezi ně zařadit teploty, tlaky a střídání teplot, ať už vyhřívání nebo chlazení formy (teploty 50 - 240°C). Složení výplňového materiálu závisí především na funkci formy. Když je zapotřebí rychlý odvod tepla z formy, použije se materiál s velkou tepelnou vodivostí (olovo, zinek, hliník, ocelové třísky). Jinak se používají materiály chovající se jako tepelné izolanty (beton, šamot, slévárenský písek) nebo směsi těchto materiálů (ocelové třísky a písek). [15]

Přednost forem vyrobených nekonvenčními způsoby spočívá hlavně v jejich nižší cenové náročnosti a poměrně rychlé výrobě. Toho lze s výhodou využít jak v malosériové výrobě (pro 100 - 1000 kusů), tak hlavně při navrhování nových výrobků, pro jejich prototypy a zkoušky. [15]

2.4.2 Metalizace

Žárovým nástřikem (metalizací) je označována technologie, kdy na povrch konkrétní součásti je nanášen stříkáním roztavený materiál v podobě drobných kapiček, které ulpívají na povrchu dané součásti a vytvářejí souvislý povlak. Účelem této technologie je vytvořit funkční vrstvu takových vlastností, kterou jinou metodou nelze za obdobných ekonomických podmínek zhotovit. Zdrojem tepelné energie, nutné k nastavení přídavného materiálu, může být buď spalovací proces, nebo elektrická energie. Vytvořená vrstva kovu zabraňuje průniku vlhkosti a kyslíku k povrchu kovu, čímž zabraňuje vzniku koroze a několikanásobně prodlužuje životnost takto opracovaných (metalizovaných) celků. Stříkaný povrch musí být předupraven tryskáním či pískováním. [17]

Při výrobě forem žárovým nástřikem kovů spočívá největší problém v udržení nízké teploty na povrchu modelu a v udržení regulace nástřiku za účelem omezení vnitřního pnutí. [15]

Podle konstrukce zařízení a použitého zdroje energie lze základní druhy žárového nástřiku rozdělit na:

- nástřik plamenem
- plazmatický nástřik
- nástřik elektrickým obloukem

Pojem žárový nástřik znamená, že pro roztavení příslušného materiálu je využíván žár, zdroj tepla vznikajícího buď z energie elektrického oblouku (nástřik plasmovým hořákem nebo klasickou obloukovou metalizací) nebo jako zdroj tepla lze použít energii vznikající hořením běžně dostupných plynů. Pokud se použije jako zdroj tepelné energie hoření směsi paliva a kyslíku, pak mluvíme o nástřiku plamenem, detonačním nástřiku či vysokorychlostním nástřiku plamen. [16] Pro žárové stříkání se používají speciální pistole, které aplikovaný kov roztaví směsí plynů kyslík – acetylen nebo kyslík – propan-butan a proudem vzduchu vrhají na aplikovaný předmět. Aplikovaný kov je do pistole dodáván ve formě drátu. [19]

Aplikované materiály

- hliník
- zinek
- zinakor (slitina zinku (cca 80 %) a hliníku)
- stříbro
- měď
- molybden [19]

Do místa, kde se koncentruje tepelná energie je přiváděn přídavný materiál. Materiál se vytvářeným teplem taví a pomocí speciálních hořáků a trysek je foukáním rozprášen do podoby jemných kapiček. Kapičky jsou proměnlivou regulovatelnou rychlostí vrhány stlačeným plynem na povrch dané součásti. Vhodnou kombinací a skladbou přídavného materiálu můžeme vytvářet po nástřiku vrstvy takových vlastností, které jinými zatím známými metodami není možno docílit. Pro technologii elektro metalizace - žárového nástřiku jsou zapotřebí speciální stroje a zařízení, z nichž některé se vyrábí již i v tuzemsku, jiné je nutno zajistit

výhradně nákupem v zahraničí. Pro kvalitně provedený žárový nástřik je nutno vlastnit vhodné a kvalitní zařízení jako je například Valuarc od společnosti SULZER METCO. [17]



Obrázek 10 Metalizační zařízení Sulzer Metco Valuarc [17]

3 FORMY

Vlastnosti, které od forem při jejich používání jsou vyžadovány, závisí zejména na zpracovávaném materiálu. Samozřejmě jsou důležité i další hlediska, a to např. velikost výrobku, použitá technologie při výrobě výrobku, požadované množství vyrobených kusů. Tyto hlediska určují velikost, násobnost, tvar dutiny, použité materiály, přídavek na smrštění, požadavky na temperaci nebo chlazení formy na výrobu finálního výrobku nebo polotovaru.

Formy rozdělujeme podle více hledisek:

dle druhu zpracovávaného materiálu:

- a) pro zpracování reaktoplastů
- b) pro zpracování termoplastů
- c) pro zpracování gumárenských směsí

dle výrobní technologie:

- a) lisovací
- b) přetlačování
- c) vstřikovací
- d) lící
- e) vyfukovací
- f) tvarovací
- g) máčecí
- h) spékací

z hlediska strojního zařízení:

- a) upínací – upnutá forma na stroji tvoří s ním jeden celek při všech operacích
- b) snímací – ze stroje (lisu) se forma vyjímá při dílčích operacích (např. vyjímání výlisku, čištění formy, plnění dutin)

dle násobnosti formy (počet dutin):

- a) etážové – dutiny ve formě pro jednotlivé výlisky jsou umístěny ve dvou či více dělicích rovinách nad sebou
- b) dělené – tvárník nebo tvárnice jsou složeny ze dvou nebo více pohyblivých dílů pro snadnější vyjmutí výrobku
- c) kombinované – mají různé dutiny a umožňují vyrábět současně tvarově rozdílné dílce, zpravidla slouží ke kompletaci finálního výrobku. Výhodou je snazší organizace při kompletaci výrobku, dodržení barevných odstínů. Nevýhodou může být obtížné dosažení optimálního výkonu formy. [2]

3.1 Slévárenské formy

Technologie slévárenství představuje výrobu často velmi členitých a tvarově složitých odlitek s rádiusy a úkoso pro automobilový průmysl (výroba bloků a hlav motorů, brzdových kotoučů a bubnů, částí výfukového a sacího potrubí atd.), výrobu litých radiátorových těles ústředního topení, stojanů obráběcích a textilních strojů i výrobků pro domácnosti a také některé druhy šperků, zvony a další umělecké předměty.

Odlitek získáme ztuhnutím roztaveného kovu ve formě. Forma je nádoba ze žáruvzdorného materiálu, jejíž dutina tvoří negativ odlitku. Je opatřena vtokovou soustavou, výfuky a případně nálitky.

Forma se skládá ze tří částí:

Dutina – část, do které lijeme roztavený kov

Stěny – zhotovené z formovacího materiálu

Líc – část formy bezprostředně ve styku s rozžhaveným kovem

Formy můžeme rozdělit na formy:

Otevřené - Odlitek vyrobený v otevřené formě má horní část tvořenu ztuhlou hladinou roz-taveného kovu, tvar spodní části je dán tvarem formy.

Zavřené - V zavřené formě je všechn kov obklopen formovacím materiálem, forma je opatřena vtokem a výfukem.

Slévárenské formy můžeme podle použití rozdělit na formy:

netrvalé – pískové formy pro jednorázové použití, při vyjímání odlitků se zničí

polotrvalé – používají se v sériové výrobě, jsou vyrobeny z keramických hmot

trvalé - kovové formy používané v hromadné výrobě, slouží pro odlévání tisíce odlitků [20]

Výhody odlévání:

- možnost zhotovit díly od hmotnosti několika gramů od desítek tun,
- možnost dosažení poměrně jednoduchými postupy velmi složitých tvarů,
- hospodárnost v kusové i velkosériové výrobě,
- možnost odlévání většiny kovů a slitin.

Nevýhody odlévání:

- pomalé chladnutí silnostěnných výrobků vede ke vzniku hrubozrnné struktury,
- rozdíly v tloušťce stěn odlitků vedou k nerovnoměrnému chladnutí (způsobuje rozdíly ve struktuře a vlastnostech jednotlivých částí, vznik pnutí, deformací a poruch souvislosti),
- pro odstranění nedostatků lící struktury vyžaduje řada odlitků tepelné zpracování,
- vysoká energetická náročnost,
- vysoká náročnost ekologických a hygienických dopadů slévárenské výroby a jejich náklad-né řešení.

3.1.1 Netrvalé formy

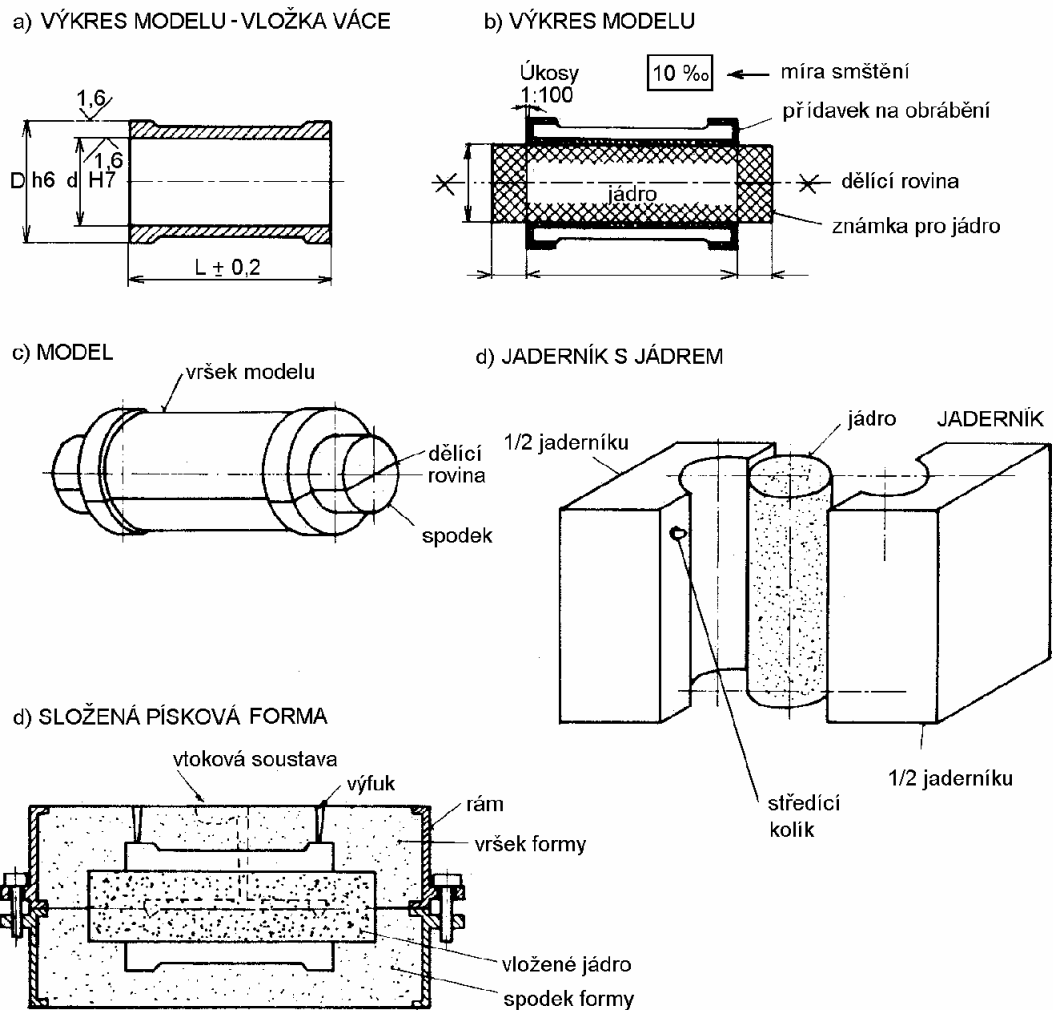
Netrvalé slévárenské formy se vyrábějí formováním. K zaformování modelu potřebujeme formovací rám, formovací nářadí, vtokovou soustavu, nálitky, atd. Forma musí být pevná,

prodyšná a poddajná při smršťování kovu, musí zajistit rovnoměrné tuhnutí odlitku ve všech jeho průřezech a snadné vytlučení. Formování můžeme rozdělit na ruční a strojní. [20]

Formovací rámy

Formovací rámy slouží k výrobě netrvalé (pískové) formy. Formovací materiál se v rámu při zapěchování modelu zhutňuje a zpevňuje. Rám chrání formu při rozebírání, vyjímání modelu a vtokové soustavy, opravování dutiny formy, obracení, přenášení a převážení formy do sušící komory (sušení zvyšuje pevnost a prodyšnost forem) nebo na místo určení k lití. Formovací rám musí odolávat tlakům, které vznikají při plnění formy roztaveným kovem. Vyrábějí se ze šedé litiny, oceli, slitin hliníku a hořčíku. Jejich tvar může být čtvercový, obdélníkový, kruhový a v sériové výrobě je přizpůsobený tvaru odlitku. Podle konstrukce rozoznáváme formovací rámy lité, montované a svařované.

Většina forem se skládá ze dvou ráků. Pro složité odlitky se používá ráků více (tři a více). Přesné složení formy je zajištěno skládacími (zaváděcími) kolíky. Nacházejí se v horním ráku a zasouvají se do otvorů v držadlech spodního ráku. Chybnému sestavení ráku formy brání to, že na jedné straně je jeden kolík a na druhé straně dva kolíky. Malé ráky mají po stranách držadla na přenášení. Velké ráky mají po stranách čepy pro zavěšení řetězů jeřábu. Okraje formovacích ráků jsou vyztuženy pískovými lištami - zpevňují ho, aby se nekroutil. Lišty také přidržují formovací materiál a zabraňují jeho vypadávání při zvedání a obracení plného ráku. [21]



Obrázek 11 Postup výroby pískové formy [21]

3.1.2 Polotrvalé formy

Polotrvalé formy se vyrábějí z keramických hmot s vysokou žáruvzdorností. Používají se pro malé série odlitků. Vyrábí se odléváním keramické břečky na model do rámu. [21]

3.1.3 Trvalé formy

Kovové formy (kokily) bývají zhotoveny ze šedé litiny, oceli nebo hliníkové slitiny. Jádra jsou vyrobena z oceli nebo písku. Používají se k lití velkého počtu odlitků (200 – 200 000). Jejich životnost je závislá na teplotě tavení odlévaného kovu, proto se používají pro kovy a

slitiny s nízkou teplotou tavení, tj. slitin hliníku, hořčíku, zinku a mědi. Aby se zamezilo přímému styku kokily s tekutým kovem a zvýšila se životnost hliníkových slitin, tak se galvanicky pokovuje líc formy. Trvanlivost kokil se také prodlužuje žáruvzdorným nátěrem, který slouží jako tepelná izolace, a nabarvením líce formy, které má za účel zlepšit vzhled a strukturu odlitku. Forma se odvzdušňuje pomocí kanálků v dělicí rovině, musí být tak velké, aby se nezalily kovem a včas odvedly všechny páry z formy.

Odlitky z kovových forem mají velmi přesné rozměry, pěkný hladný povrch a nepotřebují velké přídavky na obrobení jako odlitky z netrvalých (pískových forem). V kovové formě kov rychleji chladne, tím vzniká jemnější struktura s větší pevností. Při lití šedé litiny a ocele na odlitky do kovových forem se v povrchových vrstvách odlitků vytváří cementit, ten způsobuje horší obrobitelnost odlitků, následně se proto provádí tepelné zpracování (žihání).

Trvalé formy se používají většinou dělené na dvě a více částí. Formy musí umožnit rychlé plnění kovem a rychlé otevření, aby se odlitky a jádra dala rychle vyjmout. To zabrání smršťování a vzniku trhlin.

Trvalé formy se používají hlavně při gravitačním lití, vysokotlakém lití, nízkotlakém lití a odstředivé lití. [20]

3.2 Lisovací a přetlačovací formy

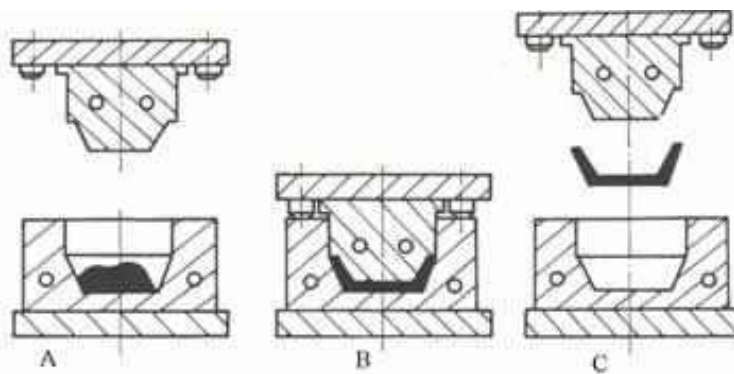
Lisování a přetlačování polymerů jsou dva základní technologické způsoby, které byly používány jako jedny z prvních technologických postupů na zpracování polymerů. Převážně se jimi zpracovávají reaktoplasty (fenolické hmoty, aminoplasty, polyestery, atd.). V současné době jsou tyto technologie nahrazovány vstřikováním, neboť se výrazně zkracuje celkový výrobní cyklus, odpadají dodatečné operace, snižuje se prašnost, apod. Z technologických parametrů lisovacího i přetlačovacího procesu jasně vyplívají požadované vlastnosti tvarové dutiny formy. Na zhotovení tvarové dutiny se používají nástrojové a speciální oceli. [22]

3.2.1 Lisovací formy

Při lisování je lisovaná hmota (látka) vložena do dutiny formy, působením tepla a tlaku je roztavena a vzápětí je tvářena do tvaru výlisku. Technologie lisování se uplatňuje na výrobu součástí z kovů a polymerů.

Lisování je způsob tváření polymerů ve vytápěné formě, která je nejčastěji ocelová. Na materiál se působí tlakem pro dosažení požadovaného tvaru. Základní technologické parametry lisování polymerů jsou: lisovací tlak, teplota lisování a doba vytvrzování. Lisovací tlak ovlivňuje kvalitu povrchu vylisku, smrštění. Závisí na druhu polymeru, geometrii výrobku, na teplotě předehřevu a teplotě lisování. Bývá v rozmezí 10 až 60 MPa. Lisovací formy jsou vytápěny elektrickým odporovým topením na teplotu lisování, což je vlastně teplota lisovací formy. Teploty lisování závisí na druhu plastu, tloušťce stěny, geometrii výrobku, teplotě předehřevu a jsou v intervalu od 130 do 190°C. Důležitá je rovnoměrnost teploty formy a stejné parametry na straně tvárníku i tvárnice. Doba vytvrzování se určuje obtížně a nejjednodušší způsob je podle tloušťky stěny výrobku (u fenolických hmot je to kolem 1 až 1,5 min na 1 mm tloušťky). Podle použitého tlaku s lisování dělí na nízkotlaké a vysokotlaké, kdy hranicí je 3,5 MPa.

