

Výroba odlévacích modelů hnětadel laboratorního
hnětiče
Production caster models for laboratory mixing
machine

Zuzana Krečmerová

Bakalářská práce
2007



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně

Fakulta technologická

Ústav výrobního inženýrství

akademický rok: 2006/2007

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Zuzana KREČMEROVÁ**

Studijní program: **B 3909 Procesní inženýrství**

Studijní obor: **Technologická zařízení**

Téma práce: **Výroba odlévacích modelů hnětadel**

Zásady pro vypracování:

1. Vypracujte literární studii na dané téma

-míchání gumárenských směsí

-konstrukční řešení míchadel

-metody přesného lití

-výroba modelů pro metody přesného lití

2. Zpracujte konstrukční řešení míchadel pro experimentální práce

3. Vypracujte výrobní dokumentaci modelu pro metodu odlévání ztraceným voskem

4. Závěr

Rozsah práce:

Rozsah příloh:

Forma zpracování bakalářské práce: **tisková/elektronická**

Seznam odborné literatury:

[1] **OTT, Rostislav. Stroje a zařízení v gumárenské a plastikařské technologii I [Skriptal]. SNTL Praha 1975. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta technologická se sídlem v Gottwaldově**

[2] **ŠPAČEK, Josef. Speciální gumárenská technologie [Skriptal]. Vysoké učení technické, Fakulta technologická, Gottwaldov**

[3] **FRANTA, Ivan. Zpracování kaučukových směsí a vlastnosti pryže. 2. vyd. Praha : Státní nakladatelství technické literatury, 1969. 606 s.**

[3] **FRANTA, Ivan. Zpracování kaučukových směsí a vlastnosti pryže. 2. vyd. Praha : Státní nakladatelství technické literatury, 1969. 606 s.**


[4] **MAŇAS, Miroslav, VLČEK, Jiří. Aplikovaná reologie [Skriptal]. UTB, Fakulta technologická, Zlín 2002**

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Zdeněk Dvořák, CSc.**
Ústav výrobního inženýrství

Datum zadání bakalářské práce: **13. února 2007**

Termín odevzdání bakalářské práce: **31. května 2007**

Ve Zlíně dne 17. ledna 2007


prof. Ing. Ignác Běvara, CSc.
děkan




doc. Ing. Miroslav Maňas, CSc.
ředitel ústavu

ABSTRAKT

Cílem bakalářské práce bylo navrhnout a vyrobit hnětadla laboratorního hnětiče. Pro splnění cíle práce byly zvolena metoda reverzního inženýrství. Touto metodou byly sejmuty funkční tvary hnětadel pro vytvoření 3D modelu. Pro výrobu hnětadel byla zvolena metoda odlévání pomoci ztraceného vosku.

Klíčová slova: odlévání, voskové modely, CNC obrábění, CAD konstrukce, hnětič, míchání gumárenských směsí, reverzní inženýrství.

ABSTRACT

Target of bachelor thesis was to design and develop mixing rods for laboratory mixing machine. Reverse engineering method was chosen for successful result. Function surfaces of mixing rods was taken by this method to prepare 3D data model. To manufacture of mixing rods was selected casting method lost wax.

Keywords: casting, wax models, CNC machining, CAD construction, mixing machine, mixing of rubber compounds, reverse engineering.

Velmi ráda bych poděkovala všem, kteří přispěli ke vzniku této bakalářské práce. Děkuji zvláště Ing. Zdeňku Dvořákovi, CSc. za odpovědné vedení a za poskytnutí cenných rad a společnosti SPO spol. s r. o. Zlín za spolupráci.

Souhlasím s tím, že s výsledky mé práce může být naloženo podle uvážení vedoucího bakalářské práce a ředitele ústavu. V případě publikace budu uvedena jako spoluautor. Prohlašuji, že jsem na celé bakalářské práci pracovala samostatně a použitou literaturu jsem citovala.

V Olomouci, 15.05.2007

.....
podpis

OBSAH

ÚVOD	8
I TEORETICKÁ ČÁST	9
1 MÍCHÁNÍ GUMÁRENSKÝCH SMĚSÍ	10
1.1 MÍCHÁNÍ NA DVOUVÁLCI	10
1.2 MÍCHÁNÍ V HNĚTACÍCH STROJÍCH	12
1.2.1 Hnětací stroje pracující diskontinuálně	12
1.2.2 Hnětací stroje pracující kontinuálně	14
2 KONSTRUKČNÍ ŘEŠENÍ MÍCHADEL	15
2.1 TVARY MÍCHADEL A HNĚTADEL	15
2.2 REOLOGIE	16
3 METODY PŘESNÉHO LITÍ	21
3.1 LITÍ DO TRVALÝCH FOREM	22
3.1.1 Lití do kokil	22
3.1.2 Lití pod tlakem	23
3.2 ODSŤŘEDIVÉ LITÍ	25
3.3 LITÍ DO SKOŘEPINOVÝCH FOREM	26
3.4 LITÍ DO FOREM ZÍSKANÝCH METODOU VYTAVITELNÝCH MODELŮ	28
4 VÝROBA MODELŮ PRO METODY PŘESNÉHO LITÍ	30
4.1 VÝROBA MATEČNÝCH MODELŮ	30
4.1.1 Matečné modely	30
4.2 FORMY NA VYTAVITELNÉ MODELKY	31
4.2.1 Formy z kovových bloků	31
4.2.2 Výroba forem podle matečného modelu	31
4.3 MODELOVÉ MATERIÁLY	33
4.4 VÝROBA VYTAVITELNÝCH A SPALITELNÝCH MODELŮ	33
4.4.1 Gravitační způsob	33
4.4.2 Stříkání vosku do forem pod tlakem	34
II PRAKTICKÁ ČÁST	35
5 NÁVRH VOSKOVÉHO MODELU	36
5.1 DIGITALIZACE TVARU HNĚTADLA	36
5.2 ÚPRAVA SEJMUTÝCH ROZMĚRŮ	40
6 VÝROBA VOSKOVÉHO MODELU HNĚTADLA	42
7 VÝROBA ODLITKŮ	62
8 SHRNUTÍ VÝSLEDKŮ	65
ZÁVĚR	66

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....	67
SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK	68
SEZNAM OBRÁZKŮ.....	69
SEZNAM TABULEK	71
SEZNAM PŘÍLOH.....	72

ÚVOD

Vývoj v oblasti gumárenských surovin je velmi rychlý. Počet druhů přísad používaných při výrobě kaučukových směsí jde do stovek, některé z nich jsou vzájemně zaměnitelné, ale v řadě případů mají jedinečné a nenahraditelné vlastnosti. Skladba kaučukových směsí umožňuje vyrábět mnoho materiálů s vlastnostmi, kterých není možno docílit žádným jiným nekaučukovým materiálem.(1)

Základní a nejdůležitější proces v gumárenské technologii je míchání. Na rozdíl od technologie plastických hmot, kde se většina základních surovin zpracovává přímo nebo jen s malým množstvím příměsí, obsahuje gumárenská směs kromě výchozího kaučuku průměrně až deset složek. Účelem míchání je zajistit co nejstejnější rozptýlení těchto složek v kaučukové směsi.

Směsi se míchají buď na dvouválcích, nebo v hnětacích strojích, nebo v kontinuálních zařízeních.

Hnětacích strojů se začalo používat po roce 1920. Jejich zavedením se sledovalo především zvýšení produktivity při míchání. V nynějším gumárenském průmyslu se jich využívá k míchání směsí, plastikaci přírodního a syntetického kaučuku a k regeneraci pryžového odpadu.(2)

I. TEORETICKÁ ČÁST

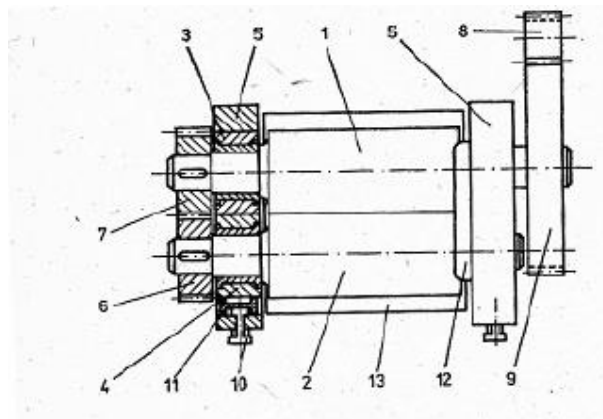
1 MÍCHÁNÍ GUMÁRENSKÝCH SMĚSÍ

Příprava směsí a zvláště jejich míchání je jedním z nejdůležitějších procesů v gumárenském průmyslu. Gumárenské směsi je možno připravovat na dvouválcových strojích, v hnětičích či v kontinuálních hnětičích.(1)

1.1 Míchání na dvouválci

Dnes patří k již překonaným technologiím. Používá se jen pro přípravu speciálních směsí v malém množství, pro barevné směsi s vysokými nároky na dodržení odstínu a směsí pro houbovou pryž.(1)

Zařízení se skládá ze dvou ocelolitinových válců rovnoběžně horizontálně uložených, které se otáčejí různou rychlostí proti sobě. Skluz válců bývá 1:1,2 – 1:1,5. Pro syntetické kaučuky s malou pevností se používá menšího skluzu. Válce jsou duté nebo jinak uzpůsobené (např. mají navrtané otvory) pro chlazení vodou, popř. vyhřívání párou.



Obr. 1. Dvouválec

1-zadní válec, 2-přední válec, 3,4-ložisko válců,
5-stojan, 6,7-ozubená kola,8-pastorek, 9-velké
ozubené kolo,10-stavěcí šrouby, 11-bezpečnostní
tlaková pojistka, 12-stírací desky,13-vana.

Při míchání směsi obepíná kaučuková plást přední pracovní válec, zadní, rychlejší válec zůstává volný. Dávka kaučuku zaujímá větší objem než je dán šířkou válce, jeho obvodem a šířkou štěrbinou mezi válci, proto přebytečné množství kaučuku nad štěrbinou mezi válci vytváří tzv. návalek.

Pro zlepšení míchání musí být splněny tyto předpoklady:

- přítomnost návalku: částice plniva přidávaného na plást kaučuku před návalek se uzavírají mezi vrstvy tvořící se v návalku a jsou částí návalku strhovány mezi štěrbinou válců. V důsledku skluzu se plnivo koncentruje ve vnější vrstvě kaučukového plástu. Příliš velký návalek není výhodný, protože většina jeho hmoty není stahována mezi válce.
- prokrajováním a překládáním plástu: tím se dostává povrchově vtlačené plnivo, resp. vnější koncentrovaná vrstva plástu doprostřed přeloženého plástu a rychlost rovnoměrného dispergování složek směsi v celé tloušťce plástu se tím zvyšuje.