Postup lisování je následující: dutina nástroje se naplní práškem (tabletou, kašovitou hmotou, apod.) o přesně stanoveném objemu. V důsledku styku plastu s vyhřívanou formou dochází k plastikaci a tlakem tvárníku se jednak dokončí plastikace a jednak dojde k zaplnění tvarové dutiny formy. Následuje odlehčení (snížení lisovacího tlaku a pootevření formy), které je důležité z hlediska odplynění taveniny plastu a dokončení lisování. V materiálu, v důsledku dodávaného tepla, proběhne vytvrzování (vytvrzovací reakce – vytvoření zesíťované struktury), což je nejdelší částí lisovacího cyklu. Tato část se nazývá doba vytvrzování a závisí na tloušťce stěny, druhu plastu, teplotě formy. Po vytvrzení se forma otevře, vylisek se vyhodí, forma se očistí (nejčastěji stlačeným vzduchem a následně se natře separačním prostředkem) a celý cyklus se opakuje. [22]



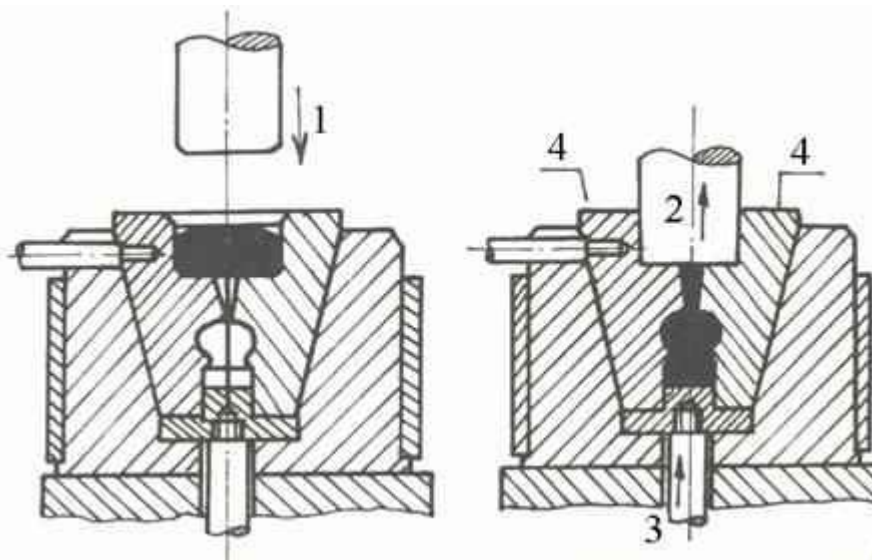
A – vložení reaktoplastu do dutiny formy, B – lisování a vytvrzování, C – vyhození vylisku

Obrázek 12 Princip lisování termoplastů [22]

3.2.2 Přetlačovací formy

Při přetlačování je lisovaná hmota vložena do vyhřáté přetlačovací komory lisovací formy, zde je převedena do plastického stavu a působením pístu je přetlačena rozváděcími kanály do dutiny formy, kde získává konečný tvar.

Přetlačování reaktoplastů je způsob, při kterém se dávka plastu nekládá přímo do tvarové dutiny formy, ale do pomocné dutiny formy, odkud je po zplastikování přetlačena tlakem vtokovými kanály do vlastní dutiny formy. Přetlačování se používá pro vylisky složitých tvarů, pro vylisky se zálisky, apod. Výrobek sice nemá přetoky, ale velké množství hmoty zůstává ve vtokovém systému a v pomocné dutině, neboť i zde se musí objem dávky navýšit oproti objemu konečného výrobku. Přetlačovací tlaky jsou oproti lisování vyšší, bývají kolem 50 až 100 MPa, mohou se však snížit předehřevem plastu. Doba vytvrzování vůči lisování je kratší, cyklus je však delší v důsledku většího počtu operací. [22]



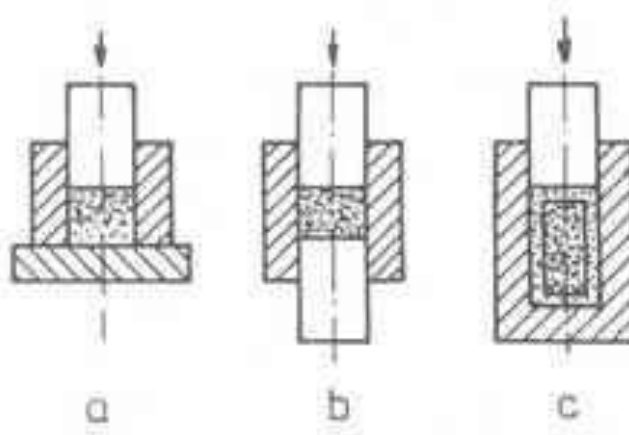
1 – přetlačení vloženého plastu, 2 – pohyb tvárnicku, 3, 4 – vyhození vylisku

Obrázek 13 Princip přetlačování reaktoplastů [22]

3.2.3 Formy na lisování práškových kovů

Výrobou a zpracováním práškových kovů se zabývá prášková metalurgie. Vhodně upravené prášky se zpravidla lisují do požadovaného tvaru a získané těleso se obvykle zpracovává

spékáním, aby dosáhlo potřebných fyzikálních a mechanických vlastností. Těleso z práškových kovů má objem jednak pevných částic a jednak mezer (pórů). Objem mezer je závislý na způsobu lisování a velikosti lisovacího tlaku. Při stlačování prášku v dutině nástroje působí vnější (mezi práškovým materiálem a stěnou dutiny lisovací formy) i vnitřní tření (tření mezi částicemi). Tření, které je možné snížit použitím mazadel, má za následek nerovnoměrné rozdělení hustoty ve výlisku. Podle směru působícího tlaku rozdělujeme lisování na jednosměrné, obousměrné a izostatické. Při jednostranném lisování je nejvyšší hustota v oblasti pod lisovníkem, při oboustranném lisování je nejnižší hustota ve středu výlisku. Při izostatickém lisování je prakticky odstraněno vnější tření a výrobek vykazuje rovnoměrnou hustotu. Následuje spékání. Ke snížení pórovitosti se může lisování i spékání vícekrát opakovat. Lisovací tlaky se nejčastěji pohybují od 50 do 1800 MPa a pórovitost je 5 až 8 %. K lisování se používají mechanické nebo hydraulické lisy. [22]



a – lisování jednosměrné, b – lisování obousměrné, c – izostatické lisování

Obrázek 14 Základní způsoby lisování [22]

3.3 Vstřikovací formy

Formy pro zpracování polymerů musí odolávat vysokým tlakům, musí poskytovat výrobky o přesných rozměrech, musí umožnit snadné vyjmutí výrobku a musí pracovat automaticky po celou dobu své životnosti. Jejich konstrukce a výroba je náročná na odborné znalosti, ale i na finanční náklady. Volba materiálu formy závisí na druhu zpracovávaného polymeru, na použité technologii, na velikosti výrobku a jeho složitosti, na velikosti série, na tepelné

odolnosti a odolnosti proti opotřebení a korozi, na ceně, apod. Důležitým faktorem životnosti formy je provedené tepelné zpracování na tvarových částech nástroje. Dalším důležitým úkolem při konstrukci forem je stanovení rozměrů a výrobních tolerancí tvarových částí. Pro určení a výpočet těchto rozměrů jsou rozhodující smrštění, tolerance jednotlivých rozměrů vylisku a opotřebení činných částí nástroje. [22]

Vstřikovací formy jsou konstrukčně velmi rozmanité a lze je rozdělit do následujících skupin:

- podle násobnosti na jednonásobné a vícenásobné,
- podle způsobu zaformování a konstrukčního řešení na dvoudeskové, třideskové, etážové, čelistové, vytáčeční, apod.,
- podle konstrukce vstřikovacího stroje na formy se vstřikem kolmo na dělicí rovinu a na formy se vstřikem do dělicí roviny. [22]

Vstřikovací forma se skládá z dílů, vymežujících tvarovou dutinu formy, z chladicího (temperačního) systému, z vtokového systému, z vyhazovacího systému a z upínacích a vodicích elementů. Jednotlivé části vstřikovacích forem lze rozdělit do dvou skupin na části konstrukční a na části funkční. Konstrukční části zabezpečují správnou činnost nástroje a funkční části se stýkají s tvářeným materiálem a udělují mu požadovaný tvar.

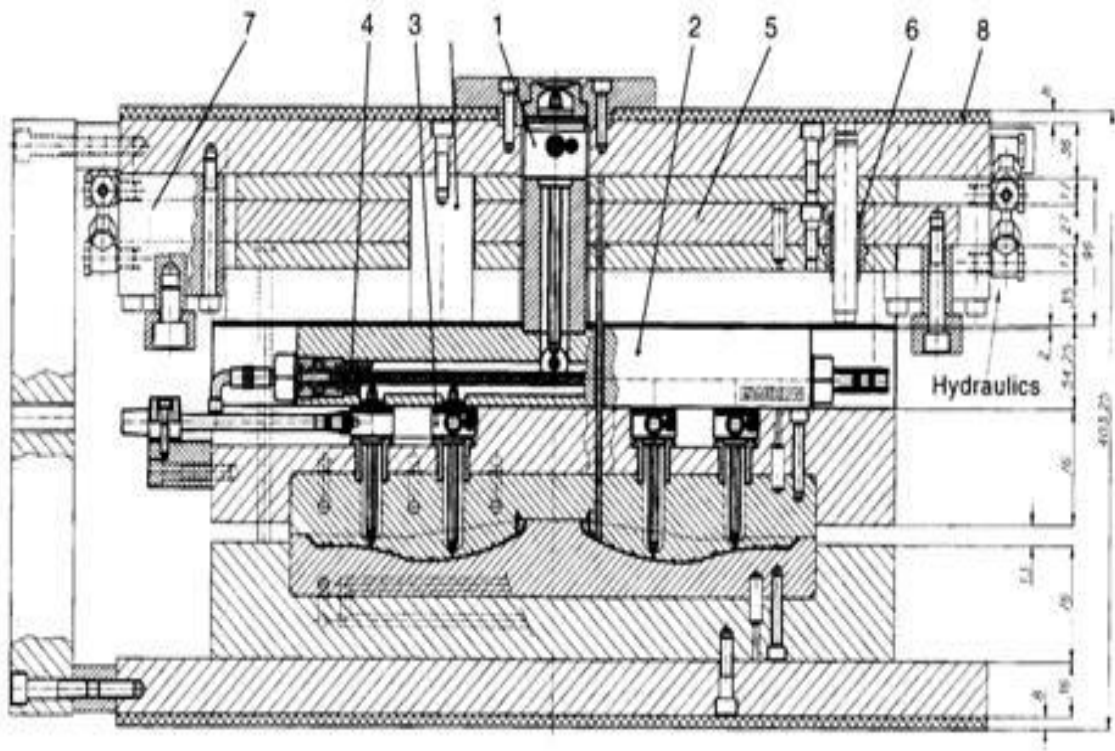
Kvalitu a jakost výstřiku spolu s produktivitou výroby nejvíce ovlivňuje vtokový systém, což je systém kanálů a ústí vtoku, který musí zajišťovat správné naplnění dutiny formy, snadné odtržení nebo oddělení od výstřiku a snadné vyhození vtokového zbytku. Vtoková soustava je navrhována podle počtu tvarových dutin, podle jejich rozmístění a podle toho, zda bude konstruována jako studený nebo horký rozvod. Konstrukční řešení vtokového systému závisí na konkrétním tvaru výstřiku a na násobnosti formy. Při vstřikování termoplastů má druh a umístění vtoku podstatný vliv na proudění taveniny ve formě, vytváření tzv. studených spojů, orientaci makromolekul a plniva, rovnoměrnost krystalizace, anizotropii vlastností a rozměrů, povrchový vzhled, apod. Vtok má být zásadně řešen tak, aby tavenina naplnila formu nejkratší cestou bez velkých teplotních a tlakových ztrát, co nejrychleji a pokud možno všude ve stejném čase. U vícenásobných vstřikovacích forem je

nejdůležitějším požadavkem, aby všechny tvarové dutiny byly plněny současně a při stejných technologických podmínkách, což znamená při stejné teplotě taveniny a při stejném vnitřním tlaku. Při vstřikování termoplastů má typ a umístění vtoku podstatný vliv na proudění taveniny ve formě vytváření tzv. studených spojů, orientaci makromolekul a plniva, rovnoměrnost krystalizace, anizotropii vlastností a rozměrů, povrchový vzhled apod.

Pokud bude vstřikovací forma vícenásobná, tak umístění tvarových dutin je možné buď do hvězdy, nebo v řadě. Z hlediska plnění tvarových dutin je lepší uspořádání do hvězdy, protože k zaplnění dochází ve stejném čase a při stejném tlaku, kdežto u uspořádání v řadě se musí provést korekce ústí vtoku, tzn. změnit rozměry rozváděcích kanálů směrem ke vzdálenějším dutinám.

Mimo výše popsaných částí obsahují vstřikovací formy i různé *mechanismy pro vyhazování výstřiků*, protože výrobky se při ochlazování smršťují a zůstávají na tvarových součástech formy. Nejčastější způsob vyhazování výstřiků je mechanický princip buď pomocí vyhazovacích kolíků, nebo pomocí stíracích desek, stíracích kroužků, apod. V řadě případů se jednotlivé způsoby kombinují. Vyhazovací síly a jejich výpočet se odvozuje od měrných tlaků mezi formou a výstřikem, kdy síla na vyhození bude záviset na pružnosti tvárníku a tvárnice, na průběhu tlaků a teplot během vstřikování, na rozměrech výstřiku a na teplotní závislosti koeficientu tření mezi oběma plochami.

Odvzdušnění tvarové dutiny u vstřikovacích forem je velmi důležité, protože doba vstřiku je velmi krátká a mohlo by dojít k nedokonalému vyplnění tvarové dutiny taveninou plastu, k nebezpečnému zvýšení tlaku, k poklesu pevnosti v místech studených spojů nebo k tzv. diesel efektu, kdy může dojít až ke spálení materiálu. Proto je nutné zajistit intenzivní odvod vzduchu z tvarové dutiny formy, a to nejenom netěsnostmi v dělicí rovině, ale i konstrukcí odvzdušňovacích kanálků, které však nesmějí být příčinou vzniku otřepů na výrobku. Odvzdušnění má být provedeno v dělicí rovině na protilehlém místě vtoku. Na dostatečné odvzdušnění formy má vliv umístění vtoku, způsob zaformování výstřiku, umístění vyhazovačů, přítomnost tvarových vložek, apod. [22]



Obrázek 15 Ukázka konstrukce vstřikovací formy [22]

3.4 Lisovací formy na výrobu pneumatik

Pláště pneumatik obdrží konečný tvar a požadované fyzikálně-mechanické vlastnosti procesem lisování a vulkanizace. Oba děje probíhají současně za přítomnosti vulkanizačních činidel teploty, tlaku a času. Lisování se děje v počátku procesu nástupem lisovacího tlaku při současném prohřevu „surového„ pláště. Působením tlaku a teploty zaplní směs všechny části formy. S dalším prohřevem dochází ke zvyšování teploty a při teplotě nad 120°C začne probíhat vlastní proces vulkanizace. Teprve vulkanizací vzniká elastická pryž s potřebnými fyzikálními vlastnostmi důležitými pro užitnou hodnotu výrobku. Tyto vlastnosti jsou elasticita, tažnost, tvrdost, odolnost proti opotřebení, povětrnostním a chemickým vlivům. Lisování je proces závislý na tlaku, vulkanizace je chemicko-fyzikální děj, při kterém dochází ke strukturálním změnám. Makromolekuly kaučuku se vážou s molekulami vulkanizačního činidla, vznikají příčné vazby, materiál převážně plastický se mění na elastický. Pro tento proces je nutno použít zařízení, které vyvine vysoké teploty a tlaky. Tímto zařízením jsou vulkanizační lisy. Dle toho, jakým způsobem dosahujeme uzavírací a lisovací síly, rozdělujeme lisy na mechanické a hydraulické. Topným médiem je pára a horká voda. Ohřev surového pláště se děje přes kovovou formu buďto přímo, hovoříme o komorovém vytápění,

nebo nepřímo přes topnou desku, která ohřívá formu. Vzhledem ke tvaru pláště, který představuje duté těleso, musí být plášť při vulkanizaci přitlačován zevnitř proti kovové formě elastickou membránou, která současně zajišťuje vnitřní ohřev pláště. Formy jsou buďto pevné dvoudílné - obě poloviny naprosto stejné, nebo segmentové. Celý proces lisování a vulkanizace je plně automatizován, řízen počítačem. [23]

Lisovací formy pro gumárenské směsi se vesměs řeší jako snímací. Těžší formy, např. na tvrdou pryž se na lisy upínají. Zaformování výrobků se řídí obecnými zásadami, avšak musíme počítat s tím, že pružnost výlisků z měkké pryže umožňuje menší citlivost vůči podkossům a zápichům, ale i snazší vyjímání jader a na druhou stranu vylučuje použití tenkých vyhazovacích kolíků. Rozměry dutiny se stanovují s ohledem na smrštění. Dělicí rovina se umísťuje tak, aby stopa po ní nenarušila vzhled ani funkci daného výrobku. [24]

Funkce lisovací formy pro pláště pneumatik je poněkud odlišná od funkce běžných lisovacích forem. Tvářecí tlak je totiž vyvozován na výrobek zevnitř, když vlastní forma je již uzavřena.

Lisovací formy na pláště dělíme:

lisovací formy dvoudílné - používají se při výrobě diagonálních pláštů nebo také pláštů smíšené konstrukce.

lisovací formy segmentové - tyto formy se používají nejčastěji pro pláště radiální konstrukce.

Lisovací formy dvoudílné se používají při výrobě diagonálních pláštů nebo také diagonálních pláštů s páskem (bias – besed). Lisovací formy segmentové se používají při výrobě radiálních pláštů. [25]

3.4.1 Dvoudílné formy

Dvoudílné formy mají zpravidla jednu horizontální dělicí rovinu a skládají se z horní a dolní poloviny formy. Obě poloviny formy mají dezénové vložky, patní kroužky, kroužky tvořící

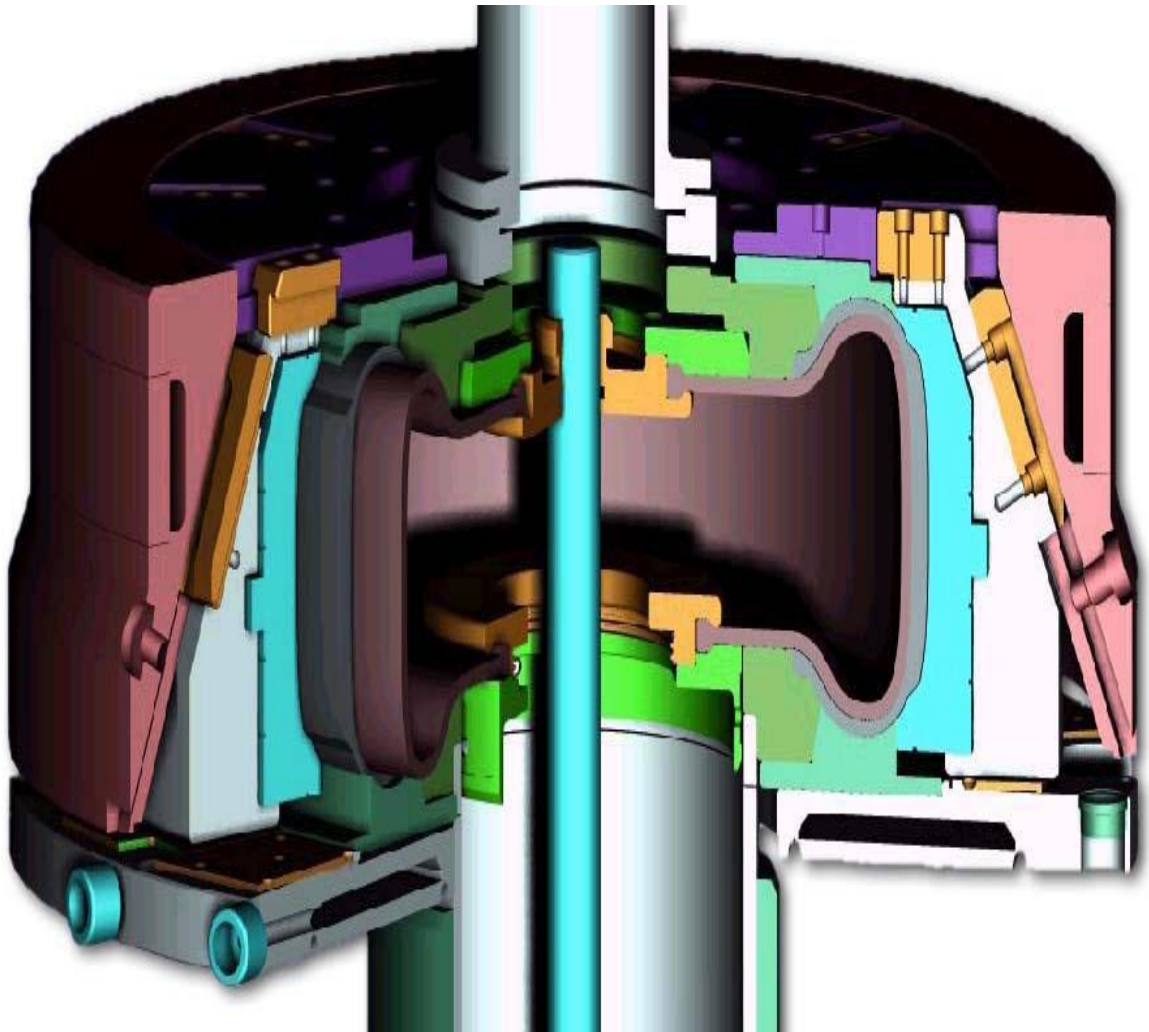
bočnice. Součástí formy je také membrána. Tyto vulkanizační formy jsou poměrně jednoduché konstrukce. Nejčastěji se využívají při výrobě méně náročných diagonálních plášťů, nebo při výrobě některých speciálních druhů plášťů. Ve výrobě radiálních plášťů se tyto formy používají jen výjimečně, protože formy při vertikálním otvírání mají tendenci poškozovat a deformovat vylisovaný plášť v dezénové oblasti. Hlavní výhodou dvoudílných forem je nízká cena a jednoduchá údržba.



Obrázek 16 Dvoudílná forma s bočnicemi [23]

3.4.2 Segmentové formy

Segmentové formy jsou určeny pro výrobu radiálních plášťů. Hlavní výhodou segmentových forem je radiální pohyb segmentů při otvírání a zavírání formy. Tento pohyb je výrazně šetrnější, než čistě vertikální otvírání u dvoudílných forem. Nedochází tak k poškozování dezénových figur na formě i vylisované pneumatice. Toto je velice důležité pro dosažení vysoké kvality a přesnosti výroby moderních výkonných autoplášťů. Segmentové formy jsou ve srovnání s dvoudílnými formami několikanásobně dražší, náročnější na údržbu a manipulaci. Hlavními konstrukčními prvky těchto forem jsou segmenty tvořící dezénovou část formy, dolní a horní bočnicový kruh, dolní a horní patní kruh, kontejner a lisovací membrána.



Obrázek 17 Řez segmentovou formou pro osobní pláště [23]

4 SHRUTÍ TEORETICKÉ ČÁSTI

Teoretická část je zaměřena na problematiku výroby modelů. Jsou popsány materiály na výrobu modelů a jednotlivé výrobní technologie. Podrobněji jsou zmíněny nejpoužívanější moderní technologie na výrobu modelů jako Rapid Prototyping a výroba skořepinových modelů. Dále v teoretické části je obsažena kapitola zabývající se formami obecně i lisovacími formami na výrobu pneumatik. Problémem všech studovaných technologií je přenos tvarové a rozměrové přesnosti na konečný výrobek. Nejvíce je tímto problémem zatížena technologie, kdy v technologickém postupu následuje několik následných operačních kroků, čehož je představitelem i problém zpracovaný v praktické části.

II. PRAKTICKÁ ČÁST

5 CÍLE PRAKTICKÉ ČÁSTI

Cílem praktické části je posoudit a popsat a změřit přenos tvaru modelu na sádrové jádro. V úvodu praktické části bude popsána výroba segmentové formy na lisování osobních pneumatik od fáze výroby modelů po výrobu odlitku. Stěžejní část praktické části je měření odchylek tvaru mezi CAD modelem, vyfrézovaným modelem, odlitým flexibelem a odlitým sádrovým jádrem. Tato měření budou prováděna na multisenzorovém souřadnicovém měřícím stroji Werth Scope-Check MB 3D CNC, který je výrobkem německého výrobce Werth Messtechnik GmbH. Měření budou následně vyhodnocena. Bude vybrán nejvhodnější flexibel ze čtyř testovaných vzorků a nejvhodnější doporučen k používání do výroby.

6 POSTUP VÝROBY SEGMENTOVÉ FORMY VE VFB

Základy výroby forem byly položeny již v roce 1931, kdy firma Baťa začala ve Zlíně vyrábět první velopláště. Od roku 1932 se ve strojírenském závodě firmy Baťa začaly vyrábět formy, určené k lisování pneumatik pro automobily. V rámci výroby forem Barum (dále VFB) se postupně vyráběly osobní, nákladní a traktorové formy. Divize výroby forem je součástí společnosti Barum Continental spol. s r. o. se sídlem v Otrokovicích. Dnes VFB je strojírenským závodem, který patří mezi světovou špičku ve výrobě osobních segmentových forem. Tyto výrobky jsou dnes dodávány zákazníkům po celém světě. 80% výrobků směřuje do pneumatikářských závodů západní Evropy, Afriky, Jižní Ameriky a USA. Export do USA v posledních 3 letech má trvale rostoucí trend. Formy, které v současné době VFB vyrábí, jsou výsledkem důsledné a pečlivé práce, na níž se podílí vysoce kvalifikovaný tým odborníků, kteří pracují v moderních a stimulujících podmínkách. Výroba je připravována týmem obchodníků, programátorů, ekonomů, konstruktérů, technologů a plánovačů. Celý proces je zpracováván vysoce výkonnou počítačovou podporou systémů UNIGRAPHICS, DESIGNCAD a dalších softwarových produktů. Opravdovým zlatým srdcem VFB je výroba modelů a hliníkových odlitků. Modely jsou vyráběny na NC pětiosých frézkách, odlévání probíhá v ochranné atmosféře. Odlitky dosahují špičkové kvality a přesnosti. Obráběcí a dokončovací operace provádí kvalifikovaní pracovníci na moderních technologických zařízeních, jehož páteř tvoří NC stroje – frézky, soustruhy, gravírovací stroje. Jakost forem je zajišťována v průběhu celého výrobního procesu a prakticky stoprocentní kontrolou hotového výrobku. [23]

6.1 Výroba segmentové formy v VFB

Každá segmentová forma pro osobní pneu, která je vyrobena ve VFB, je sestavena z těchto hlavních dílů:

- dezénové segmenty
- bočnice
- patkové kroužky

Tyto jednotlivé díly se vkládají do kontejneru, který zajišťuje jednak vytápění formy tak i pohyb formy při vkládání a vyjímání pneu při lisování.

Dezénové segmenty

Dezénové segmenty se vyrábí z hliníkových odlitků z materiálu AlMg₃. V oddělení slévárny se podle výkresů a CNC dat vyrábí na pětiosých frézkách modely, které mají prakticky vzhled budoucího dezénu pneu. Pomocí speciálních gumových otisků s vysokou rozměrovou pamětí a po vložení ocelových lamel se ze sádry zhotoví odlévací forma. Tato forma stejně jako prvotní model se ručně dokončuje, aby se odstranily drobné vady a nerovnosti na povrchu. Vše je zaměřeno na vysokou rozměrovou přesnost licí sádrové formy. Odlití roz-taveného hliníku ukončí základní výrobní proces ve slévárně.

Odlité dezénové segmenty se dále soustruží a frézují, aby rozměrově pasovaly do lisovacího kontejneru. Velmi náročnou a přesnou výrobní operací je zhotovení odvzdušnění dezénů. V dezénovém kruhu se musí vyvrtat až tisíce otvorů pro speciální euroventily, aby bylo zaručeno správné odvzdušnění formy při lisování pneu. Spolu s odvzdušněním se na dezénu provádí i ruční dokončení odlitku, zejména odškrábání přetoků a vad vzniklých v průběhu lití a následném vychládnutí hliníku.

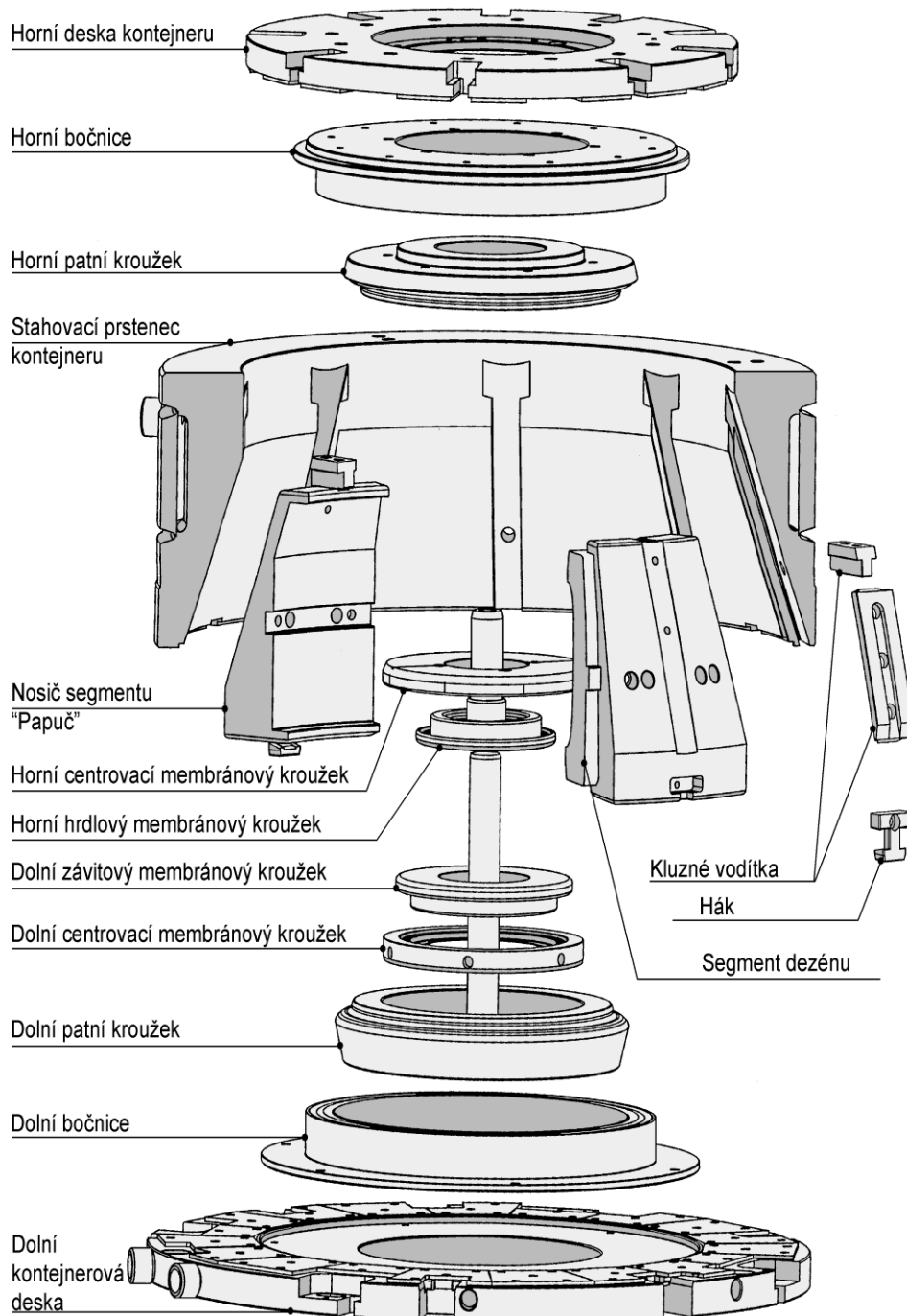
Bočnice

Bočnice se soustruží z ocelových vypálených polotovarů. Po tepelném zpracování a vysoustružení základního tvaru bočnice se do profilu pneu frézují drážky pro výměnné štítky popisu. Po vsazení a dolícování výměnných štítků se na lisovací části bočnice vyfrézuje popis, který se při lisování pneu otiskne na finální výrobek – plášť pneu. Na popisu jsou uvedeny veškeré identifikační znaky pneumatiky, které umožní jednoznačné určení typu výrobku a podmínky jeho používání, výrobce pneumatiky i výrobce formy. Stejně jako v dezénové části formy, tak i na bočnici se musí zhotovit odvzdušňovací systém, který zaručí správné odvzdušnění formy při lisování pneu. Spolu s odvzdušněním se na bočnici ručně dokončí nerovnosti a chybějící detaily vzniklé po strojním obrábění.

Patkové kroužky

Patkové kroužky se po tepelném zpracování soustruží z ocelových vypálených polotovarů. Po soustružení základního tvaru se na lisovací části kroužků vrtá a frézuje odvzdušňovací systém, který zaručí správné odvzdušnění formy při lisování pneu. Stejně jako na bočnicích

a dezénových segmentech se pro odvodušnění používají i speciální euroventily, které při lisování pneu zabraňují zátékání gumárenské směsi do formy, ale umožňují odvodušnění formy. [23]

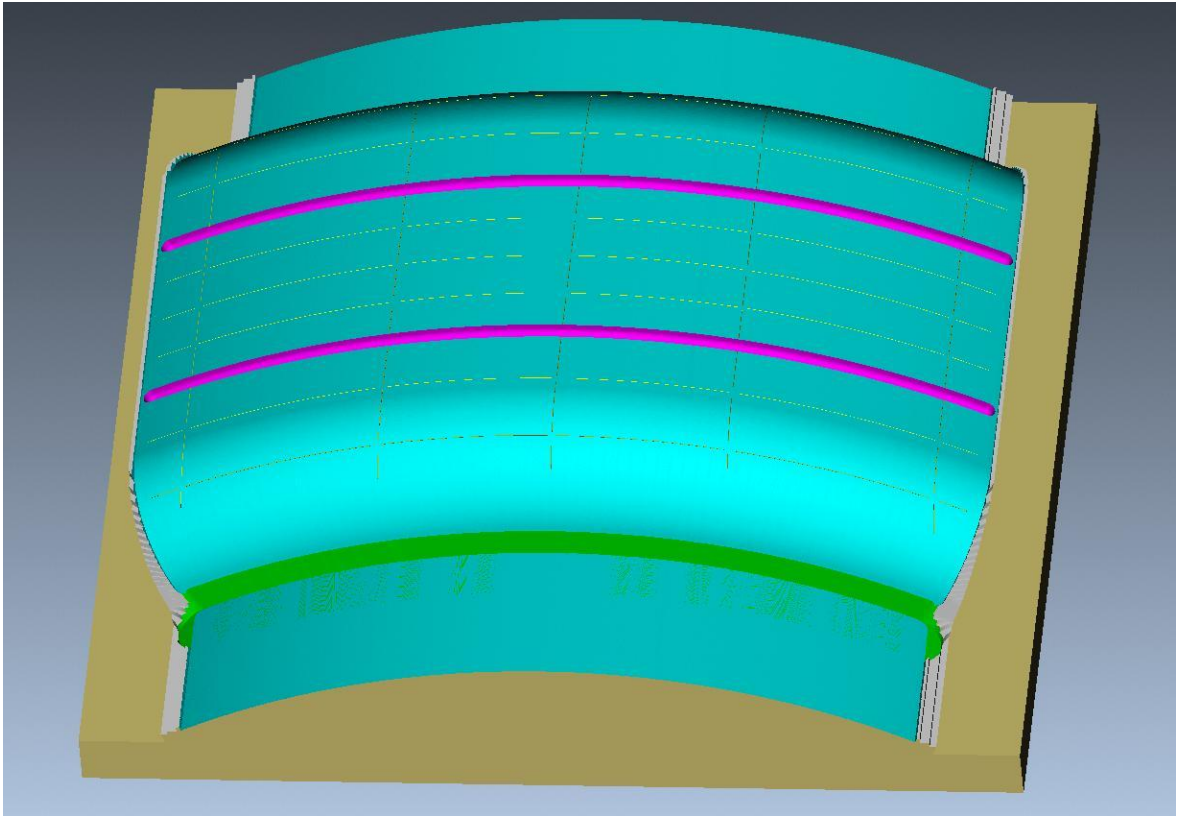


Obrázek 18 Sestava formy na lisování pneumatik pro osobní automobily [23]

6.2 Využití CAD/CAM systému při výrobě segmentových forem

Silná konkurence na trhu s automobilovými pneumatikami nutí výrobce vyvíjet takové dezény, které by splňovaly stále náročnější požadavky na provozní vlastnosti. Důležitý je design pneumatiky. Tvarová složitost takových dezénů a současně nároky na produktivitu výroby vedou k použití výkonných 3D CAD/CAM systémů. V oblasti designu a návrhu pneumatik se využívá zejména vizualizačních schopností Unigraphicsu, neboť vytvoření trojrozměrného náhledu na pneumatiky podstatně zvyšuje možnosti konstruktéra. CAD model pneumatiky je též využíván při simulacích a analýzách vlastností konstruovaného dezénu. Při zpracování výrobní dokumentace konstruktéři využívají moduly Drafting a Modeling, doplněné o balík nadstavbových funkcí pro automatickou tvorbu pohledů a řezů drážkami.