V první fázi míchání se uplatňuje účinek návalku, přísady se hromadí ve větší koncentraci ve vnější vrstvě plástu. Dokud jsou na válcích v okolí návalku nezamíchané přísady, směs se neprořezává, aby se tlakem mezi obnaženými válci netvořily tvrdé shluky částíček plniv, které se obtížně rozpracovávají. Teprve když jsou všechny přísady dobře vmíchány, přistoupí se k homogenizaci prořezáváním a překládáním.

Při míchání se vliv tření jak v samém kaučuku, tak v systému kaučuk – přísada, přísada – přísada vyvíjí poměrně značné množství tepla. Směs i kovový povrch válců se zahřívají. Růst teploty je ovlivněn složením směsi, obvodovou rychlostí pracovního válce, skluzem a šířkou štěrbinou. Vysoká teplota negativně ovlivňuje míchání, zmenšuje se stříhové namáhání, vrůstá těkavost přísad, může nastat předčasné navulkanizování směsi, zhoršují se pracovní podmínky, a proto je třeba vznikající teplo odvádět intenzivním chlazením válců zevnitř vodou.(2)

1.2 Míchání v hnětacích strojích

Zavedením hnětacího stroje se sledovalo zvýšení produktivity při míchání.

V gumárenském průmyslu se hnětací stroje používají k:

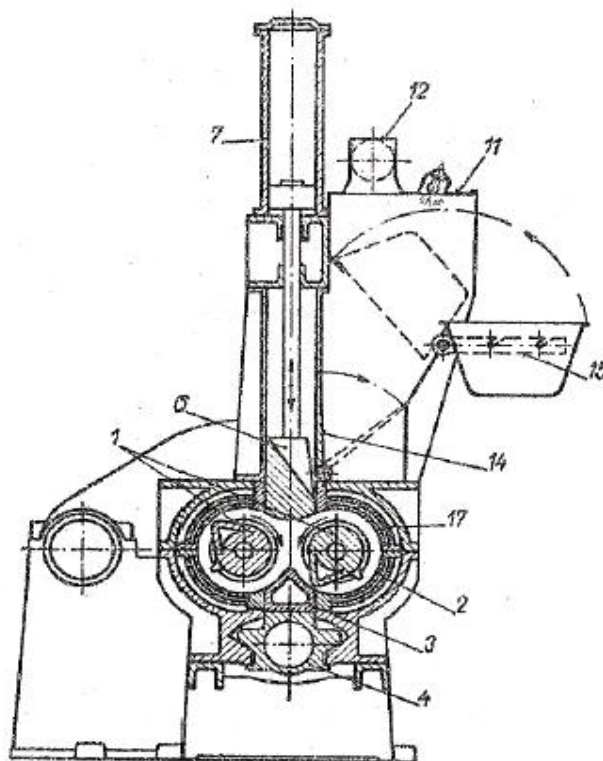
- míchání směsí,
- plastikaci přírodního a syntetického kaučuku,
- regeneraci pryžového odpadu.

Míchání směsí je na rozdíl od dvouválce do jisté míry automatické. Válce jsou zde nahrazeny dvěma profilovanými tělesy, která se otáčejí proti sobě nestejnou rychlostí. Hlavní míchací účinek nastává mezi rotory a stěnou komory, kde v důsledku sbíhavého tvaru rotoru ke stěně dochází k největšímu stříhovému účinku. Šířka štěrbin bývá 6 – 7 mm. Určitá světlost mezi rotorem a komorou je předpokladem míchání, velká světlost zhoršuje výkon a kvalitu směsi. Rozdílná rychlost otáčení obou rotorů a jejich profil umožňují neustálé převracení míchané směsi uvnitř pracovního prostoru ve všech směrech, což urychluje její homogenizaci. K tomu přispívá i částečné rozdělení prostoru komory spodním uzavíracím trámcem na dvě části. Horní trámec drží směs pod tlakem.(2)

1.2.1 Hnětací stroje pracující diskontinuálně

Mezi diskontinuálně pracujícími stroji patří hnětací stroje typu BANBURY, kterých se využívá od roku 1923.

Lze-li během míchání působit na zpracovanou směs tlakem, mluvíme o hnětacím stroji tlakovém. V opačném případě se jedná o hnětací stroje beztlakové, které nepoužívají horního uzávěru a svou koncepcí se blíží koncepci těžkých míchacích strojů ramenových.



Obr. 2. Hnětací stroj typu Banbury (Werner a Pfeleiderer)

1 – hnětadla, 2 – hnětací komora, 3 – spodní uzávěr, 4 –
 pneumatický válec, 6 – horní uzávěr, 7 – pneumatický
 válec, 11 – násypka, 12 – odsávací potrubí, 14 – klapka, 15
 - výklopné, 17 – prostor pro temperovací médium

Hnětací stroje pracující diskontinuálně je v zásadě možno rozdělit na:

- hnětací stroje, jejichž hnětadla se otáčejí proti sobě a navzájem do sebe nezasahují
 (hnětadla pracují různou obvodovou rychlostí např. stroj Banbury) nebo zasahují
 (hnětadla pracují stejnou obvodovou rychlostí)
- hnětací stroje, jejichž hnětadla se otáčejí ve stejném smyslu

Hnětadla bývají zhotovena ve tvaru šroubových ploch, jimiž je zpracovávaný materiál roztírán po vnitřním povrchu komory. Na každém hnětadle bývá jedna šroubová plocha pravochodá a druhá levochodá. Tím dochází k přemísťování zpracovávané hmoty i podél osy hnětadel. Na práci hnětadel má vliv i vůle mezi stěnou hnětací komory a hnětadlem. Hnětadla jsou buď ocelová, kovaná nebo litá z kokilové litiny. Za účelem zvýšení odolnosti hnětadel proti opotřebení jsou mnohdy nejvíce namáhané hrany ocelových hnětadel navařovány tvrdým kovem. Hnětadla jsou uložena v kluzných nebo valivých ložiscích, oddělených od hnětací komory ucpávkou.(3)

1.2.2 Hnětací stroje pracující kontinuálně

Snaha po zvýšení výkonů, automatizaci homogenizačního a plastikačního procesu, jakož i snaha po dosažení fyzikálně chemické jednotnosti poloproduktu vedla k návrhu hnětacích strojů pracujících kontinuálně.

Jedná se o stroje pracující na principu vytlačovacích strojů šnekových, u nichž byly nejrůznějšími úpravami odstraněny některé nedostatky, jako např. nedostatečný hnětací výkon atd. Příčinu tohoto vývojového směru lze spatřovat zejména v jednoduchosti tvarování zamíchané směsi, prostřednictvím hubice vytlačovací hlavy nebo možnosti peletizace při použití hlavy řezací.

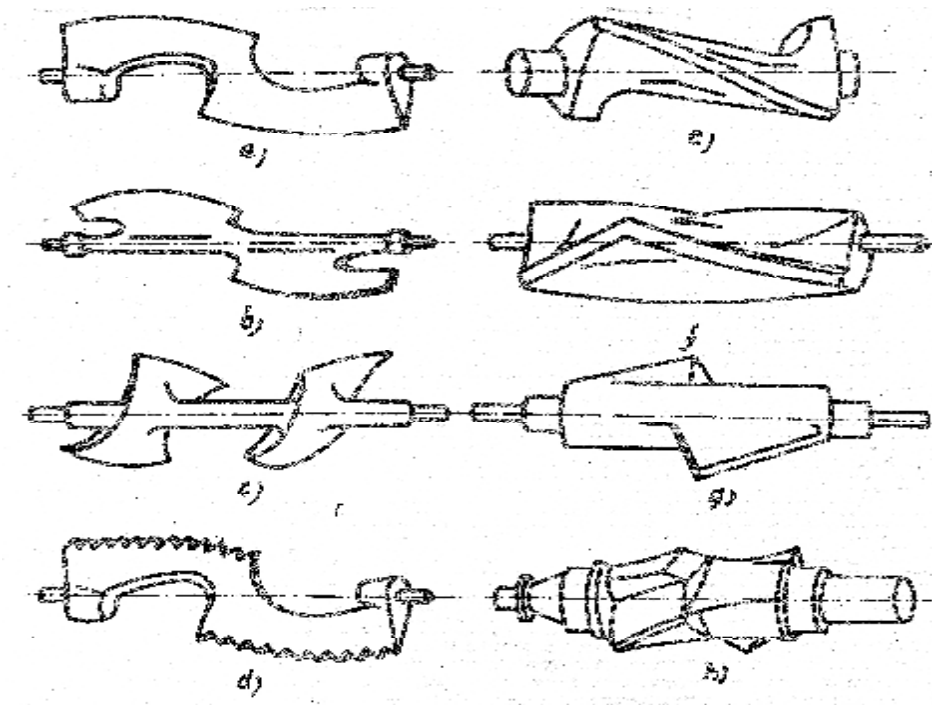
Kontinuální hnětiče, zařazované do zpracovatelské linky, jsou většinou zásobovány diskontinuálně pracujícími míchačkami, např. fluidními, neboť dosud činí potíže přesné, rovnoměrné a kontrolovatelné dávkování malých množství práškovitých přísad.(3)

2 KONSTRUKČNÍ ŘEŠENÍ MÍCHADEL

2.1 Tvary míchadel a hnětadel

Termín hnětadla se používá v těch případech, kdy klasická ramenová míchadla jsou nahrazena míchadly robustnějšími (hnětadly) ve tvaru profilovaných válců, majících na svém povrchu žebra nebo výstupky tvořené částmi šroubových ploch. Hnětadel se používá při zpracování vysoce viskózních směsí.