Přesnost ve výrobě formy podstatně ovlivňuje vlastnosti pneumatiky. Z geometrického hlediska jde o velice složitá tělesa, neboť každé těleso segmentu obsahuje řádově několik tisíc obecných ploch. Výroba takto složitých dílů je nemyslitelná bez použití CNC technologie. Podklady pro výrobu forem jsou z vývoje do VFB dodávány v podobě 3D modelu. Tento 3D model je nutno před obrobením rozměrově upravit tak, aby zahrnoval vlivy objemových smrštění při tuhnutí formy a vliv výrobních tolerancí při dokončování formy a při lisování pneumatiky. Objemové smrštění při tuhnutí formy není konstantní ve všech směrech, například procentuální změna hloubky drážky je jiná než poměrné smrštění na průměru pneumatiky. Pro Unigraphics byla ve VFB vyvinuta nástavba, která automaticky provádí všechny zmíněné rozměrové úpravy na 3D modelu včetně automatického generování NC programů pro obrobení. Výsledný model je důsledně parametrický a asociativní, což je důležité zejména ve fázi úprav rozměrů. [27]



Obrázek 19 CAD model modelu z polymerního dřeva

6.3 Frézování modelů

Frézování je jedním z nejpoužívanějších způsobů strojního třískového obrábění. Frézováním je možno obrábět jednoduché rovinné plochy, různé složité nepravidelné tvary i rotační plochy. Běžně se frézují osazené plochy pravoúhlé a šikmé, tvarové plochy, drážky různých typů. Lze frézovat ozubená kola a hřebeny, závity, mohou se vrtat otvory v přesných roztečích, souřadnicích nebo na roztečné kružnici. Pomocí přídavných zařízení lze rozdělit obvod obrobku na stejné i nestejně rozteče, frézovat nekruhové profily (vačky), obrážet drážky (řemenice, ozubená kola), brousit otvory v nerotačních obrocích. Při frézování koná hlavní (rotační) pohyb nástroj = *fréza*, pevně upnutý *obrobek* koná vedlejší pohyb (přímočarý posuv). Výsledný řezný pohyb tvoří cykloidu. [26]

Dříve CNC obráběcí centra sloužila převážně k výrobě forem a náradí. Nyní jsou využívána ve stále větší míře k výrobě modelů z oceli, hliníku, polyuretanových a epoxidových desek, polymerních dřev, plexiskla a polymerů. Tato technologie je vhodná zejména pro výrobu

větších prototypů. Na 3osých a hlavně 5osých obráběcích centrech lze vyrobit i složitější tvary a vzhledem k přesnosti obrábění není problém zhotovit ucelené sestavy prototypů. Tímto způsobem jsou například vyráběny z polymerního dřeva, hliníku a plexiskla prototypy automobilů pro předváděcí účely, nebo modely sloužící jako referenční kontrolní makety. Tyto modely lze brousit, lakovat a pokovovat, takže výsledný prototyp je k nerozeznání od sériového dílu. Výhodou obrábění z polymerního dřeva je kromě dobré obrobitelnosti těchto materiálů i možnost zvolit materiál dle požadavků zákazníka. Kromě běžných polymerních dřev lišících se různou hustotou je možné vyrobit prototyp či nástroj např. z materiálu plněného hliníkem. Obráběné modely lze použít také k výrobě silikonových forem. Dlouholeté uplatnění nacházejí obráběné modely také ve slévárnách při výrobě prototypových modelových zařízení a jaderníků nebo v leteckém průmyslu, kde jsou např. zmenšené kopie letadel, případně jejich části zkoušeny v aerodynamickém tunelu. [11]

Pro výrobu modelů ve VFB se nejčastěji používá materiál NECURON 651. Model se frézuje na CNC obráběcích strojích Fidia D 218, Deckel DMG a Deckel Maho.

6.3.1 Technický popis materiálu Necuron 651

Polymerní dřevo je deskový nebo blokový materiál s velmi jemnou strukturou, hladkým povrchem, vhodný k lakování a s velmi dobrou obrobitelností.

| | |
|---------------------------------|-----------------------------------|
| Barva: | Hnědá |
| Součinitel tepelné roztažnosti: | $52 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$ |
| Teplotní stálost: | 70°C |
| Tvrdost Shore D: | 68 |
| Pevnost v tlaku: | 26 N/mm ² |
| Pevnost v ohybu: | 30 N/mm ² |
| Hustota: | 0,7 g/cm ³ |

Použití: hlavní modely, kopírovací modely, modely pro měření objemu, pracovní modely.

Spojení: stříkáci tmely, nebo vhodné pryskyřice.

Nástroje na opracování: dřevoobráběcí nebo kovoobráběcí nástroje.

Obsahuje nehalové prvky, změkčovadla, rozpouštědla. Je vyráběn z volného fluorocarbodehydrátu. Je fyziologicky neškodný. Tento materiál neobsahuje žádné složky, které uvolňují škodlivý prach. Ovšem obsah prachu ve vzduchu nemá překročit 6 mg/m^3 .

Materiál je dodáván s definovaným profilem speciálně pro VFB a to s výškou 130 mm a rádiusem R 500 mm. Délka desky je 1200 mm a šířka 350 mm. Uvedený profil materiálu odpovídá z 99 % požadavkům na polotovary modelu, na atypické případy se používá deskový polotovar bez rádiusu R 500 mm.

6.3.2 Postup výroby modelu

Hrubování polotovaru na stroji FIDIA D 218 by bylo vzhledem ke konstrukci stroje a technickým parametrům stroje velmi neproduktivní. Obráběcí centrum není vhodné na hrubování s velkým odběrem třísky při velkém průměru nástroje a velkém posuvu. Proto je nutné polotovar vyhrubovat na jiném stroji. K hrubování základního tvaru dezénu a upínacích ploch je používán stroj Deckel DMG.

Dělení materiálu

Nejprve je materiál na pásové pily rozřezán z desek na přibližný tvar budoucího modelu podle šablon včetně přídatku na hrubování. Používaná šířka polotovarů modelů je v rozmezí 120 až 350 mm.

Frézování upínací plochy

Po upnutí připraveného polotovaru do upínacího přípravku umístěného na stroji Deckel DMG je frézována základní upínací plocha včetně kalibrických drážek na upnutí. Kalibrické drážky plní funkci zábran proti posunutí a pootočení modelu při frézování. Také umožňují identické upnutí při případné opravě a z důvodu svojí excentricity nemůže dojít ke špatnému upnutí modelu. Frézuje se v módu 3D sousledně i nesousledně za použití čelní válcové frézy s VBD $\varnothing 80 \text{ mm}$ – základní plocha a kalibrické drážky stopkovou válcovou frézou $\varnothing 10 \text{ mm}$.



Obrázek 20 Zadní plocha s kalibrickými drážkami

Hrubování základního tvaru modelu

Polotovár s ofrézovanou upínací plochou a kalibrickými drážkami je upnut do upínacího přípravku umístěného na upínacím stole frézky. Hrubuje se základní tvar, snižuje se polotovár na výšku 113 mm a rádius 250 až 400 mm dle největšího průměru modelu. Hrubovací přídavek je 3 mm. Tento rádius je ovlivněn rozměrem pláště. Frézuje se v módu 3D soustředně i nesoustředně za použití válcovou čelní frézou o \varnothing 50 mm.

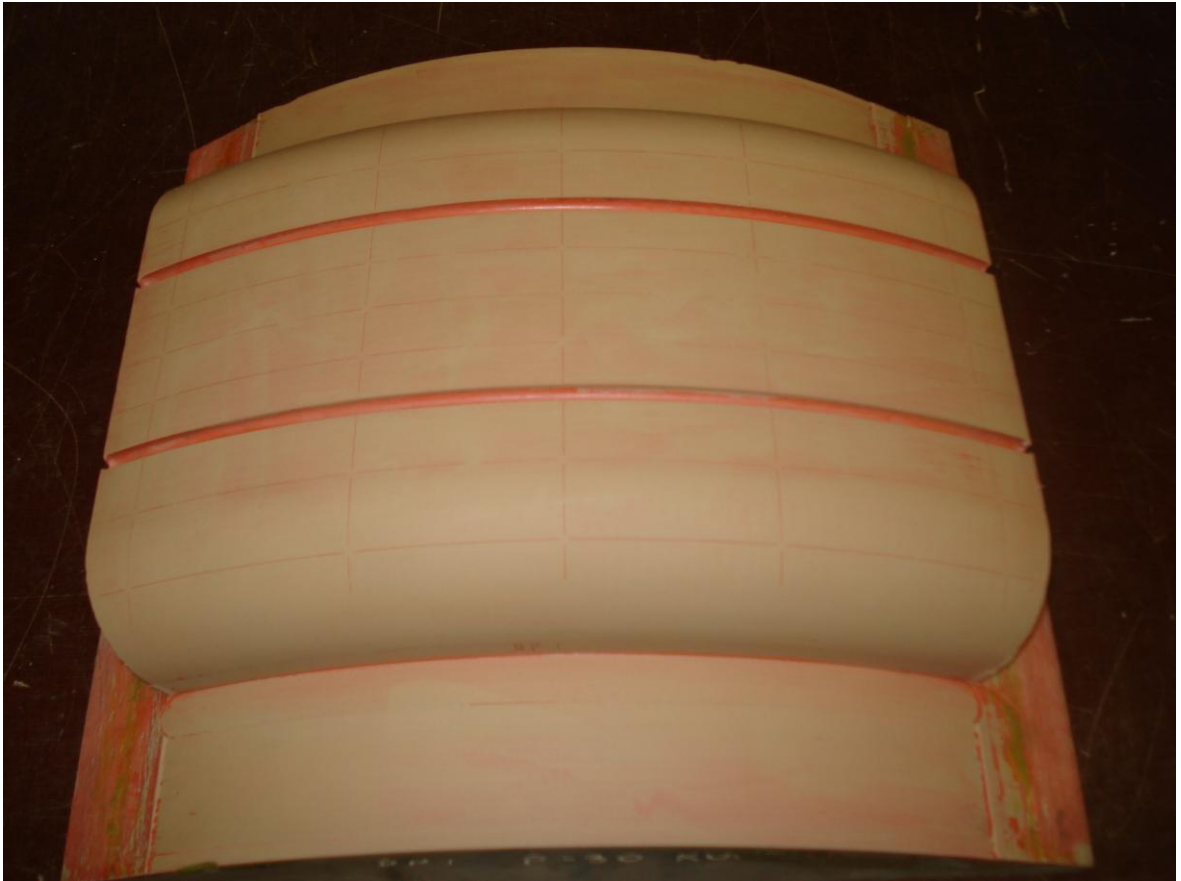


Obrázek 21 Vyhrubovaný model

Frézování modelu

Model se frézuje na vysokorychlostním CNC obráběcím centru Fidia D 218. Obráběcí centrum je řízeno v pěti osách, má koncepci pevného stolu. Pohyby v osách X, Y, Z, B, C jsou vykonávány vysokorychlostním vřetenem s upnutým nástrojem.

Frézuje se základní plocha modelu, tj. obvodový tvar definován rozměrem pláště (např. 165/70 R 13) a řezem tvaru profilu. Při frézování základní plochy na čisto se používá čelní fréza s rohovým rádiusem o \varnothing 16 mm. V základní ploše jsou dále frézovány drážky na lamely, obvodové a příčné drážky a různé značky na definující přesnou polohu měřících stop a protismykových hrotů. Pro zkušební model na měření přenosu tvaru na sádrové jádro nejsou vyfrézovány drážky na lamely a značky pro protismykové hroty. Je vyfrézována definovaná síť bodu pro následné měření jednobřitou frézou.



Obrázek 22 Hotový model

I když jsou výrobní možnosti CNC center obrovské, jsou i u těchto obrobků některé části dodělávány ručně. Jedná se zejména o ty části, u nichž je požadována vyšší odolnost vůči vnějším silám, které vznikají při formování. [2] Také se to týká takových částí vyfrézovaného modelu, které by bylo neefektivní, nebo nemožné vyfrézovat. Jedná se o ostré rohy, odstranění zbytků materiálu po frézování, opravy zafrézovaných míst a podobně. Tyto opravy provádí modelář ručně za použití speciálního náradí. V případě zkušebního segmentu není potřeba dokončení modelu od modeláře, je to navíc nežádoucí, mohlo by dojít ke zkreslení tvaru a rozměrů modelu a nepřesnostem při měření.

6.4 Odlévání flexibelu

6.4.1 Technický popis silikonových materiálů

Na porovnání schopností kopírování tvaru a přesnosti rozměrů byly vybrány následující materiály - viz tabulka č. 1. V tabulce jsou popsány nejdůležitější technologické vlastnosti. Byly vybrány dva polykondenzační a dva polyadiční silikony.

| Typ silikonu | polykondenzační | polykondenzační | polyadiční | polyadiční |
|--------------------------|----------------------------------|------------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|
| Výrobce | Wacker Silicones, Velké Británie | ACC Silicones Ltd., Velká Británie | Drawin Vertriebs GmbH, Německo | Siliconi Italia S.p.A., Itálie |
| Obchodní název | Elastosil M 4512 | MM 906 | Cenusil 810 | Rhodosil RTV 3512 |
| Poměr míchání | 95% silikonu + 5% katalyzátoru | 95% silikonu + 5% katalyzátoru | 96% silikonu + 4% katalyzátoru | 50% složky A + 50 % složky B |
| Viskozita směsi | 25000 mPa.s | 6000 mPa.s | 20000 mPa.s | 6000 mPa.S |
| Čas zpracování při 23° C | 20 až 40 minut | 90 minut | 40 minut | 30 až 45 minut |
| Čas vytvrzení při 23° C | 8 až 10 hodin | 7 hodin | 4 hodiny | 3 hodiny |
| Tvrdoost po 24 hodinách | 20° Shore A | 6° Shore A | 10° Shore A | 13° Shore A |
| Pevnost v tahu | 24 N/mm | 14 N/mm | 16 N/mm | 20 N/mm |
| Prodloužení | 500% | 688% | 300% | 800% |
| Smrštění | <0,4% | 0,5% | 0,6% | <0,1% |
| Barva | světle zelená | světle modrá | červená | oranžová |

Tabulka 1 Přehled vlastností testovaných silikonů

6.4.2 Postup výroby silikonové formy

Zaformování modelu

Po dokončení modelu je model předán na pracoviště odlévání flexibelu. Po výběru vhodného zadního dílu je dokončený model separuje separačním přípravkem. Separací přípravek nám slouží k lepšímu odformování modelu po odlití. Vyplní mikroskopické nerovnosti na modelu a vytvoří velice hladký povrch. Po separaci povrchu modelu je na model přiložen zadní díl a krycí plechy. Po sešroubování je sestava připravena na odlití.

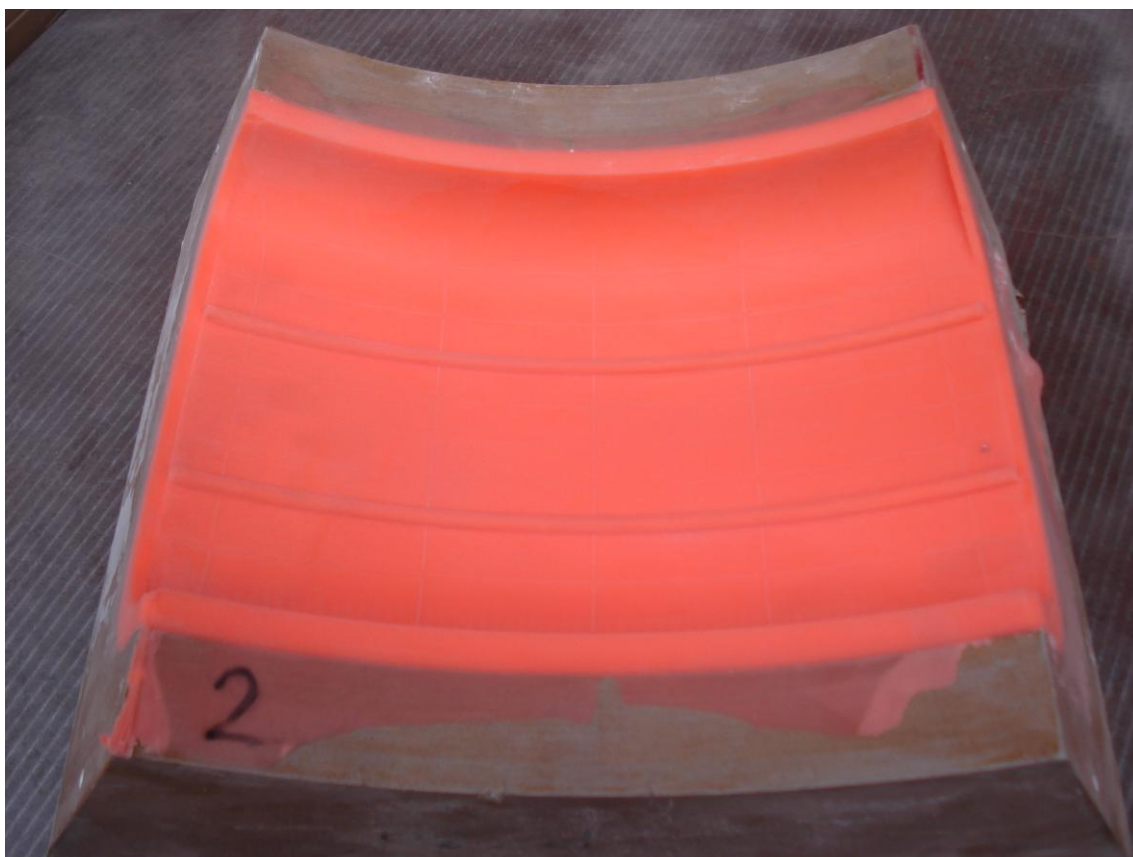
Odlévání silikonového kaučuku

Silikonové kaučuky na formování modelu jsou dvousložkové. Vulkanizují po smísení pasty s katalyzátorem v celé hmotě v průběhu několika hodin. Z toho důvodu je nutné dodržovat správný míscí poměr obou komponent tak, jak uvádí výrobce v technologickém listu. Pro kvalitnější zkopírovaný povrch modelu se míchání výsledné směsi provádí ve vakuu.

Před započítím odlévání je nutné zkontrolování kontrolního vzorku na správnost nastavení míšícího poměru. Po kontrole je možno započít plnění dutiny mezi zadním dílem přípravku na odlévání flexibelu a zaformovaným modelem. Toto se děje kontinuálně plnicí pistolí napojené přes hadice s míchacím zařízením. Po vyplnění dutiny flexibelem poklepem na zadní díl uvolníme případné bubliny vzniklé při plnění dutiny. Sestava se za konstantní teploty a vlhkosti dosažené klimatizací se zvlhčovací jednotkou ponechá vytvrdit předepsaný čas.

Po odformování je odlitý flexibel pevně uchycen na zadním díle. Sestava se vizuálně prohlédne a odstraní případné přetoky.

Sestava je předána na další operaci a to je odlévání sádrových jader.



Obrázek 23 Odlitý flexibel v zadním díle.

6.5 Odlévání sádrových jader

6.5.1 Technický popis sádry Thermomold

Sádra Thermomold je vysoce vhodná pro odlévání hliníkových slitin. Umožňuje výrobcům forem odlévat komplikované tvary, obsahuje malé množství organických částic, které způsobují nerizikové použití pro dané formy. Zacházení s výrobkem je jednoduché a vytváří formy s dobrým povrchem, rozměrovou přesností a nezpůsobuje u odlitků vady, které vyžadují následné opravy.

Typické použití:

- hliníkové odlitky pro modelování
- hliníkové odlitky v pneumatickém průmyslu
- hliníkové odlitky v obuvnickém průmyslu

Technická data:

| | |
|--|------------------------|
| Poměr sádra / voda: | 100/90 |
| doba rozpuštění: | 1 min |
| rychlost míchání: | 2000 až 2500 ot/min |
| mixovací čas: | 2 až 3 min |
| teplota vody při míchání: | 20 °C |
| doba zpracování: | 4 až 6 min |
| doba tvrdnutí: | 30 až 45 min |
| Maximální lineární smrštění po 2 hodinách: | < 0,08% |
| Minimální pevnost po 2 hodinách: | 1,06 MN/m ² |

Poměr sádry a vody je doporučen testy a není nutné jej použít v praxi. Změna poměru způsobí jiné hodnoty smrštění a pevnosti. Pro sušení může být použita konvekční sušárna s i bez proudění ohřátého vzduchu. Vynucené proudění urychlí sušení a zkrátí čas sušení. Před litím kovů do formy, sádra musí být suchá a bez vlhkosti, jinak zůstatková voda vytvoří páru a ta tvoří vady na povrchu odlitku. Je nutné zajistit, aby všechna volná a chemicky vázaná voda byla odstraněna. Teplota a čas sušení, závisí na sušícím zařízení a rozměru formy.