Hnětadly je materiál roztírán po vnitřním povrchu komory. Na každém hnětadle bývá jedna šroubová plocha pravochoďá a druhá levochoďá. Tím dochází k přemísťování zpracovávané hmoty i podél osy hnětadel na práci hnětadel má vliv i vůle mezi stěnou hnětací komory a hnětadlem.(3)



Obr. 3. Různé typy míchadel a hnětadel

- a) jednoduché (standardní universální)
- b) dvoulopatkové
- c) dvoulopatkové pro těžce zpracovatelné hmoty (u větších strojů)
- d) jednoduché pro zpracování vláknitých hmot
- e, f, g, h) hnětadla

2.2 Reologie

Reologie je nauka o tečení a deformování hmoty. Byla odvozena od klasické mechaniky, která se zabývá pohybem hmotného bodu, soustavou hmotných bodů po případě tuhých těles. U klasické mechaniky prakticky nezáleží na druhu materiálu, ze kterého sledované těleso je vyrobeno. Jestliže obrátíme pozornost k relativnímu pohybu části tělesa vzhledem k sobě navzájem, druh materiálu se tím výrazně projeví. Tečení a deformace, jakožto vnější projev relativního pohybu částic, se bude jinak jevit u roztaveného polymeru a opět jinak u ohřáté kaučukové směsi, nebo pryžové součásti. Za deformaci považujeme změnu vzdálenosti dvou bodů téhož tělesa. Tečení je pak deformace,

kteřá probíhá v čase. Pro popis těchto dějů platí základní rovnice mechaniky, vyjadřující v podstatě princip zachování hmoty a princip zachování energie.

Rovnice spojitosti může být zapsán ve tvaru:

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \operatorname{div}(\rho \mathbf{v}) = 0$$

kde:

ρ - hmotnost tekutiny [kg]

\mathbf{v} - vektor rychlosti [m.s⁻¹]

Rovnice silových poměrů lze uvést ve tvaru:

$$\rho \cdot \frac{D\mathbf{v}}{Dt} = \rho \mathbf{g} + \nabla \hat{\sigma}$$

\mathbf{g} - vektor gravitačního zrychlení [m.s⁻²]

$\frac{D\mathbf{v}}{Dt}$ - substanciální derivace rychlosti podle času

$\hat{\sigma}$ - tenzor napětí [Pa].

Vyjadřuje v podstatě rovnováhu sil setrvačných, gravitačních a povrchových.

Rovnice energie může mít tvar:

$$\rho \cdot c_p \cdot \frac{DT}{Dt} + \rho \cdot \frac{D}{Dt} \left(\frac{1}{2} \mathbf{v} \cdot \mathbf{v} \right) = -\nabla \cdot \mathbf{q} + \hat{\sigma} : \nabla \mathbf{v} + \rho \cdot (\mathbf{v} \cdot \mathbf{g})$$

c_p - měrné teplo [J.kg⁻¹.K⁻¹]

T - teplota [K]

$\frac{DT}{Dt}$ - substantiální derivace teploty podle času

\dot{q} - tepelný proud [$W \cdot m^{-2}$]

První člen na levé straně rovnice představuje změnu entalpie, a druhý člen pak změnu kinetické energie. Na pravé straně první člen představuje změnu sděleného tepla, druhý člen výkon povrchových sil a posléze třetí člen výkon gravitačních sil.

Pokud viskozita nezávisí na napětí hovoříme o Newtonově vztahu a látky, které si jím řídí se nazývají newtonské.

Viskozita u neneutonských látek může být funkcí napětí nebo času. Prvém případě pak dostaneme tekutiny dilatantní a pseudoplastické. Dilatantní tekutiny jsou látky u nichž poměr smykové napětí – smyková rychlost s rostoucím napětím vzrůstá. U tekutin pseudoplastických tento poměr s rostoucím napětím klesá.

V případě, že viskozita závisí na době působení napětí dostaneme tekutiny reopexní a tixotropní.

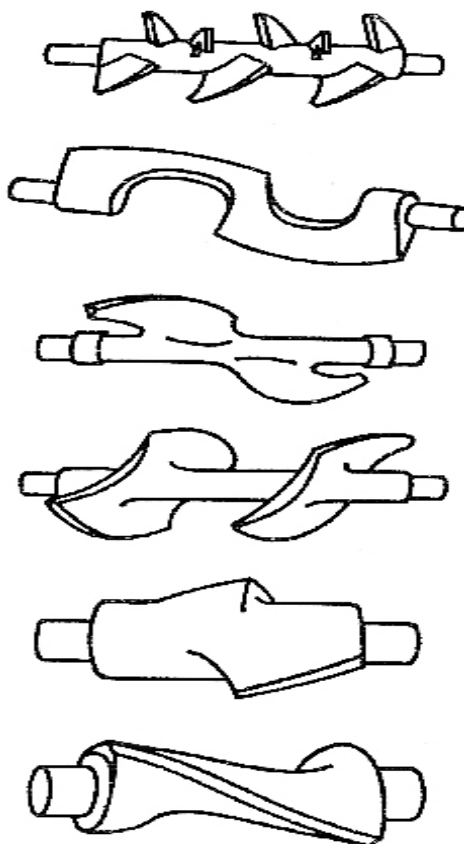
Většina tavenin makromolekulárních látek se chová jako látky pseudoplastické. Tento jejich projev zřejmě souvisí s řetězovým tvarem makromolekul. Disperze a pasty mají naopak charakter látek dilatantních.

Představa vlivu tlaku na viskozitu tekutin je často spojována s existencí volného prostoru. V dřívějších úvahách o vlivu teplot byla přítomnost volného prostoru rovněž předpokládána a to u plynu větší a kondensovaných soustav menší. Kdyby totiž prostor byl zcela částicemi zaplněn nemohl by existovat pohyb částic, ať již nevázaný nebo vázaný na rovnovážnou polohu.

Zvětšování tlaku se bude volný objem zmenšovat, tedy viskozita a rostoucím tlakem bude exponenciálně vzrůstat. Takovýto vzrůst však můžeme zaznamenat jen při tlacích středních. Při tlacích vysokých se mohou objevit značné odchylky.

Zřejmě tato záležitost bude souviset s molekulární strukturou, která u polymerů je samotná značně rozmanitá. Polymery s řetězci bez větších bočních substituentů budou mít závislost viskozity méně výraznou než polymery s řetězcem s většími bočními substituenty.

Roztoky stejně tak jako taveniny polymerů nechovají se jako látky newtonské. Neexistuje tedy jednoduchý vztah mezi tensorem napětí a tensorem deformační rychlosti. Tyto funkční závislosti stanoví se tedy experimentálně na přístrojích založených na různých principech. Tokové vlastnosti jsou často mírou zpracovatelských parametrů.(4)



Obr. 4. Míchadla a hnětadla (pořadí shora naznačuje použitelnost podle rostoucí viskozity hmoty)

3 METODY PŘESNÉHO LITÍ

Přesným litím se mohou označit všechny metody lití, které dovolují vyrobit přesnější odlitky než běžné slévárenské metody. Podle toho patří mezi přesné lití tlakové a kokilové lití, způsob „C“ a „D“, lití do lisovaných keramických forem a lití vytavitelným, spalitelným nebo rozpustným modelem. Správné je však používat termín přesné lití jen pro ty metody, které dovolují vyrábět odlitky s větší přesností než $\pm 0,25\%$.

V TAB.1 jsou uvedeny údaje o přesnosti některých metod, které se řadí k metodám přesného lití v porovnání s přesností lití do pískových forem.

TAB. 1 Dosažitelná optimální tolerance

metoda lití	Dosažitelná optimální tolerance pro jmenovitý rozměr 30 až 50 mm
vytavitelným modelem	$\pm 0,03$ až $\pm 0,1$ mm
způsob C (Shawova metoda)	$\pm 0,1$ až $\pm 0,3$ mm
tlakové lití	$\pm 0,05$ až $\pm 0,2$ mm
kokilové lití	$\pm 0,1$ až $\pm 0,3$ mm
lití do písku	± 1 až ± 2 mm

Hodnoty ukazují, že ze všech uvedených metod je nejpřesnější metoda lití vytavitelným modelem.

Přesné lití charakterizujeme jako technologii, která umožňuje vyrábět tvarově složité strojní součásti, u nichž se část funkčních ploch vyrábí již při lití s takovou drsností s takovou výrobní tolerancí, že dokončení obrábění není nutné. U ostatních ploch, které je nutno obrábět, jsou přídatky na obrábění relativně malé a spotřeba času na jejich odstranění, a s tím spojené náklady, jsou podstatně nižší než u jiných způsobů lití.

Přesné lití má doplňovat ostatní výrobní způsoby a je vhodné tam, kde konstrukčně technické parametry, požadovaná rozměrová přesnost, povrchová a vnitřní jakost, geometrický tvar a použitý materiál vytvářejí takové podmínky, že celkové výrobní náklady na konečný výrobek budou nižší ve srovnání s ostatními způsoby výroby, které ještě přicházejí v úvahu.

Je nutno upozornit na to, že i přesné lití, tak jako všechny výrobní metody, má své hranice, a to především v rozměrových tolerancích a v drsnosti povrchu, které jsou dány současným stavem techniky v tomto oboru, do určité míry i surovinovou základnou, která je k dispozici. Jako u jiných výrobních metod je možné v přesném lití uplatňovat u výrobce jen takové rozměrové a jakostní parametry, které jsou z hlediska funkce výrobku nutné, protože se zvyšováním těchto požadavků rostou neúměrně výrobní náklady.(5)

3.1 Lití do trvalých forem

3.1.1 Lití do kokil

Lití do kokil patří mezi produktivní slévárenské metody. Forma je kovová, pro vytváření dutin se používá kovových nebo pískových jader. Materiál forem bývá nejčastěji litina nebo ocel. V poslední době se rozšířilo použití kokil z hliníkových slitin nejen pro výrobu odlitků z lehkých slitin, ale i pro odlitky z oceli a šedé litiny. Aby se zamezilo přímému styku kokily s tekutým kovem a zvýšila se životnost hliníkových kokil pokovuje se galvanicky líc kokily.

Životnost kokil bývá od 200 do 200 000 odlitků, podle druhu odlévaného kovu. Trvanlivost kokil se prodlužuje žáruvzdorným nátěrem o tloušťce 0,1 až 1 mm, který slouží jako tepelná izolace, a barvivem, které pokrývá líc formy a má za účel zlepšit vzhled a strukturu odlitku. Forma se odvzdušňuje kanálky v dělicí rovině. Ty musí být tak velké, aby se nezalily kovem a včas odvedly vzduch z formy.

Výhodou kokilového lití je výroba tvarově i rozměrově přesných odlitků s jemnozrnnou strukturou (následek rychlého ochlazení), zlepšení pracovních prostředí a

možnost automatizace. Nevýhodou je drahá forma, nutnost odlitky tepelně zpracovávat. Tento způsob se používá především k odlévání pístů, armatur a součástí elektrických strojů.

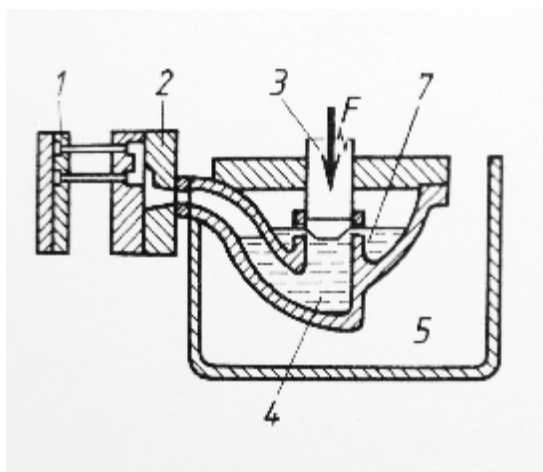
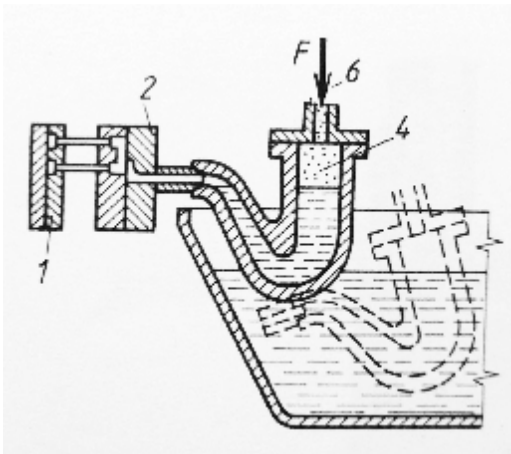
3.1.2 Lití pod tlakem

Je to metoda přesného lití, která se nejvíc blíží ideální snaze přeměnit základní materiál přímo na hotový výrobek. Odlitky jsou tak přesné a s tak dobrou jakostí povrchu, že nepotřebují většinou žádné další obrábění (s výjimkou funkčních ploch). Lze předlít i velmi malé díry (od průměru 2,5 mm), závity (od průměru 10 mm), přesné podrobnosti (písmo, znaky) apod. Tloušťka stěn bývá od 1 do 3 mm. Mají velmi dobré mechanické vlastnosti.

Podstavou je vyplňování kovové formy roztaveným kovem při vysoké tlaku (10 až 100 MPa). Velikost tlaku je závislá na velikosti strojů a druhu odlévaného materiálu (litiny Sn, Pb, Zn, Al, Mg, Cu). Potřebné tlaky pro uzavření formy, vstříknutí kovu do formy a pro otevření formy se většinou dosahují hydraulicky.

Podle uspořádání vstřikovacího ústrojí se stroje dělí:

- **stroje s teplou tlakovou komorou** – slouží k odlévání nízkotavitelných slitin. Základním znakem je, že tavící pec tvoří součást stroje a roztavený kov je tlačěn přímo do formy. U starších konstrukcí pístem, u novějších tlakovým vzduchem.



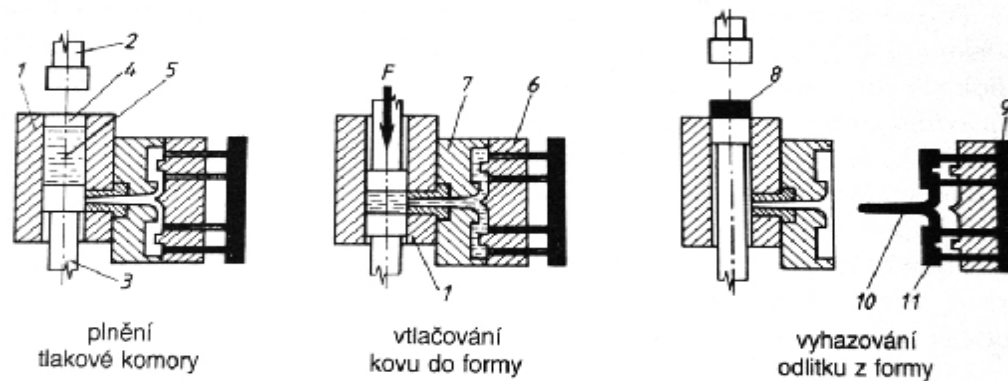
Obr. 5. Lící stroj s teplou tlakovou komorou

1 – vyhazovač, 2 – forma, 3 – píst, 4 – tlaková komora, 5 – pec, 6 – vzduch, 7 – roztavený kov

- **stroje se studenou tlakovou komorou** – mají tavící pec postavenou mimo stroj. Rztavený kov se dopravuje do tlakové komory většinou ručně slévačskou lžící. U moderních strojů je doprava tekutého kovu automatizována.

Hospodárnost lití pod tlakem se projevuje již od 1 000 odlitků. Životnost správně konstruovaných forem je asi 5 000 odlitků. Mohou však vydržet i 50 000 a 100 000 odlitků. Výroba jednoho odlitků trvá podle jeho velikosti od 30 sekund do 6 minut.

Lití kovů pod tlakem se používá zejména v automobilovém průmyslu, v elektrotechnickém, leteckém, spotřebním průmyslu apod.



Obr. 6. Postup lití kovů pod tlakem na licím stroji se svislou studenou tlakovou komorou

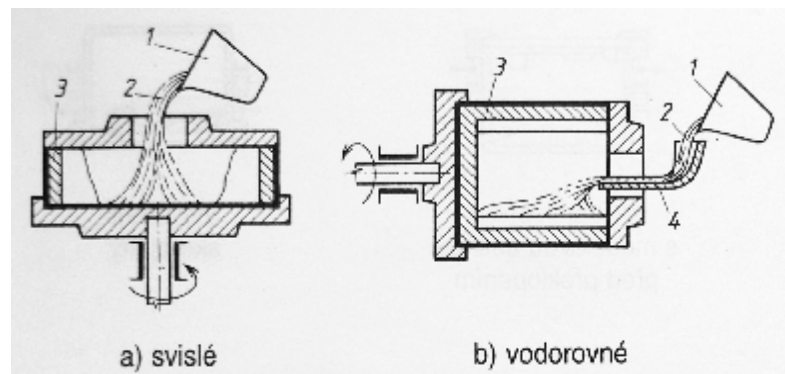
1 – tlaková komora, 2 – tlačný píst, 3 – výtlačný píst, 4 – plnicí komora, 5 – roztavený kov, 6 – pohyblivá tvornice, 7 – pevná tvornice, 8 – zbytek kovu, 9 – vyhazovač, 10 – centrální vtok, 11 - odlitek

3.2 Odstředivé lití

Při odstředivém lití je roztavený kov vléván do rychle se otáčející formy a odstředivou silou přitlačován ke stěně formy, kde tuhne. Používá se hlavně na odlévání trub, válců, kroužků apod. Výhodou je úspora jádra, odpadá vtoková soustava a výfuk, odlitky jsou hutné bez bublin. Nedají se však odlévat odlitky s neválcovou dutinou. Podle osy rotace je odstředivé lití svislé vodorovné.

Nevýhody předchozích způsobů odstraňuje vícenásobný licí systém, který vyhovuje požadavkům výroby jak konstrukčních tak dekorativních předmětů. Je vhodný zejména pro lití nízkotavitelných kovů a slitin, ale také pro lití některých druhů plastů (např. reaktoplastů).

Nastavitelný počet otáček umožňuje regulovat odstředivou sílu, a tím i dokonalé vyplňování formy. Počet dutin po obvodu formy závisí na velikost a tvaru odlévaných předmětů.



Obr. 7. Princip odstředivého lití v jednonásobné formě

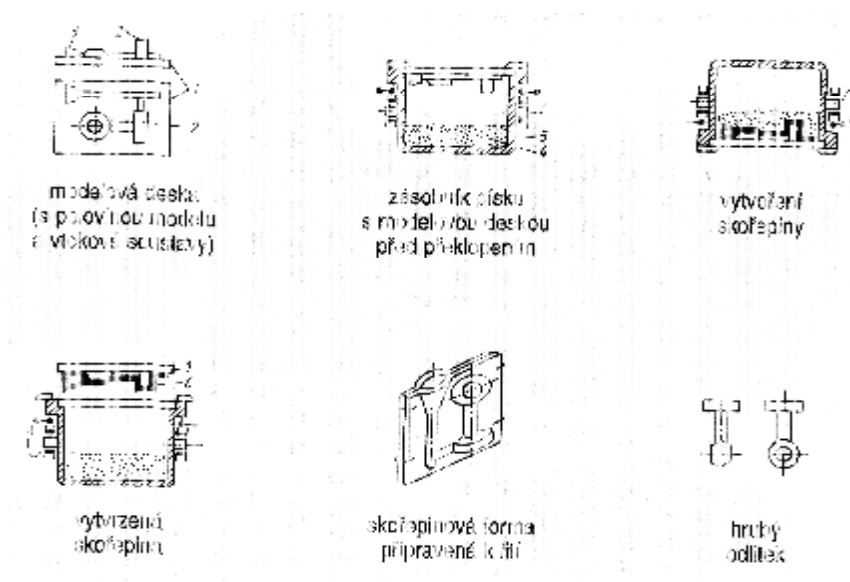
1 – lící pánev, 2 – roztavený kov nebo tekutý plast, 3 – forma,
4 – lící žlábek

3.3 Lití do skořepinových forem

K výrobě skořepinových forem se používá směsi křemenného písku s přísadou 5 až 10 % syntetické pryskyřice. Kovová modelová deska s kovovým modelem a vtokovou soustavou se zahřeje na 200 až 250°C a postříká silikonovým olejem, který zabrání připékání směsi na model. Takto upravená deska se připevní na zásobník písku a celé zařízení se překlopí o 180°. Tím se písková směs přesype na modelovou desku. Pryskyřice se roztaví, obalí zrnka písku, slepí je a vytvoří tak na povrchu modelu tenký povlak čili skořepinu. Po dosažení žádané tloušťky (5 až 12 mm) odpadne přebytečný materiál zpětným překlopením zásobníku s modelovou deskou. Modelová deska se sejme i se skořepinou a vloží do pece, kde asi při 300°C nastává polymerizace a skořepina se vytvrdí. Po vyjmutí z pece se skořepina sejme z modelové desky. Jádra se vyrábějí obdobným způsobem v jaderníku. Obě poloviny formy se složí podle vyformovaných čípků, spojí se

lepením, sešroubováním nebo sepnutím, vloží se do vhodného rámu a obsypou se litinovým nebo křemenným pískem, tím je forma připravena k lití.