Změna barvy bílé sádry na hnědou během sušení, je normální, je způsobena zplynováním částic, proces není škodlivý a jedná se o obvyklý jev.

6.5.2 Postup výroby sádrového jádra

Míchání sádry

Sádra Termomold se smíchá s vodou pomocí ruční vrtačky. Kašovitá směs se nechá odpočinout. Po odpočinutí se směs sádry s vodou dokonale promísí pomocí míchacího stroje s využitím vakua.

Odlévání sádrového jádra

Do ustaveného a utěsněného licího přípravku se část směsi sádry a vody kašovité konzistence nanese nástřikem pistolí ve vrstvě 5 mm. Zbytek dávky se nalije do dutiny jaderníku. Sádra se nechá vytvrdit, po vytvrzení se přípravek odformuje a vyjme se sádrové jádro.



Obrázek 24 Odlité sádrové jádro

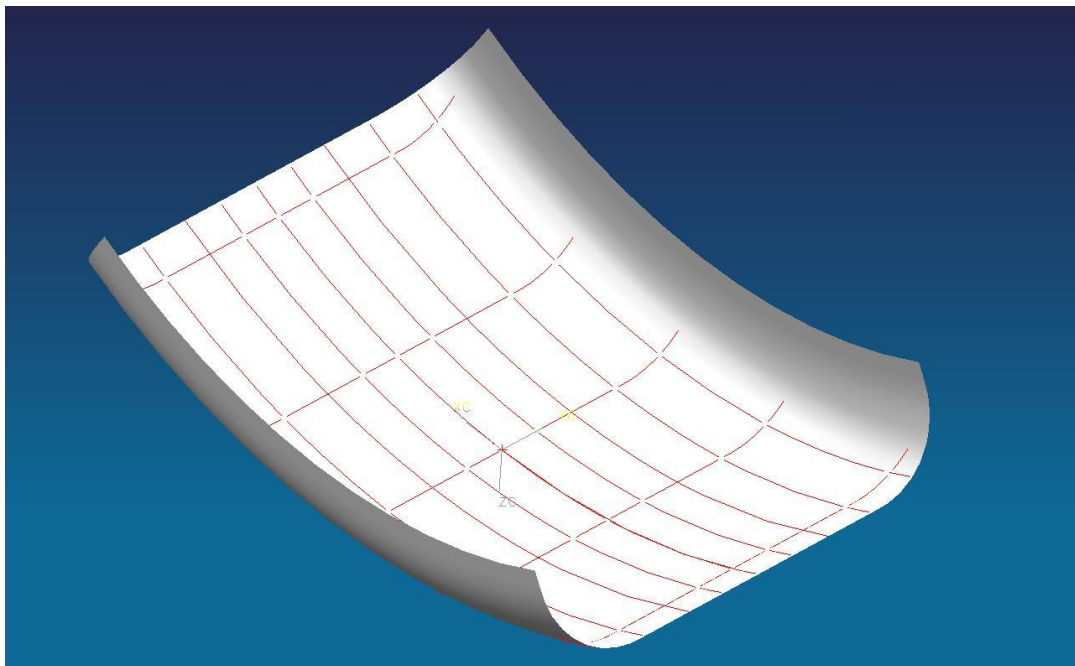
7 MĚŘENÍ MODELŮ, FLEXIBELU A SÁDROVÝCH JADER

7.1 Způsob měření

Měření je prováděl na multisenzorovém souřadnicovém měřicím stroji Werth Scope-Check. Pro zjištění hodnoty v ose Z byl používán optický senzor Autofokus Werth Zoom se zvětšením 42x. V tabulkách jsou naměřené hodnoty v ose Z k daným souřadnicím os X a Y. Měření jsem prováděl na jednu kalibraci stroje v klimatizované místnosti.

7.1.1 Specifikace měřeného tvaru

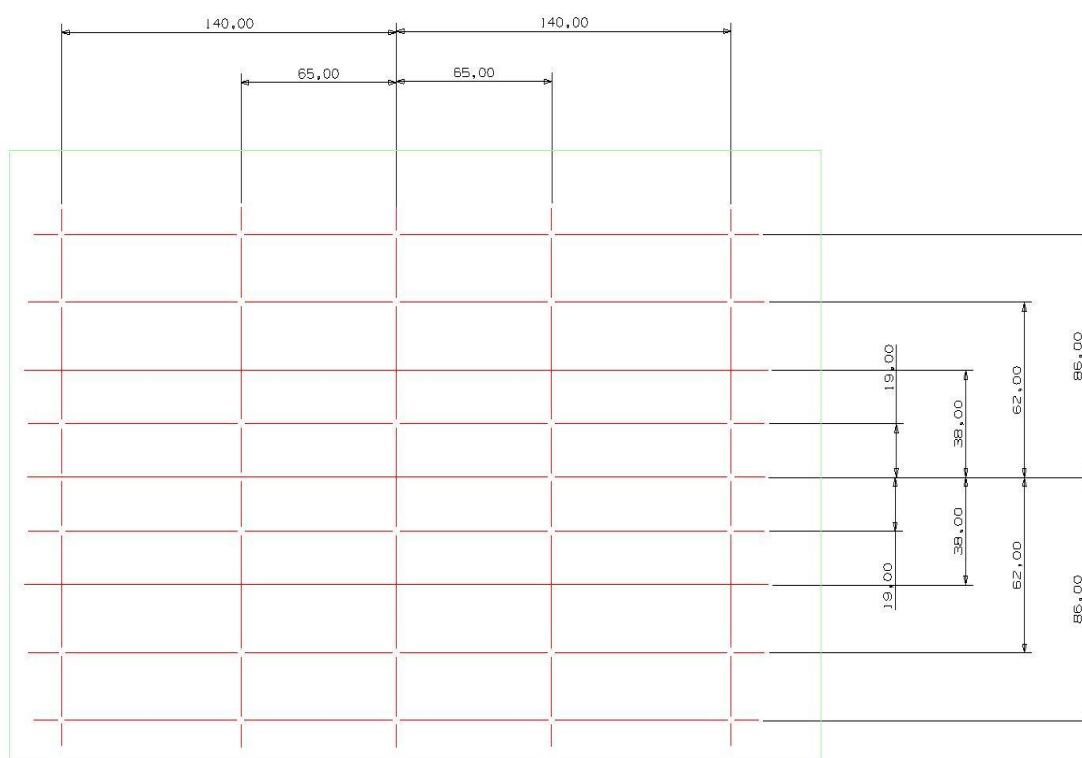
K měření byl vybrán zkušební segment, který má tvar válce. Zkušební segment byl vyfrézován bez přídavku na smrštění. Tvar válce byl záměrně vybrán z důvodu jednoduchého a pravidelného geometrického tvaru. Pro vyhodnocení byla vytvořena ve válcové části zkušební segmentu síť bodů (viz obrázek 25), kde jsou pevně stanoveny souřadnice v osách X a Y. Hodnota v ose Z je odměřena v programu UNIGRAPHICS na vytvořeném 3D CAD modelu vůči rovině XY procházející počátkem souřadného systému. Vzhledem k přesnosti výsledků a přesnosti měřicího stroje jsou výsledky měření ponechány na čtyři desetinná místa. Z důvodu nezkraslení výsledků byla v průřezu souřadnic ponechána ploška velikosti 2 mm.



Obrázek 25 Síť měřicích bodů na 3D modelu

7.1.2 Měřená síť bodů

Pro měření a následné vyhodnocení byla vytvořena ve válcové části zkušebního segmentu síť bodů s pevně stanovenými souřadnicemi v osách X a Y (obrázek 26). Tato síť bodů je shodná pro všechny měření u modelu, všech typů flexibelů a všech sádrových jader. Jednotlivé tabulky CAD modelu, frézovaného modelu, flexibelů a sádrových jader se liší od sebe pouze minusovým nebo plusovým znamínkem před hodnotou v ose z. Toto je dáno rozdílným tvarem jednotlivých výrobních komponent. Frézovaný model a sádrové jádro má tvar konkávní a flexibel tvar konvexní.



Obrázek 26 Měřená síť bodů

7.1.3 Multisenzorový souřadnicový měřicí stroj Werth

K měření přesnosti desénových segmentů se používá multisenzorový souřadnicový měřicí stroj Werth Scope-Check MB 3D CNC, který je výrobkem německého výrobce Werth Messtechnik GmbH. Tento stroj byl vyvinut pro hospodárné zajištění jakosti v dílenském

prostředí – především v nástrojárnách a lisovnách plastů. Mechanický design byl koncipován jako pevná mostová konstrukce, kde na pinole přístroje jsou umístěny měřicí senzory. Přesné vedení hlavních měřících os je založeno na systému separace osy X od osy Y a Z. Měřicí rozsah je 650x750x500mm. Ústředním senzorem multisenzorového souřadnicového 3D měřicího stroje Werth SCOPE-CHECK MB je optický senzor pro zpracování obrazu, jenž zahrnuje patentovanou optiku Werth Zoom s 25 krokým zoomem. Tento patent firmy Werth umožňuje nastavení zvětšení obrazu (zoom), tak i nastavení pracovní vzdálenosti optiky v rozsahu 20 až 220mm (oproti standardní optice, kde je pracovní vzdálenost konstantní), při zvětšení obrazu 0,5x až 5,0x. Optika přístroje je plně 3D, kdy Z-souřadnice prvku se získává metodou tzv. autofokusu. Přístroj „přeostří“ povrch dílu, získá histogram ostrosti obrazu, a nejvíce kontrastní obraz obraz vyhodnotí jako měřený bod. Pro správné nasvícení měřeného dílu se využívají dva typy horního osvětlení (červené světlo - osvit kruhy LED diod, kdy jsou kruhy osvětlení rozdělené na 4 kvadranty po 90°), a osvit průchozí skrze objektiv – bílé světlo. Každý druh osvětlení je určen pro jiné materiály, např. pro hliník se využívá červeného světla.

Dotekovým senzorem tohoto přístroje je také scannovací doteková sonda Renishaw SP25, která dokáže kontinuálně scannovat měřený díl. Sonda je disponována na motoricky indexovatelné sensorové hlavě Renishaw PH10 – 2M.

Senzor LLP (Laser Line Probe) – plošný liniový laser je kompaktní snímač, využívající princip triangulace. Je určený hlavně pro digitalizaci složitých obecných ploch, hlavně plastových dílů, kde není vyžadována vysoká přesnost měření (nejistota senzoru < 50 μ m). Rychlá digitalizace dílů je možná i na vysoce lesklém povrchu, či nízc kontrastním. Délka měřicího paprsku může být až 15 mm, při pracovní vzdálenosti 75 mm. Naměřené body lze porovnat vůči nominálním hodnotám 3D CAD modelu. [28]

K měření byl použit pouze optický senzor. Měření jsem prováděl sám na jednu kalibraci stroje. Pro zjištění hodnoty v ose Z bylo použito Autofokusu Werth Zoom se zvětšením 42x.

7.1.4 Měřené veličiny

V praktické části diplomové práce se budeme zabývat přenosem tvaru modelu na sádrové jádro. Pro vyhodnocení naměřených výsledků bude použito následujících statistických veličin a matematických vztahů pro jejich výpočet:

Aritmetický průměr \bar{x} - je hodnota, která vznikne součtem všech hodnot a je podělena jejich počtem. Je definován vztahem:

$$\bar{x} = \frac{1}{n} (x_1 + x_2 + \dots + x_n) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$$

Rovnice 2 Aritmetický průměr

Medián \hat{x} - je hodnota, jež dělí řadu podle velikosti seřazených výsledků na dvě stejně početné poloviny. Platí, že nejméně 50 % hodnot je menších nebo rovných a nejméně 50 % hodnot je větších nebo rovných mediánu. Je definován vztahem:

$$\int_{-\infty}^m f(x) dx = 0,5$$

Rovnice 3 Medián

Variační rozpětí R - vyjadřuje rozdíl mezi naměřenou maximální a minimální hodnotou. Je definováno vztahem:

$$R = x_{\max} - x_{\min}$$

Rovnice 4 Variační rozpětí

Standardní nejistoty typu A - U_A - jsou způsobovány náhodnými chybami, jejichž příčiny se považují všeobecně za neznámé. Stanovují se z opakovaných měření stejné hodnoty měřené veličiny za stejných podmínek. Je definována vztahem:

$$u_A \equiv s(\bar{y}) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}{n \cdot (n - 1)}}$$

Rovnice 5 Standardní nejistoty typu A - U_A

[29]

7.2 Měření modelu

CAD frézovaný model

| | -140 | -65 | 0 | 65 | 140 |
|-----|----------|---------|--------|---------|----------|
| 62 | -31,0130 | -6,4350 | 0,0000 | -6,4350 | -31,0130 |
| 19 | -31,0130 | -6,4350 | 0,0000 | -6,4350 | -31,0130 |
| 0 | -31,0130 | -6,4350 | 0,0000 | -6,4350 | -31,0130 |
| -19 | -31,0130 | -6,4350 | 0,0000 | -6,4350 | -31,0130 |
| -62 | -31,0130 | -6,4350 | 0,0000 | -6,4350 | -31,0130 |

naměřená hodnota v ose Z

| | -140 | -65 | 0 | 65 | 140 |
|-----|----------|---------|--------|---------|----------|
| 62 | -30,9260 | -6,3631 | 0,0285 | -6,3930 | -30,9187 |
| 19 | -30,9143 | -6,3739 | 0,0276 | -6,3856 | -30,9691 |
| 0 | -30,9112 | -6,3700 | 0,0000 | -6,4013 | -30,9249 |
| -19 | -30,9326 | -6,3845 | 0,0357 | -6,3989 | -30,9651 |
| -62 | -30,9313 | -6,3931 | 0,0306 | -6,3939 | -30,9210 |

odchylka k 3D modelu

| | -140 | -65 | 0 | 65 | 140 |
|-----|---------|---------|---------|---------|---------|
| 62 | -0,0870 | -0,0719 | -0,0285 | -0,0420 | -0,0943 |
| 19 | -0,0987 | -0,0611 | -0,0276 | -0,0494 | -0,0439 |
| 0 | -0,1018 | -0,0650 | 0,0000 | -0,0337 | -0,0881 |
| -19 | -0,0804 | -0,0505 | -0,0357 | -0,0361 | -0,0479 |
| -62 | -0,0817 | -0,0419 | -0,0306 | -0,0411 | -0,0920 |

Tabulka 2 Naměřená data modelu

7.3 Měření flexibelu

Pro všechny flexibely platí tabulka CAD flexibelu.

CAD flexibel

| | -140 | -65 | 0 | 65 | 140 |
|-----|---------|--------|--------|--------|---------|
| 62 | 31,0130 | 6,4350 | 0,0000 | 6,4350 | 31,0130 |
| 19 | 31,0130 | 6,4350 | 0,0000 | 6,4350 | 31,0130 |
| 0 | 31,0130 | 6,4350 | 0,0000 | 6,4350 | 31,0130 |
| -19 | 31,0130 | 6,4350 | 0,0000 | 6,4350 | 31,0130 |
| -62 | 31,0130 | 6,4350 | 0,0000 | 6,4350 | 31,0130 |

Tabulka 3 CAD flexibelu

Elastosil M 4512

naměřená hodnota v ose Z u flexibelu č. 1

| | -140 | -65 | 0 | 65 | 140 |
|-----|---------|--------|--------|--------|---------|
| 62 | 31,0532 | 6,4714 | 0,0539 | 6,5047 | 30,9947 |
| 19 | 31,0258 | 6,4659 | 0,0356 | 6,5214 | 30,9859 |
| 0 | 31,0623 | 6,4251 | 0,0000 | 6,4995 | 31,0176 |
| -19 | 31,0445 | 6,4334 | 0,0749 | 6,5054 | 31,0305 |
| -62 | 31,0570 | 6,4296 | 0,0635 | 6,5203 | 31,0211 |

průměrná hodnota v ose Z u flexibelu č. 1 a 2

| | -140 | -65 | 0 | 65 | 140 |
|-----|---------|--------|---------|--------|---------|
| 62 | 31,0029 | 6,4713 | 0,0040 | 6,4894 | 30,9592 |
| 19 | 31,0247 | 6,4641 | 0,0015 | 6,4730 | 30,9911 |
| 0 | 31,0496 | 6,4186 | -0,0107 | 6,4815 | 31,0211 |
| -19 | 31,0204 | 6,4486 | 0,0601 | 6,4944 | 31,0174 |
| -62 | 31,0409 | 6,4506 | 0,0634 | 6,5028 | 31,0262 |

naměřená hodnota v ose Z u flexibelu č. 2

| | -140 | -65 | 0 | 65 | 140 |
|-----|---------|--------|---------|--------|---------|
| 62 | 30,9526 | 6,4711 | -0,0459 | 6,4741 | 30,9236 |
| 19 | 31,0236 | 6,4623 | -0,0326 | 6,4245 | 30,9963 |
| 0 | 31,0369 | 6,4120 | -0,0214 | 6,4635 | 31,0245 |
| -19 | 30,9963 | 6,4637 | 0,0452 | 6,4833 | 31,0042 |
| -62 | 31,0247 | 6,4715 | 0,0632 | 6,4852 | 31,0312 |

průměrná odchylka hodnot v ose Z u flexibelů č. 1 a 2

| | -140 | -65 | 0 | 65 | 140 |
|-----|---------|---------|--------|--------|---------|
| 62 | -0,0101 | 0,0362 | 0,0040 | 0,0544 | -0,0539 |
| 19 | 0,0117 | 0,0291 | 0,0015 | 0,0380 | -0,0219 |
| 0 | 0,0366 | -0,0164 | 0,0107 | 0,0465 | 0,0081 |
| -19 | 0,0074 | 0,0136 | 0,0601 | 0,0594 | 0,0043 |
| -62 | 0,0278 | 0,0156 | 0,0634 | 0,0678 | 0,0131 |

Tabulka 4 Naměřená data flexibelu Elastosil M 4512

MM 906

naměřená hodnota v ose Z u flexibelu č. 1

| | -140 | -65 | 0 | 65 | 140 |
|-----|---------|--------|---------|--------|---------|
| 62 | 31,0611 | 6,4482 | -0,0969 | 6,4851 | 31,0424 |
| 19 | 31,0962 | 6,3698 | 0,0195 | 6,5199 | 31,0751 |
| 0 | 31,0268 | 6,3952 | 0,0000 | 6,4879 | 31,0535 |
| -19 | 31,0037 | 6,4290 | 0,0313 | 6,4757 | 31,1246 |
| -62 | 31,0166 | 6,3602 | -0,1385 | 6,4552 | 31,1219 |

průměrná hodnota v ose Z u flexibelu č. 1 a 2

| | -140 | -65 | 0 | 65 | 140 |
|-----|---------|--------|---------|--------|---------|
| 62 | 31,0462 | 6,4654 | -0,0948 | 6,4792 | 31,0757 |
| 19 | 31,0548 | 6,4081 | 0,0217 | 6,5041 | 31,0913 |
| 0 | 30,9862 | 6,4213 | 0,0000 | 6,4795 | 31,0845 |
| -19 | 31,0396 | 6,4355 | 0,0206 | 6,4634 | 31,1120 |
| -62 | 31,0698 | 6,3847 | -0,1390 | 6,4532 | 31,0848 |

naměřená hodnota v ose Z u flexibelu č. 2

| | -140 | -65 | 0 | 65 | 140 |
|-----|---------|--------|---------|--------|---------|
| 62 | 31,0313 | 6,4825 | -0,0927 | 6,4733 | 31,1090 |
| 19 | 31,0133 | 6,4464 | 0,0238 | 6,4882 | 31,1075 |
| 0 | 30,9455 | 6,4473 | 0,0000 | 6,4710 | 31,1155 |
| -19 | 31,0755 | 6,4420 | 0,0099 | 6,4510 | 31,0993 |
| -62 | 31,1230 | 6,4091 | -0,1395 | 6,4511 | 31,0477 |

průměrná odchylka hodnot v ose Z u flexibelů č. 1 a 2

| | -140 | -65 | 0 | 65 | 140 |
|-----|---------|---------|--------|--------|--------|
| 62 | 0,0332 | 0,0304 | 0,0948 | 0,0442 | 0,0627 |
| 19 | 0,0417 | -0,0269 | 0,0217 | 0,0690 | 0,0783 |
| 0 | -0,0268 | -0,0137 | 0,0000 | 0,0445 | 0,0715 |
| -19 | 0,0266 | 0,0005 | 0,0206 | 0,0284 | 0,0989 |
| -62 | 0,0568 | -0,0503 | 0,1390 | 0,0182 | 0,0718 |

Tabulka 5 Naměřená data flexibelu MM 906

Cenusil 810

naměřená hodnota v ose Z u flexibelu č. 1

| | -140 | -65 | 0 | 65 | 140 |
|-----|---------|--------|---------|--------|---------|
| 62 | 31,0308 | 6,4617 | -0,0101 | 6,4495 | 30,9918 |
| 19 | 30,9977 | 6,4602 | 0,0102 | 6,4557 | 30,9865 |
| 0 | 31,0492 | 6,4625 | 0,0000 | 6,4701 | 30,9810 |
| -19 | 31,0313 | 6,4496 | 0,0136 | 6,4690 | 31,0168 |
| -62 | 30,9813 | 6,4650 | 0,0130 | 6,4846 | 31,0231 |

průměrná hodnota v ose Z u flexibelu č. 1 a 2

| | -140 | -65 | 0 | 65 | 140 |
|-----|---------|--------|---------|--------|---------|
| 62 | 31,0275 | 6,4687 | 0,0116 | 6,4522 | 31,0247 |
| 19 | 30,9913 | 6,4450 | 0,0038 | 6,4458 | 31,0111 |
| 0 | 31,0127 | 6,4479 | 0,0000 | 6,4543 | 30,9796 |
| -19 | 31,0526 | 6,4526 | -0,0061 | 6,4428 | 31,0088 |
| -62 | 31,0021 | 6,4555 | 0,0058 | 6,4597 | 31,0186 |

naměřená hodnota v ose Z u flexibelu č. 2

| | -140 | -65 | 0 | 65 | 140 |
|-----|---------|--------|---------|--------|---------|
| 62 | 31,0241 | 6,4756 | 0,0332 | 6,4549 | 31,0575 |
| 19 | 30,9849 | 6,4298 | -0,0027 | 6,4359 | 31,0357 |
| 0 | 30,9761 | 6,4333 | 0,0000 | 6,4385 | 30,9782 |
| -19 | 31,0738 | 6,4555 | -0,0258 | 6,4165 | 31,0008 |
| -62 | 31,0228 | 6,4460 | -0,0014 | 6,4347 | 31,0140 |

průměrná odchylka hodnot v ose Z u flexibelů č. 1 a 2

| | -140 | -65 | 0 | 65 | 140 |
|-----|---------|--------|--------|--------|---------|
| 62 | 0,0145 | 0,0337 | 0,0116 | 0,0172 | 0,0116 |
| 19 | -0,0217 | 0,0100 | 0,0038 | 0,0108 | -0,0019 |
| 0 | -0,0004 | 0,0129 | 0,0000 | 0,0193 | -0,0334 |
| -19 | 0,0395 | 0,0176 | 0,0061 | 0,0078 | -0,0042 |
| -62 | -0,0110 | 0,0205 | 0,0058 | 0,0247 | 0,0055 |

Tabulka 6 Naměřená data flexibelu Cenusil 810

Rhodosil RTV 3512

naměřená hodnota v ose Z u flexibelu č. 1

| | -140 | -65 | 0 | 65 | 140 |
|-----|---------|--------|--------|--------|---------|
| 62 | 31,1287 | 6,5634 | 0,0714 | 6,4916 | 30,9854 |
| 19 | 31,2580 | 6,5985 | 0,0484 | 6,5138 | 31,0037 |
| 0 | 31,1922 | 6,5429 | 0,0416 | 6,4743 | 31,0269 |
| -19 | 31,0673 | 6,5714 | 0,0931 | 6,5289 | 31,0483 |
| -62 | 30,9846 | 6,6296 | 0,0776 | 6,5195 | 31,0421 |

průměrná hodnota v ose Z u flexibelu č. 1 a 2

| | -140 | -65 | 0 | 65 | 140 |
|-----|---------|--------|--------|--------|---------|
| 62 | 31,0361 | 6,5152 | 0,0073 | 6,4779 | 30,9466 |
| 19 | 31,1378 | 6,5466 | 0,0094 | 6,4702 | 30,9867 |
| 0 | 31,1358 | 6,5252 | 0,0040 | 6,4812 | 31,0387 |
| -19 | 31,0095 | 6,5526 | 0,0716 | 6,5198 | 31,0652 |
| -62 | 31,0081 | 6,6046 | 0,0749 | 6,5346 | 31,0314 |

naměřená hodnota v ose Z u flexibelu č. 2

| | -140 | -65 | 0 | 65 | 140 |
|-----|---------|--------|---------|--------|---------|
| 62 | 30,9435 | 6,4669 | -0,0569 | 6,4642 | 30,9077 |
| 19 | 31,0176 | 6,4947 | -0,0297 | 6,4266 | 30,9697 |
| 0 | 31,0793 | 6,5074 | -0,0337 | 6,4881 | 31,0505 |
| -19 | 30,9516 | 6,5337 | 0,0500 | 6,5107 | 31,0820 |
| -62 | 31,0315 | 6,5795 | 0,0721 | 6,5497 | 31,0207 |

průměrná odchylka hodnot v ose Z u flexibelů č. 1 a 2

| | -140 | -65 | 0 | 65 | 140 |
|-----|---------|--------|--------|--------|---------|
| 62 | 0,0231 | 0,0802 | 0,0073 | 0,0429 | -0,0665 |
| 19 | 0,1248 | 0,1116 | 0,0094 | 0,0352 | -0,0263 |
| 0 | 0,1228 | 0,0902 | 0,0040 | 0,0462 | 0,0257 |
| -19 | -0,0036 | 0,1176 | 0,0716 | 0,0848 | 0,0522 |
| -62 | -0,0050 | 0,1696 | 0,0749 | 0,0996 | 0,0184 |

Tabulka 7 Naměřená data flexibelu Rhodosil RTV 3512

7.4 Měření sádrových jader

Pro všechny sádrové jádra platí tabulka CAD sádrové jádro.

CAD sádrové jádro

| | -140 | -65 | 0 | 65 | 140 |
|-----|----------|---------|--------|---------|----------|
| 62 | -31,0130 | -6,4350 | 0,0000 | -6,4350 | -31,0130 |
| 19 | -31,0130 | -6,4350 | 0,0000 | -6,4350 | -31,0130 |
| 0 | -31,0130 | -6,4350 | 0,0000 | -6,4350 | -31,0130 |
| -19 | -31,0130 | -6,4350 | 0,0000 | -6,4350 | -31,0130 |
| -62 | -31,0130 | -6,4350 | 0,0000 | -6,4350 | -31,0130 |

Tabulka 8 CAD sádrové jádro

Elastosil M 4512

naměřená hodnota v ose Z u sádrového jádra č. 1 z flexibelu č. 1

| | -140 | -65 | 0 | 65 | 140 |
|-----|----------|---------|--------|---------|----------|
| 62 | -30,9979 | -6,4305 | 0,0860 | -6,4310 | -31,0490 |
| 19 | -31,0437 | -6,3956 | 0,0687 | -6,3882 | -31,1004 |
| 0 | -31,0262 | -6,3916 | 0,0000 | -6,3951 | -31,0316 |
| -19 | -31,0149 | -6,3873 | 0,0924 | -6,3599 | -30,9739 |
| -62 | -31,0331 | -6,3610 | 0,1058 | -6,3792 | -31,0022 |

naměřená hodnota v ose Z u sádrového jádra č. 4 z flexibelu č. 2

| | -140 | -65 | 0 | 65 | 140 |
|-----|----------|---------|--------|---------|----------|
| 62 | -31,0363 | -6,4328 | 0,0714 | -6,4182 | -31,0318 |
| 19 | -31,0549 | -6,4015 | 0,0783 | -6,3839 | -31,0533 |
| 0 | -31,0113 | -6,3996 | 0,0000 | -6,4137 | -31,0512 |
| -19 | -31,0192 | -6,3875 | 0,0949 | -6,3718 | -30,9846 |
| -62 | -31,0462 | -6,3657 | 0,0868 | -6,4011 | -31,0214 |

naměřená hodnota v ose Z u sádrového jádra č. 2 z flexibelu č. 1

| | -140 | -65 | 0 | 65 | 140 |
|-----|----------|---------|--------|---------|----------|
| 62 | -30,9785 | -6,4125 | 0,0658 | -6,4221 | -31,0311 |
| 19 | -31,0229 | -6,4125 | 0,0771 | -6,4018 | -31,0745 |
| 0 | -30,9956 | -6,4215 | 0,0000 | -6,4017 | -31,0453 |
| -19 | -31,0325 | -6,4158 | 0,0689 | -6,3726 | -31,0563 |
| -62 | -31,0311 | -6,3966 | 0,0823 | -6,3909 | -31,0214 |

naměřená hodnota v ose Z u sádrového jádra č. 5 z flexibelu č. 2

| | -140 | -65 | 0 | 65 | 140 |
|-----|----------|---------|--------|---------|----------|
| 62 | -31,0408 | -6,4263 | 0,0635 | -6,4362 | -31,0441 |
| 19 | -31,0300 | -6,4325 | 0,0523 | -6,4053 | -31,0463 |
| 0 | -31,0451 | -6,4152 | 0,0000 | -6,4008 | -31,0478 |
| -19 | -31,0325 | -6,4086 | 0,0781 | -6,3568 | -31,0410 |
| -62 | -31,0269 | -6,3996 | 0,0606 | -6,3746 | -31,0362 |

naměřená hodnota v ose Z u sádrového jádra č. 3 z flexibelu č. 1

| | -140 | -65 | 0 | 65 | 140 |
|-----|----------|---------|--------|---------|----------|
| 62 | -30,9785 | -6,4504 | 0,0636 | -6,4288 | -31,0303 |
| 19 | -31,0236 | -6,4152 | 0,0582 | -6,4052 | -31,0702 |
| 0 | -31,0055 | -6,4241 | 0,0000 | -6,3936 | -31,0526 |
| -19 | -31,0326 | -6,3988 | 0,0715 | -6,3758 | -31,0238 |
| -62 | -31,0020 | -6,3714 | 0,0840 | -6,3999 | -31,0421 |

naměřená hodnota v ose Z u sádrového jádra č. 6 z flexibelu č. 2

| | -140 | -65 | 0 | 65 | 140 |
|-----|----------|---------|--------|---------|----------|
| 62 | -31,0426 | -6,4552 | 0,0512 | -6,4526 | -31,0452 |
| 19 | -31,0477 | -6,4378 | 0,0639 | -6,4042 | -31,0367 |
| 0 | -31,0205 | -6,4243 | 0,0000 | -6,4326 | -31,0452 |
| -19 | -31,0366 | -6,4058 | 0,0754 | -6,3995 | -31,0378 |
| -62 | -31,0254 | -6,3993 | 0,0741 | -6,4027 | -31,0477 |

průměrná odchylka hodnot v ose Z u sádrových jader č. 1 až 6

| | -140 | -65 | 0 | 65 | 140 |
|-----|---------|---------|--------|---------|--------|
| 62 | -0,0006 | -0,0004 | 0,0669 | -0,0035 | 0,0256 |
| 19 | 0,0241 | -0,0191 | 0,0664 | -0,0369 | 0,0506 |
| 0 | 0,0044 | -0,0223 | 0,0000 | -0,0287 | 0,0326 |
| -19 | 0,0150 | -0,0344 | 0,0802 | -0,0623 | 0,0066 |
| -62 | 0,0144 | -0,0527 | 0,0823 | -0,0436 | 0,0155 |

průměrná hodnota v ose Z u sádrových jader č. 1 až 6 z flexibelu č. 1 a 2

| | -140 | -65 | 0 | 65 | 140 |
|-----|----------|---------|--------|---------|----------|
| 62 | -31,0124 | -6,4346 | 0,0669 | -6,4315 | -31,0386 |
| 19 | -31,0371 | -6,4159 | 0,0664 | -6,3981 | -31,0636 |
| 0 | -31,0174 | -6,4127 | 0,0000 | -6,4063 | -31,0456 |
| -19 | -31,0280 | -6,4006 | 0,0802 | -6,3727 | -31,0196 |
| -62 | -31,0274 | -6,3823 | 0,0823 | -6,3914 | -31,0285 |

Tabulka 9 Naměřená data sádrových jader z flexibelu Elastosil M 4512

MM 906

naměřená hodnota v ose Z u sádrového jádra č. 1 z flexibelu č. 1

| | -140 | -65 | 0 | 65 | 140 |
|-----|----------|---------|--------|---------|----------|
| 62 | -30,9836 | -6,4087 | 0,0698 | -6,4424 | -31,0175 |
| 19 | -31,0284 | -6,4157 | 0,0499 | -6,3975 | -31,0788 |
| 0 | -31,0097 | -6,4060 | 0,0000 | -6,3845 | -31,0421 |
| -19 | -31,0326 | -6,3962 | 0,0836 | -6,3728 | -31,0077 |
| -62 | -31,0413 | -6,3767 | 0,0830 | -6,3863 | -31,0111 |

naměřená hodnota v ose Z u sádrového jádra č. 4 z flexibelu č. 2

| | -140 | -65 | 0 | 65 | 140 |
|-----|----------|---------|--------|---------|----------|
| 62 | -31,0095 | -6,4221 | 0,0667 | -6,4374 | -31,0316 |
| 19 | -31,0379 | -6,4240 | 0,0569 | -6,4119 | -31,0671 |
| 0 | -31,0317 | -6,4151 | 0,0000 | -6,4083 | -31,0530 |
| -19 | -31,0341 | -6,4159 | 0,0774 | -6,3934 | -31,0305 |
| -62 | -31,0444 | -6,3897 | 0,0758 | -6,4058 | -31,0268 |

naměřená hodnota v ose Z u sádrového jádra č. 2 z flexibelu č. 1

| | -140 | -65 | 0 | 65 | 140 |
|-----|----------|---------|--------|---------|----------|
| 62 | -31,0354 | -6,4354 | 0,0637 | -6,4324 | -31,0457 |
| 19 | -31,0475 | -6,4324 | 0,0638 | -6,4263 | -31,0554 |
| 0 | -31,0537 | -6,4241 | 0,0000 | -6,4321 | -31,0638 |
| -19 | -31,0356 | -6,4356 | 0,0712 | -6,4141 | -31,0532 |
| -62 | -31,0476 | -6,4027 | 0,0685 | -6,4253 | -31,0425 |

naměřená hodnota v ose Z u sádrového jádra č. 5 z flexibelu č. 2

| | -140 | -65 | 0 | 65 | 140 |
|-----|----------|---------|--------|---------|----------|
| 62 | -31,0184 | -6,4256 | 0,0683 | -6,4310 | -31,0317 |
| 19 | -31,0436 | -6,4165 | 0,0640 | -6,4026 | -31,0625 |
| 0 | -31,0249 | -6,4099 | 0,0000 | -6,4101 | -31,0524 |
| -19 | -31,0291 | -6,4064 | 0,0832 | -6,3862 | -31,0152 |
| -62 | -31,0450 | -6,3817 | 0,0794 | -6,4042 | -31,0250 |

naměřená hodnota v ose Z u sádrového jádra č. 3 z flexibelu č. 1

| | -140 | -65 | 0 | 65 | 140 |
|-----|----------|---------|--------|---------|----------|
| 62 | -31,0199 | -6,4373 | 0,0678 | -6,4367 | -31,0369 |
| 19 | -31,0365 | -6,4277 | 0,0574 | -6,4171 | -31,0595 |
| 0 | -31,0314 | -6,4183 | 0,0000 | -6,4189 | -31,0564 |
| -19 | -31,0303 | -6,4122 | 0,0763 | -6,4022 | -31,0380 |
| -62 | -31,0488 | -6,4026 | 0,0714 | -6,4117 | -31,0338 |

naměřená hodnota v ose Z u sádrového jádra č. 6 z flexibelu č. 2

| | -140 | -65 | 0 | 65 | 140 |
|-----|----------|---------|--------|---------|----------|
| 62 | -31,0230 | -6,4532 | 0,0453 | -6,4627 | -31,0125 |
| 19 | -31,0050 | -6,4385 | 0,0523 | -6,4333 | -31,0657 |
| 0 | -31,0156 | -6,4455 | 0,0000 | -6,4281 | -31,0323 |
| -19 | -31,0344 | -6,4362 | 0,0526 | -6,4140 | -31,0478 |
| -62 | -31,0681 | -6,4213 | 0,0527 | -6,4239 | -31,0478 |

průměrná odchylka hodnot v ose Z u sádrových jader č. 1 až 6

| | -140 | -65 | 0 | 65 | 140 |
|-----|--------|---------|--------|---------|--------|
| 62 | 0,0020 | -0,0046 | 0,0636 | 0,0054 | 0,0163 |
| 19 | 0,0201 | -0,0092 | 0,0574 | -0,0202 | 0,0518 |
| 0 | 0,0148 | -0,0152 | 0,0000 | -0,0213 | 0,0370 |
| -19 | 0,0197 | -0,0179 | 0,0740 | -0,0379 | 0,0191 |
| -62 | 0,0362 | -0,0392 | 0,0718 | -0,0255 | 0,0182 |

průměrná hodnota v ose Z u sádrových jader č. 1 až 6 z flexibelu č. 1 a 2

| | -140 | -65 | 0 | 65 | 140 |
|-----|----------|---------|--------|---------|----------|
| 62 | -31,0150 | -6,4304 | 0,0636 | -6,4404 | -31,0293 |
| 19 | -31,0331 | -6,4258 | 0,0574 | -6,4148 | -31,0648 |
| 0 | -31,0278 | -6,4198 | 0,0000 | -6,4137 | -31,0500 |
| -19 | -31,0327 | -6,4171 | 0,0740 | -6,3971 | -31,0321 |
| -62 | -31,0492 | -6,3958 | 0,0718 | -6,4095 | -31,0312 |