Lití do skořepinových forem je vhodné v hromadné výrobě malých a středně velkých odlitek. Velmi dobře se tímto způsobem odlévají složitější odlitky.



Obr. 8. Postup výroby skořepinových forem

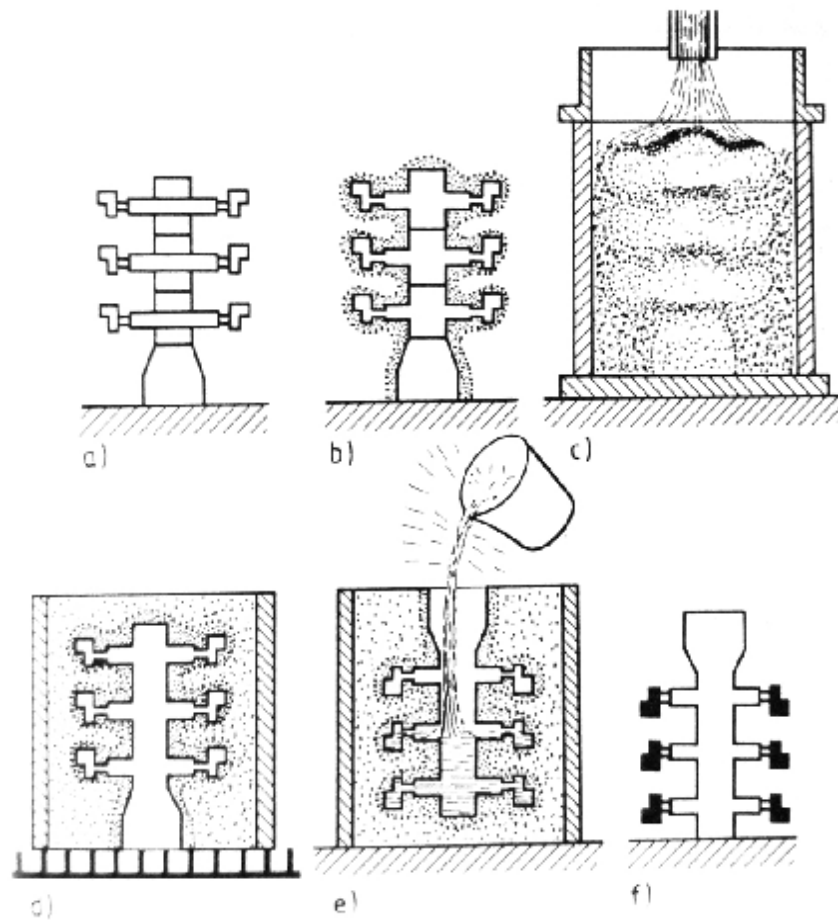
1 – modelová deska, 2 – polovina modelu, 3 – polovina vtokové soustavy, 4 – písek s pryskyřicí, 5 – zásobník písku, 6 – skořepina

3.4 Lití do forem získaných metodou vytavitelných modelů

Přednost této metody je lití kovů do nedělených forem (možnost odlévat libovolné tvary) s velmi hladkým povrchem. Rozměrová přesnost je IT 13 až IT 12, jakost povrchu běžně 12,5 až 6,3 μm . Nevýhodou je technologicky náročná výroba, a proto je vhodná pro velké série. Model vyrobený z vytavitelných materiálů se i s vtokovou soustavou namočí do řídké obalové kaše s etylsilikátem, a tak se vytvoří keramický obal. Ten se nechá vysušit a namáčení se opakuje, až se dosáhne předepsané tloušťky stěny formy. (6)

Pro vytavení modelových hmot se formy vypalují v tunelových pecích při teplotě 900 až 1050°C. Tím se forma zpevní a zbytky modelových hmot se při vysoké teplotě vypálí. Odlévá se do žhavých forem ihned po jejich vyjmutí z vypalovací pece. Tekutý kov se buď odlévá přímo do skořepin (samonosné skořepiny), nebo se zasypávají ve formovacích krabicích formovacím pískem (zasypané skořepiny), nebo se zalévají do formovacích krabic tekutými formovacími směsí (pevné keramické formy). (7)

Touto metodou se vyrábějí tvarově nejsložitější odlitky ze speciálních slitin (např. lopatky spalovacích turbin, oběžná kola turbokompresorů, součásti pro raketovou a leteckou techniku), které jsou třískovým obráběním nástroji s pravidelnou geometrií bříty neobrobitelné.



Obr. 9. Postup výroby obalovým způsobem

a) modely sestavené do stromečku, b) vytvoření keramického obalu, c) zasypání skořepiny křemenným pískem, d) vypalování formy, e) lítí roztaveného kovu do žhavé formy, f) odlitky(6)

4 VÝROBA MODELŮ PRO METODY PŘESNÉHO LITÍ

Základním předpokladem k výrobě přesného odlitku je přesný model s bezvadným povrchem a s přesně dodržеныmi rozměry, respektující všechny technologické vlivy, které se při výrobě odlitku vyskytnou. Ke zhotovení takového modelu musí být ovšem k dispozici velmi přesně vyrobená forma.(5)

4.1 Výroba matečných modelů

K výrobě forem na vytavitelné modely z nízkotavitelných slitin se používá matečných modelů kovových. Zalévají se roztavenými slitinami postupně ve dvou polovinách ocelového rámečku „na dělicí rovinu“, a proto musí být vyrobeny z materiálů, které jsou při teplotách tavení používaných slitin naprosto stálé. Ze stejných důvodů se nesmí při změně jejich rozměru nebo tvaru používat měkkých pájek, nýbrž pouze pájek tvrdých.

Přesnost rozměrů matečných modelů musí být nejméně o dva stupně vyšší než požadovaná přesnost rozměrů odlitků.

4.1.1 Matečné modely

Vyrábějí se podle technického výkresu součásti, který se upraví:

a) tvarově, aby se vylehčily silné průřezy a odstranilo místní nashromáždění materiálu nebo zesílily slabé průřezy, které by se zřetelem k nevhodnějšímu umístění vtoku porušovaly zásadu usměrněného tuhnutí.

Otvory, které se nebudou odlévat, se na výkrese matečného modelu zašrafují.

b) rozměrově se zřetelem na :

smrštění materiálu odlitku

smrštění modelové hmoty

roztažení obalových směsí při vypalování směsí při tuhnutí a sušení

Korekce rozměrů matečného modelu, určeného pro výrobu forem na vytavitelné modely ocelových dolitků, je tedy dána celkovým smrštěním, kterým se korigují veškeré rozměry součásti, odlévané „na hotovo“. Přídavky na opracování řezným obráběním bývají u drobných odlitků asi 1 mm na plochu a není tedy zpravidla nutné je zvětšovat o nepatrné přídavky na smrštění. Naopak přídavky na broušení jsou malé a je třeba rozhodnout s přihlédnutím k tvaru a velikosti plochy, zda po smrštění materiálu zaručují jakostní opracování celé broušené plochy.

c) materiál součásti se změní na materiál, určený k výrobě matečného modelu, z něhož má být vyroben matečný model

4.2 Formy na vytavitelné modely

Formy na vytavitelné modely se vyrábějí dvojím způsobem:

- a) podle matečného modelu,
- b) obráběním z kovových bloků podle technického výkresu.

4.2.1 Formy z kovových bloků

Vyrábějí se frézováním a jinými vhodnými metodami řezného obrábění z oceli, mosazi, bronzu, hliníku, zinku a slitin zinku. Korekce rozměrů se zřetele na smrštění je pro výrobu ocelových odlitků s lineárním koeficientem roztažnosti $12 \cdot 10^{-6}$ asi 1,5 %.

4.2.2 Výroba forem podle matečného modelu

- a) Formy z nízkotavitelných slitin

Matečný model se zaformuje do sádrové šněrovačky. Přiloží se vhodné rámečky, model se předeřeje a zalije nízkotavitelnou slitinou. Po jejím ztuhnutí se šněrovačka stáhne, nasadí se rámeček a odlije se druhá polovina formy ze slitiny o nižším bodu tavení než byla slitina první poloviny. Aby se zvýšila odolnost proti poškození, vystužují se formy

ocelovými plášti. Pevného zakotvení nízkotavitelné slitiny v tomto plášti se dosáhne vyfrézováním dutin ve tvaru rybin. Pro výrobu forem zalévání modelu jsou speciální stroje, umožňující zalévat model přetlakem po předcházejícím evakuování.

Nízkotavitelné slitiny jsou několikasožkové eutektické slitiny cínu, bizmutu, olova, antimonu a kadmia.

b) Lisované formy

Při lisování se matečný model upraví jako razník a zalisuje se do právě ztuhlé nízkotavitelné slitiny s přísadou asi 2% rtuti, popřípadě se zinková, nebo nízkotavitelné slitina na matečný model nalije. V okamžiku, kdy začne slitina tuhnout, působí tlak pístu na její hladinu až do úplného ztuhnutí.

c) Formy metalizované

Na matečný model, upravený jako razník, se nanese stříkácí pistolí vrstva zinku tloušťky 6 až 8 μm. Skořepina se zalije nízkotavitelnou slitinou nebo epoxidovou pryskyřicí, plněnou kovovým práškem.

d) Formy z epoxidové pryskyřice

Postup je stejný jako při odlévání z nízkotavitelných slitin. K zalévání se použije epoxidová pryskyřice 1200 s přísadou 75 % železného prášku. Přísada tužidla je v poměru 100 : 7.

e) Galvanoplastické formy

Kovový matečný model se vloží do sádrové šněrovačky a zalije se nízkotavitelnou slitinou. Po sejmutí šněrovačky se celek vloží po odmaštění do galvanoplastické lázně a na líc se nanese skořepina niklu, mědi nebo železa v tloušťce 4 až 5 μm. Podobně se vyrobí druhá polovina formy. Skořepiny se na rubu zesílí zalitím nízkotavitelnou slitinou, nebo plněnou epoxidovou pryskyřicí.

4.3 Modelové materiály

Používá se voskových směsí, nízkotavitelných slitin, zmrzlé rtuti, polystyrenu, polyetylénu a anorganických i organických sloučenin.

Voskové směsi jsou složeny z parafínu, karnaubského a včelího vosku, stearínu, kalafuny, polymerizovaných rostlinných olejů, syntetických vosků, montánního vosku, montánní pryskyřice.