Tabulka 10 Naměřená data sádrových jader z flexibelu MM 906

Cenusil 810

naměřená hodnota v ose Z u sádrového jádra č. 1 z flexibelu č. 1

| | -140 | -65 | 0 | 65 | 140 |
|-----|----------|---------|---------|---------|----------|
| 62 | -30,9731 | -6,4789 | -0,0356 | -6,4821 | -31,0230 |
| 19 | -31,0103 | -6,4515 | -0,0259 | -6,4548 | -31,0245 |
| 0 | -30,9920 | -6,4703 | 0,0000 | -6,4820 | -30,9896 |
| -19 | -31,0069 | -6,4936 | 0,0011 | -6,4925 | -31,0196 |
| -62 | -30,9844 | -6,4511 | 0,0246 | -6,4757 | -30,9779 |

naměřená hodnota v ose Z u sádrového jádra č. 4 z flexibelu č. 2

| | -140 | -65 | 0 | 65 | 140 |
|-----|----------|---------|--------|---------|----------|
| 62 | -30,9735 | -6,4515 | 0,0303 | -6,4617 | -31,0415 |
| 19 | -31,0237 | -6,4185 | 0,0186 | -6,4211 | -31,0758 |
| 0 | -31,0113 | -6,4269 | 0,0000 | -6,4314 | -31,0063 |
| -19 | -31,0082 | -6,4356 | 0,0414 | -6,4213 | -30,9903 |
| -62 | -31,0081 | -6,4012 | 0,0700 | -6,4209 | -30,9832 |

naměřená hodnota v ose Z u sádrového jádra č. 2 z flexibelu č. 1

| | -140 | -65 | 0 | 65 | 140 |
|-----|----------|---------|--------|---------|----------|
| 62 | -30,9687 | -6,4463 | 0,0330 | -6,4655 | -31,0438 |
| 19 | -31,0227 | -6,4112 | 0,0179 | -6,4182 | -31,0789 |
| 0 | -31,0084 | -6,4228 | 0,0000 | -6,4263 | -31,0075 |
| -19 | -31,0051 | -6,4261 | 0,0420 | -6,4173 | -30,9828 |
| -62 | -31,0133 | -6,3937 | 0,0700 | -6,4187 | -30,9791 |

naměřená hodnota v ose Z u sádrového jádra č. 5 z flexibelu č. 2

| | -140 | -65 | 0 | 65 | 140 |
|-----|----------|---------|--------|---------|----------|
| 62 | -30,9759 | -6,4685 | 0,0361 | -6,4639 | -31,0556 |
| 19 | -31,0242 | -6,4452 | 0,0412 | -6,4457 | -31,0453 |
| 0 | -31,0128 | -6,4432 | 0,0000 | -6,4634 | -31,0272 |
| -19 | -31,0098 | -6,4585 | 0,0362 | -6,4523 | -31,0568 |
| -62 | -31,0055 | -6,4175 | 0,0572 | -6,4475 | -31,0098 |

naměřená hodnota v ose Z u sádrového jádra č. 3 z flexibelu č. 1

| | -140 | -65 | 0 | 65 | 140 |
|-----|----------|---------|--------|---------|----------|
| 62 | -30,9783 | -6,4568 | 0,0275 | -6,4578 | -31,0392 |
| 19 | -31,0247 | -6,4257 | 0,0194 | -6,4241 | -31,0726 |
| 0 | -31,0143 | -6,4310 | 0,0000 | -6,4365 | -31,0051 |
| -19 | -31,0114 | -6,4452 | 0,0408 | -6,4252 | -30,9978 |
| -62 | -31,0028 | -6,4087 | 0,0700 | -6,4231 | -30,9873 |

naměřená hodnota v ose Z u sádrového jádra č. 6 z flexibelu č. 2

| | -140 | -65 | 0 | 65 | 140 |
|-----|----------|---------|--------|---------|----------|
| 62 | -30,9966 | -6,4606 | 0,0083 | -6,4685 | -31,0353 |
| 19 | -31,0305 | -6,4295 | 0,0038 | -6,4324 | -31,0587 |
| 0 | -31,0247 | -6,4414 | 0,0000 | -6,4483 | -31,0007 |
| -19 | -31,0367 | -6,4549 | 0,0280 | -6,4450 | -31,0001 |
| -62 | -31,0285 | -6,4178 | 0,0548 | -6,4392 | -30,9814 |

průměrná odchylka hodnot v ose Z u sádrových jader č. 1 až 6

| | -140 | -65 | 0 | 65 | 140 |
|-----|---------|---------|--------|---------|---------|
| 62 | -0,0353 | 0,0254 | 0,0166 | 0,0316 | 0,0267 |
| 19 | 0,0097 | -0,0047 | 0,0125 | -0,0023 | 0,0463 |
| 0 | -0,0024 | 0,0043 | 0,0000 | 0,0130 | -0,0069 |
| -19 | 0,0000 | 0,0173 | 0,0316 | 0,0073 | -0,0051 |
| -62 | -0,0059 | -0,0200 | 0,0577 | 0,0025 | -0,0265 |

průměrná hodnota v ose Z u sádrových jader č. 1 až 6 z flexibelu č. 1 a 2

| | -140 | -65 | 0 | 65 | 140 |
|-----|----------|---------|--------|---------|----------|
| 62 | -30,9777 | -6,4604 | 0,0166 | -6,4666 | -31,0397 |
| 19 | -31,0227 | -6,4303 | 0,0125 | -6,4327 | -31,0593 |
| 0 | -31,0106 | -6,4393 | 0,0000 | -6,4480 | -31,0061 |
| -19 | -31,0130 | -6,4523 | 0,0316 | -6,4423 | -31,0079 |
| -62 | -31,0071 | -6,4150 | 0,0577 | -6,4375 | -30,9865 |

Tabulka 11 Naměřená data sádrových jader z flexibelu Cenusil 810

Rhodosil RTV 3512

naměřená hodnota v ose Z u sádového jádra č. 1 z flexibelu č. 1

| | -140 | -65 | 0 | 65 | 140 |
|-----|----------|---------|--------|---------|----------|
| 62 | -30,9979 | -6,4305 | 0,0860 | -6,4310 | -31,0490 |
| 19 | -31,0437 | -6,3956 | 0,0687 | -6,3882 | -31,1004 |
| 0 | -31,0262 | -6,3916 | 0,0000 | -6,3951 | -31,0316 |
| -19 | -31,0149 | -6,3873 | 0,0924 | -6,3599 | -30,9739 |
| -62 | -31,0331 | -6,3610 | 0,1058 | -6,3792 | -31,0022 |

naměřená hodnota v ose Z u sádového jádra č. 4 z flexibelu č. 2

| | -140 | -65 | 0 | 65 | 140 |
|-----|----------|---------|--------|---------|----------|
| 62 | -31,0363 | -6,4328 | 0,0714 | -6,4182 | -31,0318 |
| 19 | -31,0549 | -6,4015 | 0,0783 | -6,3839 | -31,0533 |
| 0 | -31,0113 | -6,3996 | 0,0000 | -6,4137 | -31,0512 |
| -19 | -31,0192 | -6,3875 | 0,0949 | -6,3718 | -30,9846 |
| -62 | -31,0462 | -6,3657 | 0,0868 | -6,4011 | -31,0214 |

naměřená hodnota v ose Z u sádového jádra č. 2 z flexibelu č. 1

| | -140 | -65 | 0 | 65 | 140 |
|-----|----------|---------|--------|---------|----------|
| 62 | -30,9789 | -6,4010 | 0,0639 | -6,4504 | -31,0118 |
| 19 | -31,0258 | -6,4211 | 0,0442 | -6,3993 | -31,0763 |
| 0 | -31,0051 | -6,4145 | 0,0000 | -6,3835 | -31,0441 |
| -19 | -31,0362 | -6,3996 | 0,0856 | -6,3723 | -30,9996 |
| -62 | -31,0449 | -6,3788 | 0,0779 | -6,3880 | -31,0117 |

naměřená hodnota v ose Z u sádového jádra č. 5 z flexibelu č. 2

| | -140 | -65 | 0 | 65 | 140 |
|-----|----------|---------|--------|---------|----------|
| 62 | -31,0283 | -6,4563 | 0,0669 | -6,4096 | -31,0286 |
| 19 | -31,0449 | -6,3841 | 0,0407 | -6,4041 | -31,0639 |
| 0 | -31,0286 | -6,4047 | 0,0000 | -6,4083 | -31,0408 |
| -19 | -31,0341 | -6,3922 | 0,0641 | -6,3901 | -30,9908 |
| -62 | -31,0377 | -6,3834 | 0,0912 | -6,4342 | -31,0327 |

naměřená hodnota v ose Z u sádového jádra č. 3 z flexibelu č. 1

| | -140 | -65 | 0 | 65 | 140 |
|-----|----------|---------|--------|---------|----------|
| 62 | -30,9883 | -6,4178 | 0,0771 | -6,4217 | -31,0086 |
| 19 | -31,0234 | -6,4141 | 0,0539 | -6,3993 | -31,0673 |
| 0 | -31,0115 | -6,3866 | 0,0000 | -6,3776 | -31,0448 |
| -19 | -31,0360 | -6,3918 | 0,0667 | -6,3875 | -30,9930 |
| -62 | -31,0349 | -6,3837 | 0,0807 | -6,3863 | -31,0176 |

naměřená hodnota v ose Z u sádového jádra č. 6 z flexibelu č. 2

| | -140 | -65 | 0 | 65 | 140 |
|-----|----------|---------|--------|---------|----------|
| 62 | -31,0276 | -6,4276 | 0,0568 | -6,4329 | -31,0296 |
| 19 | -31,0505 | -6,4356 | 0,0556 | -6,3935 | -31,0423 |
| 0 | -31,0380 | -6,4182 | 0,0000 | -6,4075 | -31,0307 |
| -19 | -31,0274 | -6,3993 | 0,0741 | -6,3963 | -31,0145 |
| -62 | -31,0309 | -6,3753 | 0,0909 | -6,4145 | -31,0300 |

průměrná odchylka hodnot v ose Z u sádových jader č. 1 až 6

| | -140 | -65 | 0 | 65 | 140 |
|-----|---------|---------|--------|---------|---------|
| 62 | -0,0034 | -0,0073 | 0,0704 | -0,0077 | 0,0136 |
| 19 | 0,0275 | -0,0263 | 0,0569 | -0,0403 | 0,0542 |
| 0 | 0,0071 | -0,0325 | 0,0000 | -0,0374 | 0,0275 |
| -19 | 0,0150 | -0,0421 | 0,0796 | -0,0553 | -0,0203 |
| -62 | 0,0249 | -0,0603 | 0,0889 | -0,0344 | 0,0063 |

průměrná hodnota v ose Z u sádových jader č. 1 až 6 z flexibelu č. 1 a 2

| | -140 | -65 | 0 | 65 | 140 |
|-----|----------|---------|--------|---------|----------|
| 62 | -31,0096 | -6,4277 | 0,0704 | -6,4273 | -31,0266 |
| 19 | -31,0405 | -6,4087 | 0,0569 | -6,3947 | -31,0672 |
| 0 | -31,0201 | -6,4025 | 0,0000 | -6,3976 | -31,0405 |
| -19 | -31,0280 | -6,3929 | 0,0796 | -6,3797 | -30,9927 |
| -62 | -31,0379 | -6,3747 | 0,0889 | -6,4006 | -31,0193 |

Tabulka 12 Naměřená data sádových jader z flexibelu Rhodosil RTV 3512

7.5 Grafické vyhodnocení měření

Pro názornější interpretaci výsledků byly vypočtené hodnoty z naměřených hodnot dosazeny do grafů. Jednotlivé grafy zvýrazňují průběh přenosu tvaru vyfrézovaného modelu na flexibel a z flexibelu na sádrové jádro. Na každý typ flexibilního materiálu byl použit jeden graf.

V grafech byly použity následující statistické veličiny:

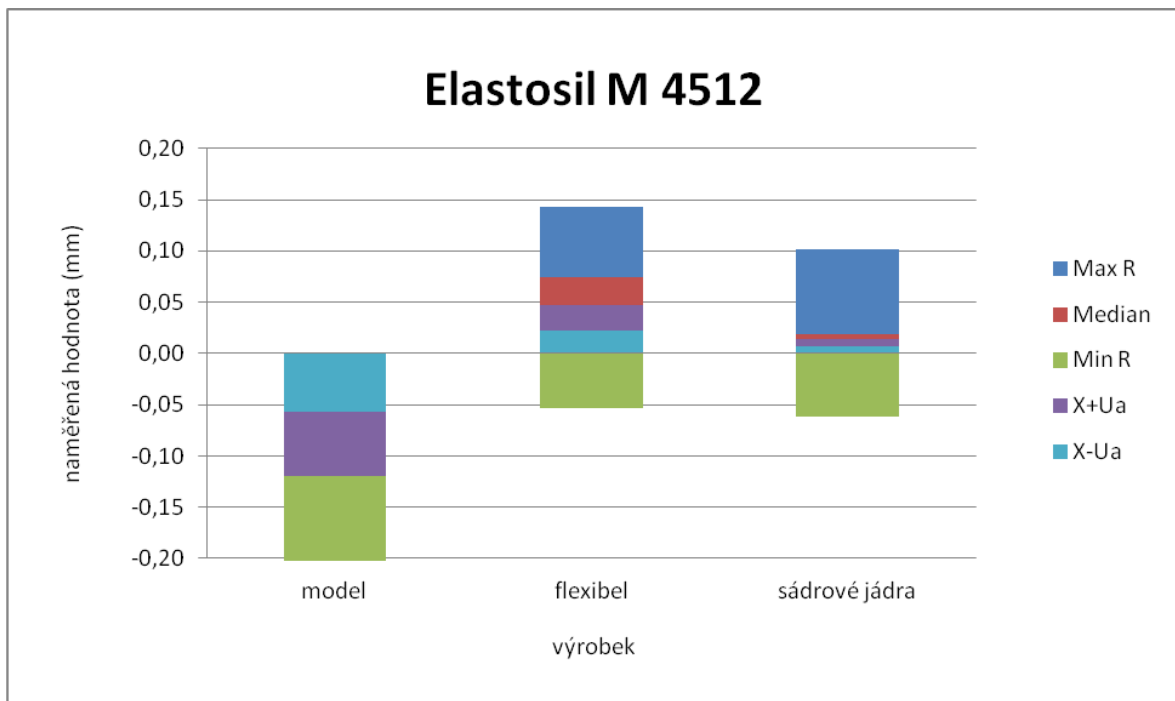
Max R maximální variační rozpětí

\hat{x} medián

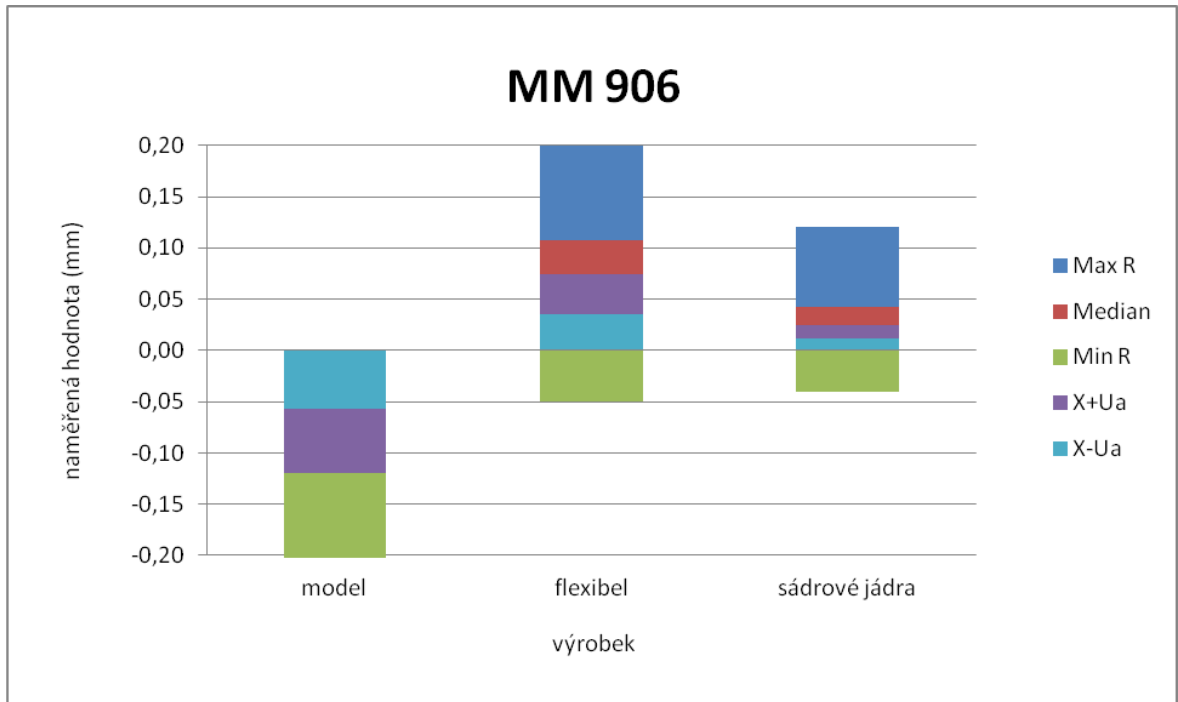
Min R minimální variační rozpětí

$\bar{x} + U_a$ aritmetický průměr + standardní nejistota typu A

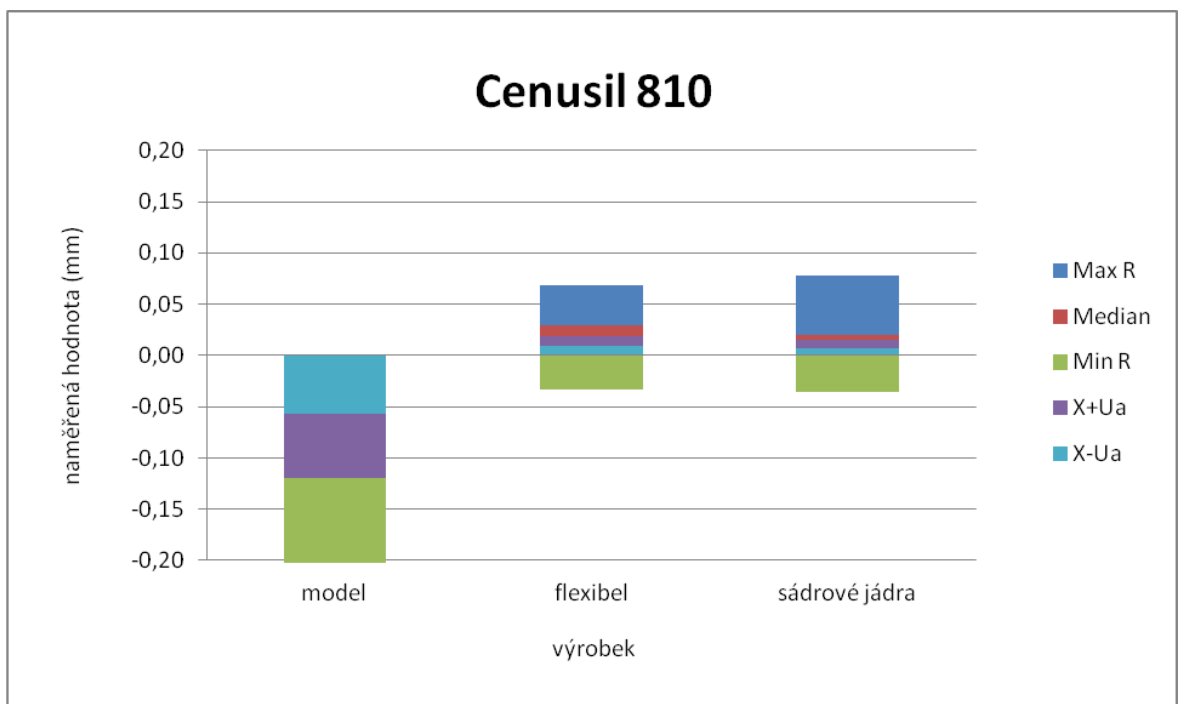
$\bar{x} - U_a$ aritmetický průměr - standardní nejistota typu A