Jednotlivé suroviny jsou charakterizovány bodem tavení, měkknutí, specifickou vahou, číslem zmýdelnění, jódovým číslem, obsahem vody, popela, těkavého podílu a nezmýdlitelného podílu.

Podle toho jakým způsobem se formy plní, je třeba měnit teplotu tavení voskových směsí. Pro gravitační plnění se používá směsí s nízkou teplotou tavení voskových směsí. Pro gravitační plnění se používá směsí s nízkou teplotou tavení, pro plnění pod tlakem s vyšší teplotou tavení. Přibližnou hranicí je 65°C.

4.4 Výroba vytavitelných a spalitelných modelů

Formy se plní modelovými hmotami:

- a) gravitačně s dotlačováním roztavené směsi,
- b) pod tlakem, s tekutou nebo kašovitou směsí.

4.4.1 Gravitační způsob

Forma se naplní tekutou směsí, ohřátou 5 až 7 °C nad teplotu tavení. V okamžiku tuhnutí se na ni působí tlakem, který se vyvodí buď pístem, nebo kuželovým trnem, vsazeným do plnicího otvoru formy. Se zřetelem k poměrně dlouhé době celé operace je třeba volit směsi s dlouhým intervalem tuhnutí.

Stěny forem se potírají nebo postříkují dělicími prostředky, jsou to mýdlové roztoky nebo roztoky minerálních solí, rostlinných olejů, polyglykolů, neutralizačních produktů

některých kyselin. Tím se zabrání přilepení voskových modelů na stěny formy a usnadní se jejich vyjímání.

4.4.2 Stříkání vosku do forem pod tlakem

Používá se speciálních stříkacích lisů. Pracovní tlak je 5,5 až 150 kg/cm². Volí se vosková směs s krátkými intervaly tuhnutí, aby smrštění modelů bylo co nejmenší. Ohřívá se těsně pod teplotu tavení.

Spalitelné modely z polystyrenu nebo jeho směsí se vyrábějí na stříkacích lisech pro umělé hmoty tlakem 75 až 900 kg/cm² při teplotě 120 až 180 °C. Formy jsou z cementační oceli a po cementování se kalí. Jsou proto výrobně velmi nákladné a používá se jich jen na velké série odlitků. (8)

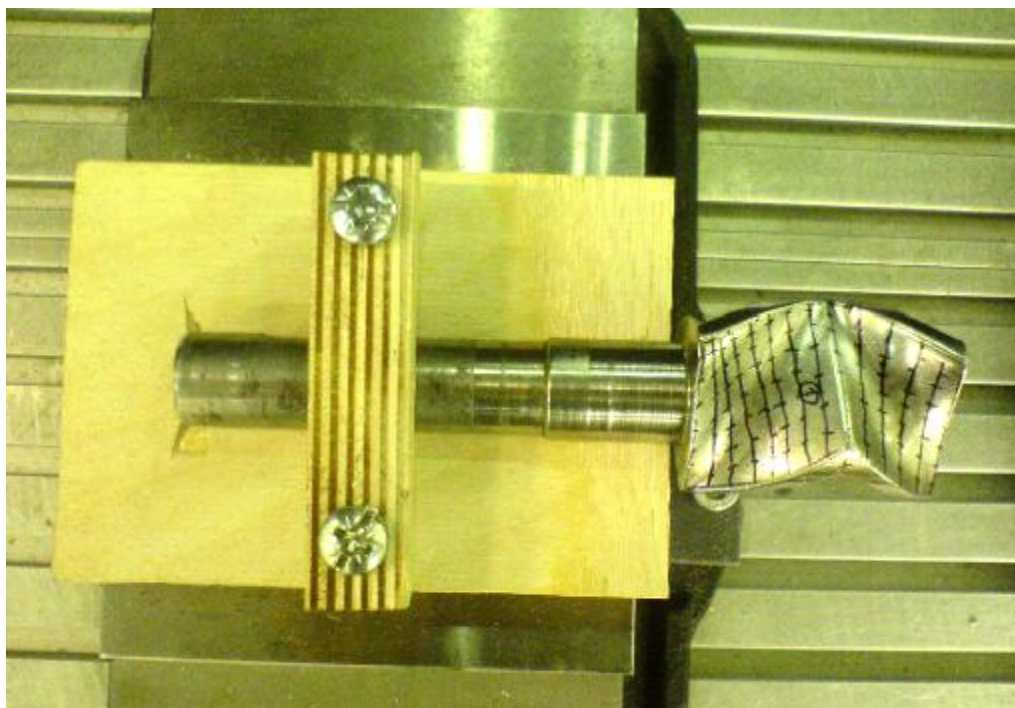
II. PRAKTICKÁ ČÁST

5 NÁVRH VOSKOVÉHO MODELU

Pro tvar hnětadla se vycházelo z reálného tvaru hnětadla laboratorního hnětiče Plastograph Brabender, který je umístěn v laboratořích na Technologické fakultě v budově U1. Tvar hnětadla byl nadigitalizován a přizpůsoben potřebným rozměrům hnětadla nového a stávajícího laboratorního hnětiče. Konečné sejmuté a dle potřeby upravené rozměry byly dále zvětšeny o přídavky na smrštění odlitku a o přídavky na obrábění.

5.1 Digitalizace tvaru hnětadla

Jednotlivé body povrchu hnětadla byly sejmuty pomocí CNC frézky typ HWT C-442 CNC. Na této frézce byl vyroben přípravek do kterého bylo hnětadlo upnuto a pomocí něhož byly známy souřadnice středu hnětadla. Na body se najíždělo pomocí duralového trnu.

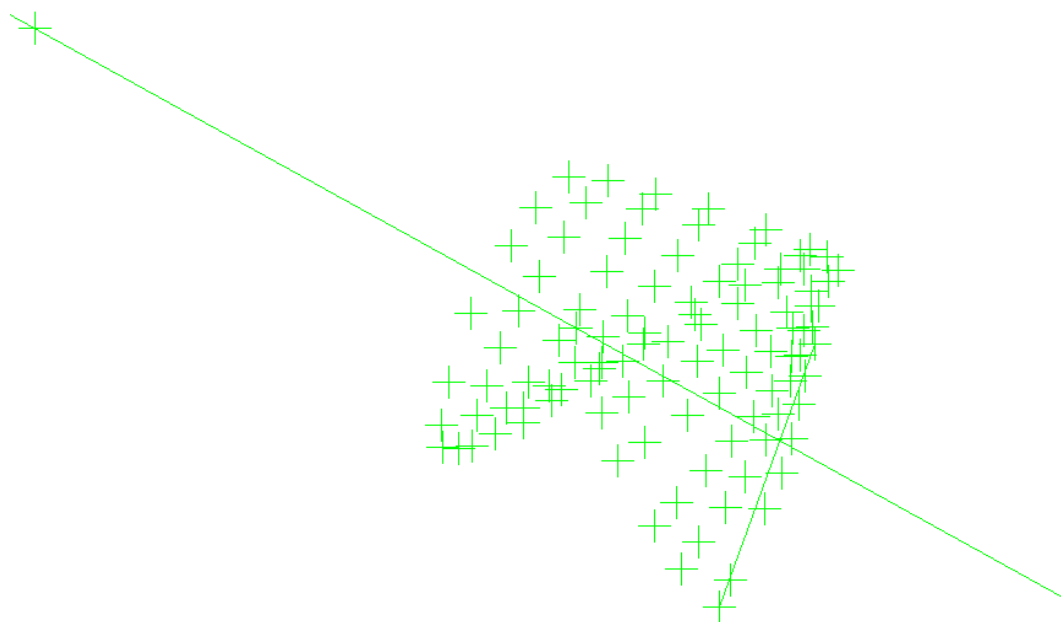


Obr. 10. Hnětadlo upnuté v přípravku připravené na digitalizaci



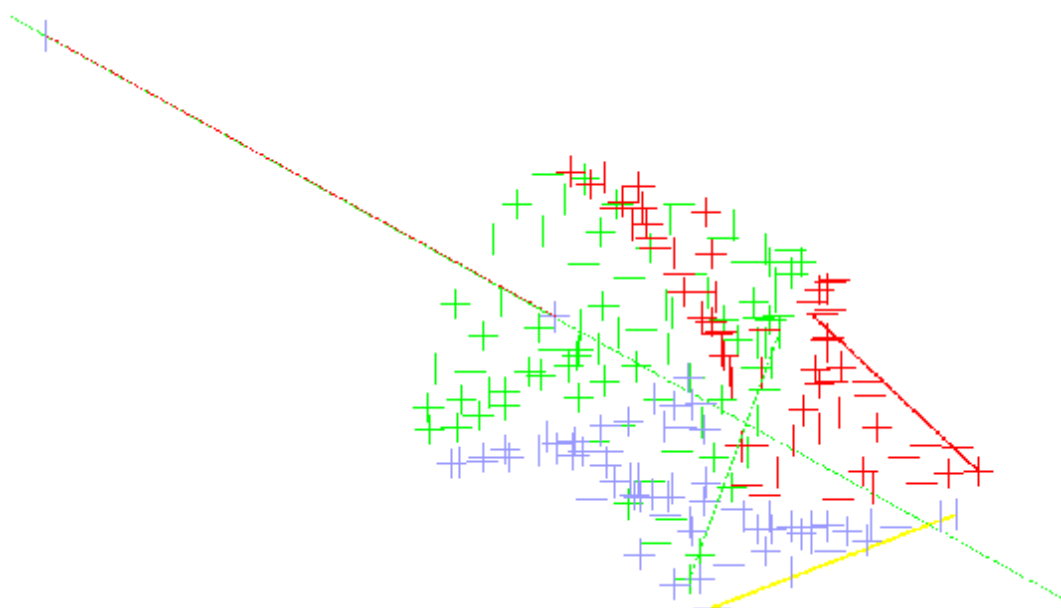
Obr. 11. Digitalizace bodů hnětadla

Sejmuté body byly zpracovány v programu Cadkey. Cadkey je CAD program, který má funkce na zpracování nadigitalizovaných dat.