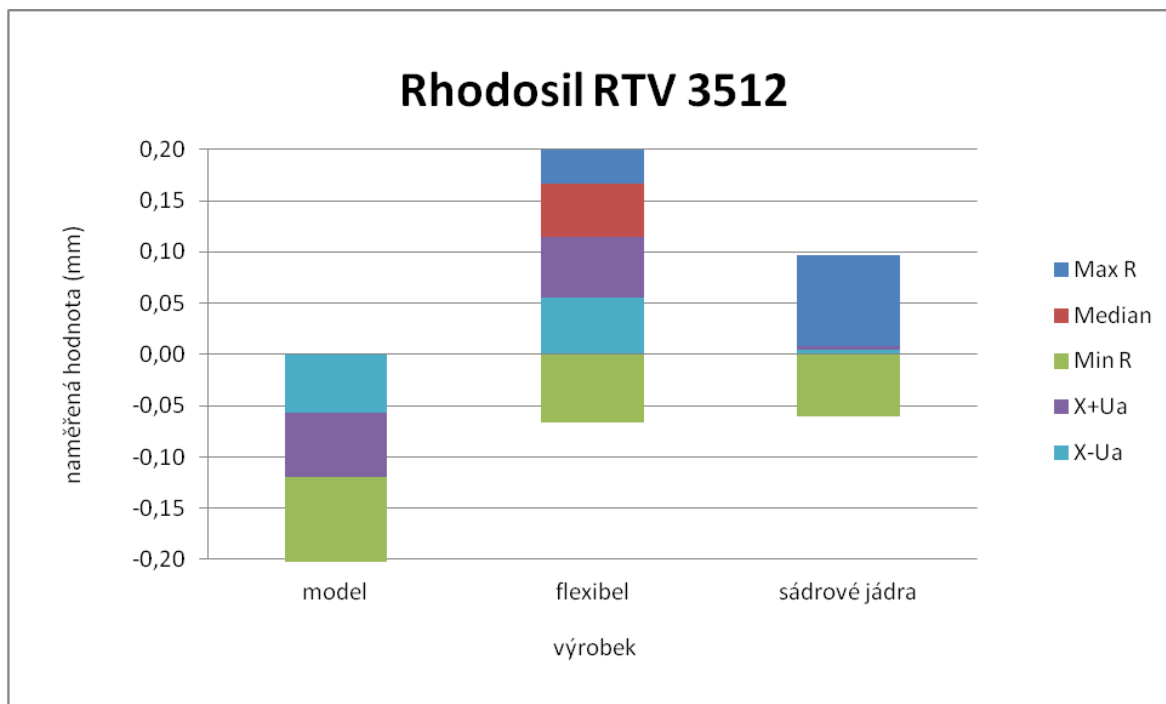
Graf 1 Vyhodnocení procesu s flexibelem Elastosil M 4512



Graf 2 Vyhodnocení procesu s flexibelem MM 906



Graf 3 Vyhodnocení procesu s flexibelem Cenusil 810



Graf 4 Vyhodnocení procesu s flexibelem Rhodosil RTV 3512

8 DISKUZE VÝSLEDKŮ

Výše uvedené měření a vyhodnocení ukázalo skutečnost, že testované flexibilní materiály mají velice podobnou kopírovací schopnost. Ukázalo ale také skutečnost, že počátečný stav výrobního procesu, kdy CAD model je konstruován a program na frézování modelu programován na výkresové hodnoty, zkresluje nepřesné nastavení obráběcího centra Fidia D 218 použitého na frézování modelu. Naměřené body v krajní oblasti mají vůči středovým bodům největší odchylky. Odchylky mohou být způsobeny chybným nastavením stroje. Takhle odchylka vypovídá, že průměr měřeného válce není totožný s teoretickým válcem vytvořeným ve 3D CAD UNIGRAPHICS. Ukázalo se také, že zkušební segmenty ve tvaru válce byly velice vhodnou volbou. Tím, že je plocha mezi body v příčném směru tvořena přímkou, lze okamžitě z tabulek odečítat odchylky a grafy mají ideální vypovídací vizuální schopnost. Nebyla také vnesena případná deformace ve směru zakřivení profilu.

Na testování flexibelu byly použity 4 typy materiálů, 2 polykondenzační – Elastosil M 4512 a MM 906 a dva polyadiční – Cenusil 810 a Rhodosil RTV 3512. Za 17 let používání stávající technologie výroby modelů je používán pouze polykondenzační materiál. Z důvodu chemické reakce polyadičních flexibelů se zbytky polykondenzačních flexibelů (modely se používají opakovaně i po dobu několika let), které nejde beze zbytku vyčistit, dochází při použití polyadičního materiálu k lokálnímu nevytvrzení a tím i špatnému přenosu tvaru. Používání polyadičních materiálů tedy znamená výrobu všech modelů a přípravků znovu. Při průměrné ceně 200 000 Kč za model a při 3 000 vyrobených modelů vychází potřeba investice ve výši 600 000 000 Kč.

Z výše uvedeného důvodu lze použít ke stávající výrobě pouze flexibely polykondenzační. Elastosil M 4512 má podle měření lepší kopírovací schopnost a ve výrobě je již používán 5 roků. Používané míchací zařízení potřebné k promíchání obou složek polykondenzačních flexibelů je přizpůsobeno pouze pro materiál Elastosil M 4512. Při používání flexibelu MM 906 je nutné zakoupit míchací zařízení v ceně 1 000 000 Kč.

Z výše uvedených důvodů doporučuji pro výrobu použití polykondenzačního flexibelu Elastosil M 4512.

ZÁVĚR

Cílem této diplomové práce bylo navrhnout nový flexibilní materiál, provést a vyhodnotit reálné měření vybraných flexibilních materiálů na souřadnicovém měřícím stroji.

Teoretická část práce obsahuje popis používaných materiálů a výrobní technologie na výrobu modelů. Dále jsou podrobně popsány technologie a druhy forem.

V praktické části byla představena Výroba Forem Barum, dceřiná část Barum Continental, s.r.o. Otrokovice. Je popsán její stěžejní výrobek – segmentová forma na lisování pneumatik pro osobní automobily.

V praktické části bylo provedeno měření modelu, vybraných flexibelů a sádrových jader na multisenzorovém souřadnicovém měřícím stroji WERTH Scope-Check MB 3D CNC. Jednotlivé měření byly zapsány do tabulek a grafů. Tabulky a grafy byly statisticky vyhodnoceny. Ve vyhodnocení výsledků měření bylo doporučeno sledování problematiky přenosu tvaru vyfrézovaného modelu na sádrová jádra a vybrán nejvhodnější materiál.

Doporučuji vybraný materiál Elastosil M 4512 dále testovat a provést opakovaná měření za účelem většího počtu měření. Měření provést stávajícím způsobem se stejným zkušebním segmentem ve tvaru válce. Po vyhodnocení opakovaných zkoušek materiál Elastosil M 4512 testovat na nejpoužívanějších tvarech profilů pneumatik pro osobní automobily.

Doporučuji také testovat zbývající výrobní proces předcházející výrobě odlitku. Jedná se o vliv sušení sádrového jádra na stav povrchu, přenos tvaru a rozměrů, a také přenos tvaru a rozměrů vysušeného sádrového jádra na hliníkovou slitinu. Doporučuji tuto problematiku řešit další bakalářskou nebo diplomovou prací.

Dále doporučuji sledovat stav obráběcího centra Fidia D 218 z důvodu velkých odchylek při frézování modelu.

Příložené CD obsahuje text diplomové práce.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] HERMAN, A., *Nástroje pro výrobu odlitků – modelová zařízení – materiály, výroba*. První vydání. Praha, 2009 [online], dostupné dne 2011 12. 30. z WWW: <http://u12133.fsid.cvut.cz/podklady/NVPO/modelova_zarizeni_1.pdf>
- [2] DVOŘÁK, Z., *Základy výrobních procesů: Konstrukce gumárenských výrobků a forem pro jejich výrobu*. Zlín, 2007 [online], dostupné dne 2011 12. 30. z WWW: <http://web.ft.utb.cz/cs/docs/T1PR_konstrukce_gumarenskych_vyrobku_a_forem.pdf>
- [3] PTÁČEK, L., *Nauka o materiálu I*. Brno: CERM, 2001. 505 s. ISBN 80-7204-193-2.
- [4] PECINA, P., *Materiály a technologie - dřevo*. Brno: Masarykova univerzita, 2006. ISBN 80-210-4013-0.
- [5] MOHYLA, M., *Fyzikální metalurgie a mezní stavy materiálu*. Ostrava: VŠB, 1989. 265 s. ISBN 80-7078-138-6.
- [6] HERMAN, A.: *Přesné lití na vytavitelný model*, [online] dostupné dne 2012 1. 11. z WWW: <<http://u12133.fsid.cvut.cz/podklady/MPL/presne%20liti%20na%20vytavitelny%20model.pdf>>
- [7] DOŠKÁŘ, J.; GABRIEL, J.; HOUŠŤ, M.; PAVELKA, M.: *Výroba přesných odlitků*, Praha, SNTL, 1976
- [8] www.ardfonte.cz, [online], dostupné dne 2012 1. 14. z WWW: <<http://www.ardfonte.cz/polyuretanove-pryskyrice.html>>
- [9] DUCHÁČEK, V., *Polymery: výroba, vlastnosti, zpracování, použití*. 2. vydání, přepracované, Praha: Vydavatelství VŠCHT, 2006. 278 s. ISBN 80-708-0617-6
- [10] KOČMAN, K.; PROKOP, J. *Technologie obrábění*. Vyd. 2. Brno: CERM, 2005. 270 s. ISBN 80-214-3068-0
- [11] MÁDL, J.; KAFKA, J.; VRABEC, M.; DVOŘÁK, R. *Technologie obrábění 3. Díl*. Praha: ČVUT, 2007. 252 s. ISBN 978-80-01-03752-2
- [12] www.cad.cz dostupné dne 2012 1. 14. z WWW: <<http://www.cad.cz/component/content/article/2715.html>>
- [13] www.cad.cz, [online], dostupné dne 2012 1. 16. z WWW: <<http://www.cad.cz/component/content/article/1909.html>>

- [14] www.custompart.net, [online], dostupné dne 2012 3. 12 z WWW:
<http://www.custompartnet.com/wu/additive-fabrication>
- [15] www.mmspektrum.com, [online], dostupné dne 2012 1. 20. z WWW:
<<http://www.mmspektrum.com/clanek/vyroba-forem-pro-kratke-serie.html>>
- [16] www.mmspektrum.com, [online], dostupné dne 2012 1. 26. z WWW:
<<http://www.mmspektrum.com/clanek/galvanoplasticka-vyroba-forem.html>>
- [17] www.sulzer.com, [online], dostupné dne 2012 1. 28. z WWW:
<http://www.sulzer.com/Portaldata/7/Resources/03_newsmedia/str/2011/STR_2011_2_e_complete.pdf>
- [18] www.pekrmetax.cz, [online], dostupné dne 2012 1. 26. z WWW:
<<http://www.pekrmetax.cz/metalizace-sopovani.html>>
- [19] www.estplus.cz, [online], dostupné dne 2012 1. 28. z WWW:
<<http://www.estplus.cz/katalogy>>
- [20] PROCHÁZKA, J., ZAHRADNÍK, M., NĚMEC, M., NOVOTNÝ, J., *Technologie slévání, tváření a svařování*. Praha, SNTL, 1982, 343 s.
- [21] KOLEKTIV FS: *Úvod do strojírenství*. TUL, Liberec, 2001, ISBN 80-7083-538-9, 190 s.
- [22] LENFELD, P., *Technologie II*. TUL, Liberec, 2008, [online], dostupné dne 2012 5.2. z http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp
- [23] Barum Continental spol. s r.o. *Gumárenská technologie – učební texty*. Otrokovice, 2008, 82 s. dostupný dne 2012 4. 1. na intranetu Barum Continental spol. s r.o.
- [24] DVOŘÁK, Z., *Základy výrobních procesů. : Konstrukce gumárenských výrobků a forem pro jejich výrobu*. Zlín 2007 [online], dostupné dne 1. 28. 2012 z WWW:
<http://web.ft.utb.cz/cs/docs/T1PR_konstrukce_gumarenskych_vyrobku.pdf>
- [25] TOMIS F., HELŠTÝN J., KAŇOVSKÝ J., *Formy a přípravky*, Praha: SNTL, 1985, 273s.

- [26] DVOŘÁK, Z., LAMBOROVÁ, R., *Základy výrobních procesů. : Výrobní technologie zpracování kovů*. Zlín 2007 [online], dostupné dne 1. 28. 2012 z WWW:
<http://web.ft.utb.cz/cs/docs/T1PR_vyrobní_technologie_zprac_kovu.pdf>
- [27] www.mmspektrum.com, [online], dostupné dne 2012 2. 23. z WWW:
<http://www.mmspektrum.com/clanek/vyuziti-cad-cam-systemu-pri-vyrobe-pneumatik.html>
- [28] CHRISTOPH, R., NEUMANN, H. J., *Multisenzorová souřadnicová měřicí technika*. Uherské Hradiště: L.V.Print, 2008, 106 s.
- [29] PERNIKÁŘ, J., TYKAL, M., *Strojírenská metrologie II*. CERM, Brno, 2006, 180 s.
ISBN 80-214-3338-8

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

| | |
|-----------|------------------------------|
| VFB | Výroba forem Barum |
| CAD | Computer Aided Design |
| CAM | Computer Aided Manufacturing |
| RP | Rapid Prototyping |
| SLS | Selective Laser Sintering |
| CNC | Computer Numeric Control |
| \bar{x} | Aritmetický průměr |
| \hat{x} | Medián |
| R | Variační rozpětí |
| U_A | Standardní nejistoty typu A |

SEZNAM OBRÁZKŮ

| | |
|--|----|
| <i>Obrázek 1 Dřevěný slévárenský model vyrobený CNC metodou s následně dodělanými žebry. [1]</i> | 15 |
| <i>Obrázek 2 Voskové směsi [6]</i> | 18 |
| <i>Obrázek 3 Základní metody obrábění [11]</i> | 27 |
| <i>Obrázek 4 Základní metody obrábění [11]</i> | 28 |
| <i>Obrázek 5 Porovnání výroby modelu pomocí CNC centra a metodou RP [12]</i> | 36 |
| <i>Obrázek 6 Stereolitografie [14]</i> | 37 |
| <i>Obrázek 7 3D tisk [14]</i> | 38 |
| <i>Obrázek 8 Selective Laser Sintering [14]</i> | 40 |
| <i>Obrázek 9 Galvanoplastická forma protetické náhrady ruky [16]</i> | 42 |
| <i>Obrázek 10 Metalizační zařízení Sulzer Metco Valuarc [17]</i> | 46 |
| <i>Obrázek 11 Postup výroby pískové formy [21]</i> | 51 |
| <i>Obrázek 12 Princip lisování termoplastů [22]</i> | 53 |
| <i>Obrázek 13 Princip přetlačování reaktoplastů [22]</i> | 54 |
| <i>Obrázek 14 Základní způsoby lisování [22]</i> | 55 |
| <i>Obrázek 15 Ukázka konstrukce vstřikovací formy [22]</i> | 58 |
| <i>Obrázek 16 Dvoudílná forma s bočnicemi [23]</i> | 60 |
| <i>Obrázek 17 Řez segmentovou formou pro osobní pláště [23]</i> | 61 |
| <i>Obrázek 18 Sestava formy na lisování pneumatik pro osobní automobily [23]</i> | 67 |
| <i>Obrázek 19 CAD model modelu z polymerního dřeva</i> | 69 |
| <i>Obrázek 20 Zadní plocha s kalibrickými drážkami</i> | 72 |
| <i>Obrázek 21 Vyhrubovaný model</i> | 73 |
| <i>Obrázek 22 Hotový model</i> | 74 |
| <i>Obrázek 23 Odlitý flexibel v zadním díle.</i> | 76 |
| <i>Obrázek 24 Odlité sádrové jádro</i> | 78 |
| <i>Obrázek 25 Síť měřících bodů na 3D modelu</i> | 79 |
| <i>Obrázek 26 Měřená síť bodů</i> | 80 |

SEZNAM TABULEK

| | |
|--|----|
| <i>Tabulka 1 Přehled vlastností testovaných silikonů</i> | 75 |
| <i>Tabulka 2 Naměřená data modelu</i> | 83 |
| <i>Tabulka 3 CAD flexibelu</i> | 84 |
| <i>Tabulka 4 Naměřená data flexibelu Elastosil M 4512</i> | 84 |
| <i>Tabulka 5 Naměřená data flexibelu MM 906</i> | 85 |
| <i>Tabulka 6 Naměřená data flexibelu Cenusil 810.....</i> | 85 |
| <i>Tabulka 7 Naměřená data flexibelu Rhodosil RTV 3512</i> | 86 |
| <i>Tabulka 8 CAD sádrové jádro</i> | 86 |
| <i>Tabulka 9 Naměřená data sádrových jader z flexibelu Elastosil M 4512</i> | 87 |
| <i>Tabulka 10 Naměřená data sádrových jader z flexibelu MM 906.....</i> | 88 |
| <i>Tabulka 11 Naměřená data sádrových jader z flexibelu Cenusil 810</i> | 89 |
| <i>Tabulka 12 Naměřená data sádrových jader z flexibelu Rhodosil RTV 3512.....</i> | 90 |

SEZNAM GRAFŮ

| | |
|---|----|
| <i>Graf 1 Vyhodnocení procesu s flexibelem Elastosil M 4512.....</i> | 91 |
| <i>Graf 2 Vyhodnocení procesu s flexibelem MM 906.....</i> | 92 |
| <i>Graf 3 Vyhodnocení procesu s flexibelem Cenusil 810.....</i> | 92 |
| <i>Graf 4 Vyhodnocení procesu s flexibelem Rhodosil RTV 3512.....</i> | 93 |

SEZNAM ROVNIC

| | |
|---|----|
| <i>Rovnice 1 Řezná rychlost</i> | 29 |
| <i>Rovnice 2 Aritmetický průměr</i> | 82 |
| <i>Rovnice 3 Medián</i> | 82 |
| <i>Rovnice 4 Variační rozpětí</i> | 82 |
| <i>Rovnice 5 Standardní nejistoty typu A - U_A</i> | 83 |