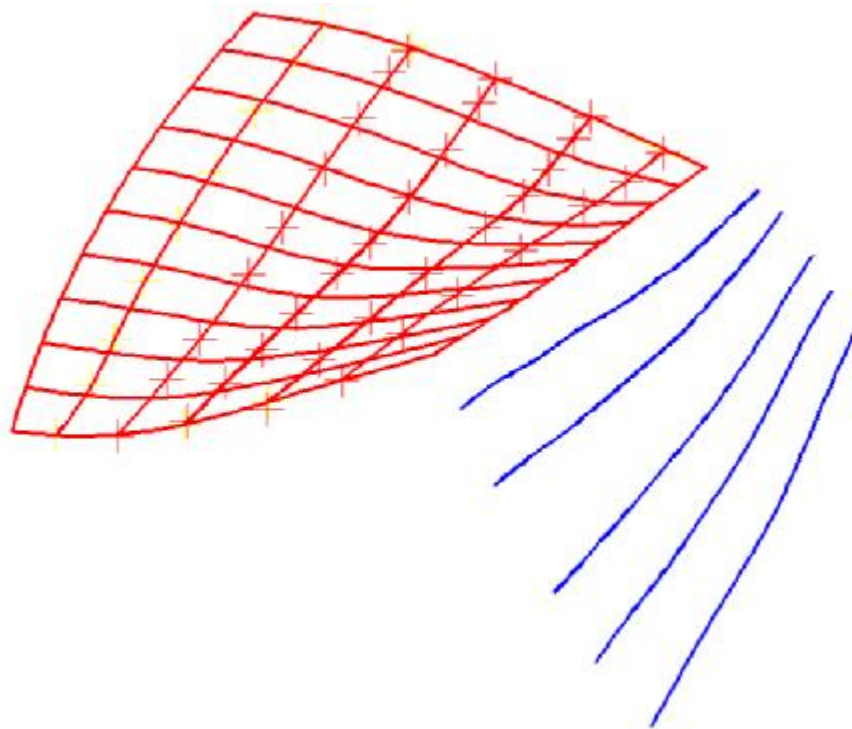
Obr. 12. Sejmuté body jedné plochy hnětadla

Získané strany hnětadla byly k sobě natočeny po 120° .

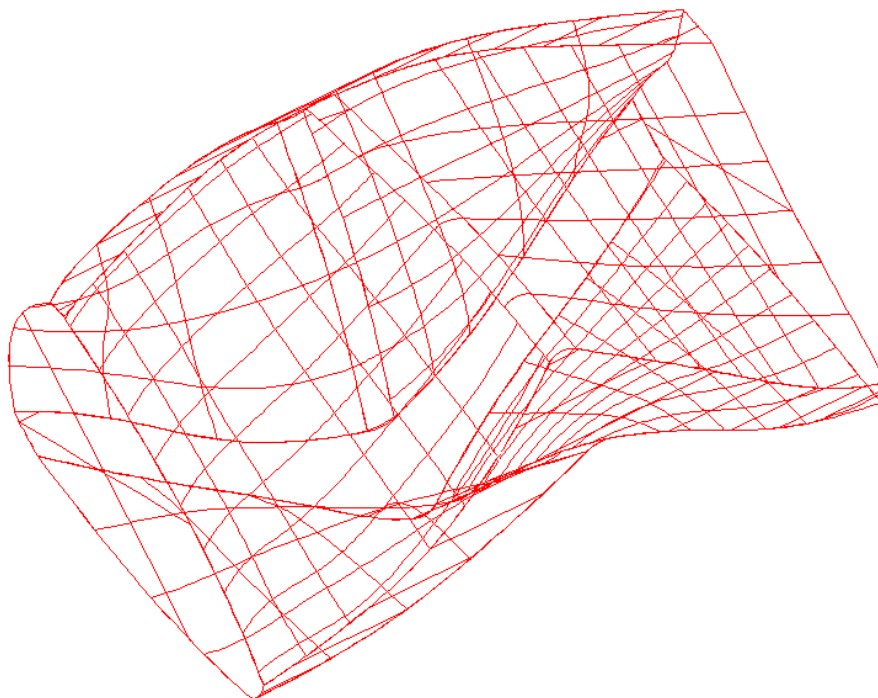


Obr. 13. Sejmuté body všech tvarových ploch hnětadla

Přes příkaz spline byly body spojovány a vyhlazovány tak, aby vznikly plynulé křivky a výsledný povrch byl hladký.

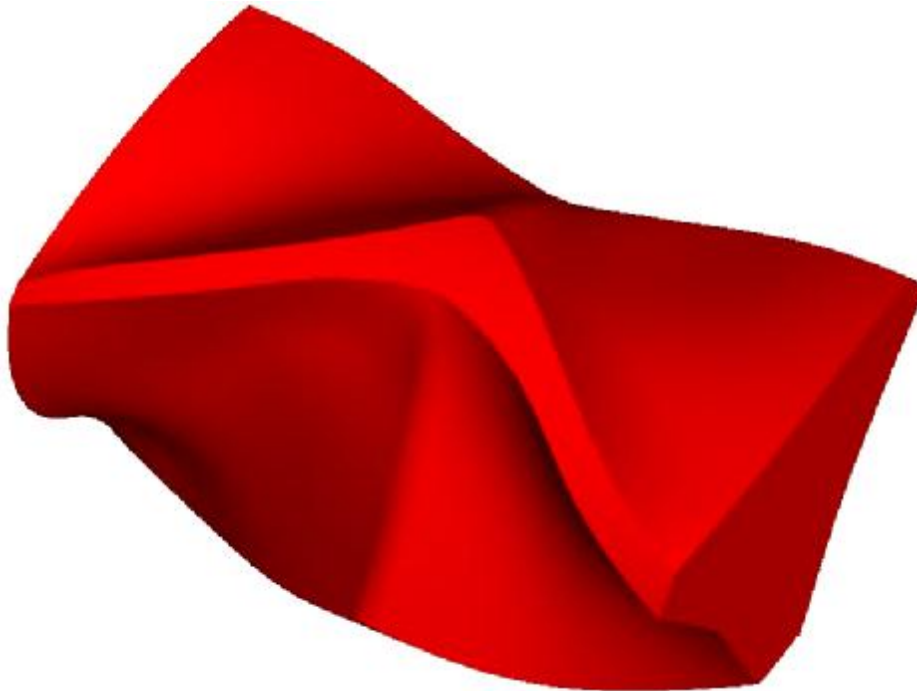


Obr. 14. Sejmuté body jedné strany spojené v křivky



Obr. 15. Výsledné křivky všech stran

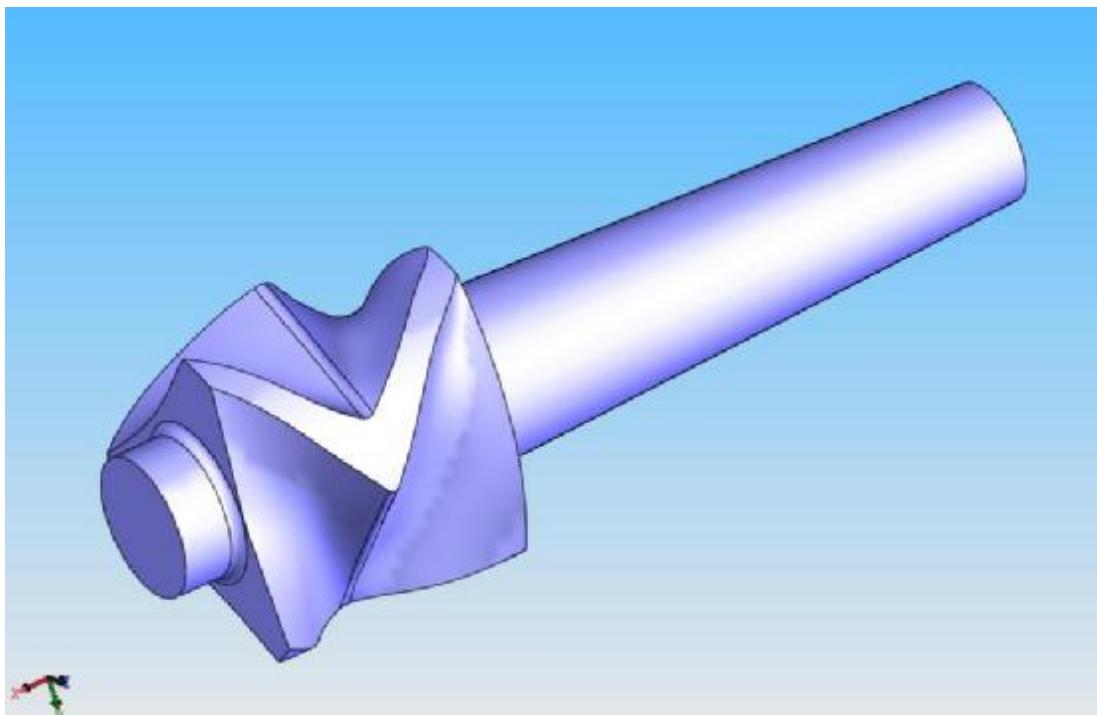
Křivky byly dále spojeny v plochy.



Obr. 16. Výsledné plochy

5.2 Úprava sejmutých rozměrů

Sejmuté plochy byly z programu Cadkey ve formátu IGS převedeny do programu Solidworks 2006 a v něm změněny na rozměry hnětadla vhodné pro danou hnětací komoru. Dále se rozměry zvětšovaly o přídavek na obrábění a smrštění kovového odlitku. Přídavky byly doporučeny pro výrobu přesného odlévání metodou ztraceného vosku ve firmě SPO spol.s r.o. Zlín. K modelu byl také přidán licí vtok. Výkres voskového modelu hnětadla je v příloze P I.



Obr. 17. Konečný tvar modelu hnětadla zvětšený o přídavky

6 VÝROBA VOSKOVÉHO MODELU HNĚTADLA

Hnětadlo mělo být vyrobeno metodou ztraceného vosku ve spolupráci s SPO spol. s r. o. Zlín. Ve slévárně přesných odlitků SPO spol. s r. o. Zlín byla navržena varianta vyrobení voskového modelu obrobením tvaru modelu hnětadla do vosku. Po poradě s vedoucím technologie panem Ing. Josefem Škrabanou byla varianta schválena a místo výroby formy, která by byla pro odlití malého počtu kusů voskového modelu neekonomická, byl tvar hnětadla vyfrézován přímo do vosku. Bylo dohodnuto vyrobení šesti kusů tohoto modelu a to kvůli umístění dvou stromečků po třech kusech.

Byl nám poskytnutý vzorek černého slévárenského vosku přímo ze SPO spol. s r. o. Zlín na zkoušku obrobitelnosti jelikož se vosk snadno láme. Chování vosku při frézování bylo vyhovující.

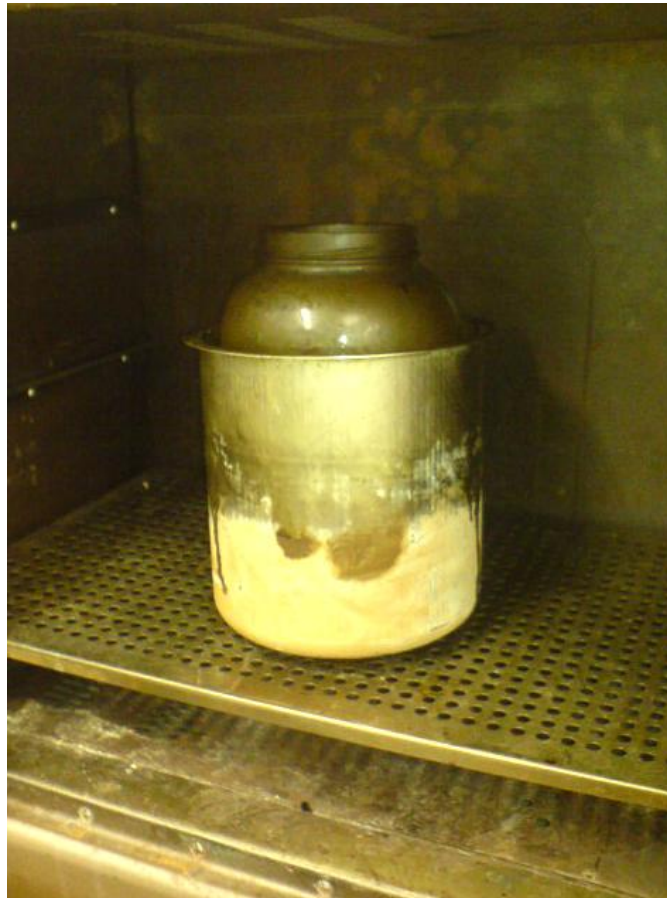
Návrh výrobního postupu pro obrábění vosku

- Výroba polotovaru odlitím do formy
- Vytvoření technologické základny ofrézováním rovin na bloku
- Upnutí do svěráku a ofrézování první strany voskového modelu hnětadla
- Výroba upínacího přípravku
- Navrtání upínacích otvorů do první strany voskového modelu hnětadla
- Upnutí polotovaru do přípravku a následné obrobení druhé strany voskového modelu hnětadla
- Finální úpravy na hnětadlech

Všechny frézovací programy byly vytvořeny pomocí programu Surfcam 2000. Obrábění voskových modelů a přípravku bylo prováděno na frézce HWT C-442 CNC.

Výroba polotovaru pro výrobu voskového modelu

K výrobě modelů byly použity části voskových modelů a jiných odpadů z výroby SPO spol. s r. o. Zlín. Zlomky vosku byly roztaveny v laboratorní sušárně při teplotě 150°C. Vosk k tavení byl umístěn ve skleněné lahvi, která byla dále umístěna v plechové nádobě.



Obr. 18. Tavení vosku v sušárně

Byla potřeba vyrobít formu pro odlití vosku tak, aby vznikl voskový polotovar pro obrábění hnětadel dostatečných rozměrů.

Forma pro odlévání vosku se skládala z dřevěné ohrádky o vnitřních rozměrech 200 x 80 x 70 mm, do které byly vloženy 2 až 3 vrstvy alobalu složených do formy.



Obr. 19. Forma připravená k odlévání vosku

Zhruba po třech hodinách bylo možno odlitý vosk z formy vyjmout a obrábět jej.

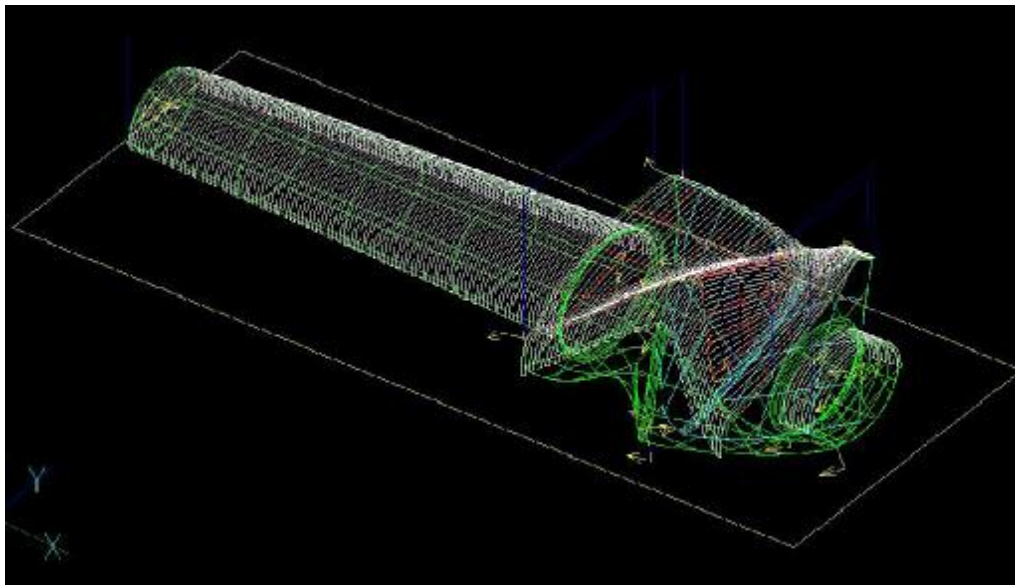


Obr. 20. Vosk připravený k obrábění

Výroba první strany voskového modelu hnětadla

Vytvoření CNC kódu pro první stranu modelu

CNC kód byl vytvořen v programu Surfcam 2000. Nejprve byl model hnětadla ve formátu IGS převeden ze Solidworksu 2006 do Surfcamu 2000. Kolem hnětadla byl do nárysu narýsován přibližný tvar polotovaru.



Obr. 21. Pohled na první stranu modelu v Surfcamu 2000

Prvním krokem při obrábění bylo hrubování. Jako nástroj byla zvolena válcová fréza o průměru 10 mm. Pro tento krok byla provedena verifikace operace, aby byly odhaleny případně kolize při procesu obrábění.

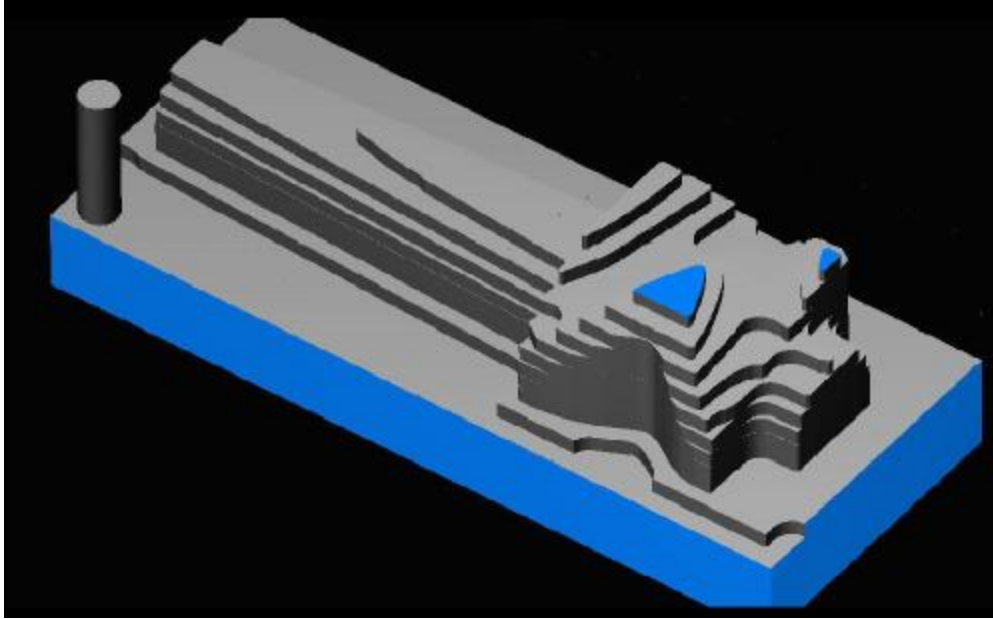
Dle zkušeností byly voleny tyto řezné parametry:

Otáčky vřetene 10 000 min⁻¹

Posuv 2500 mm/min

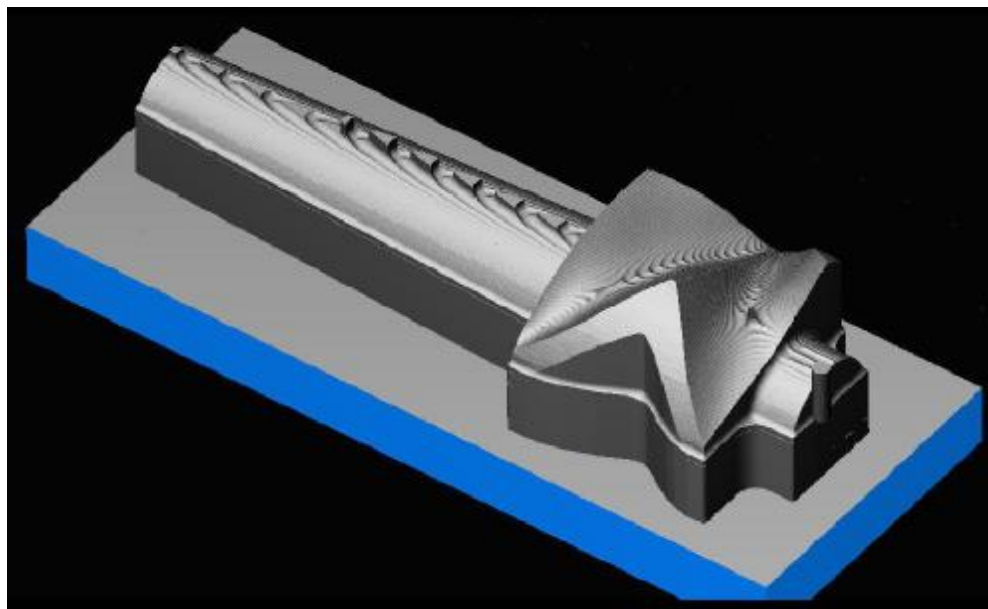
Přísuv 250 mm/min

Krokování při hrubování po 4 mm, krokování při dokončovací operaci po 0,75 mm



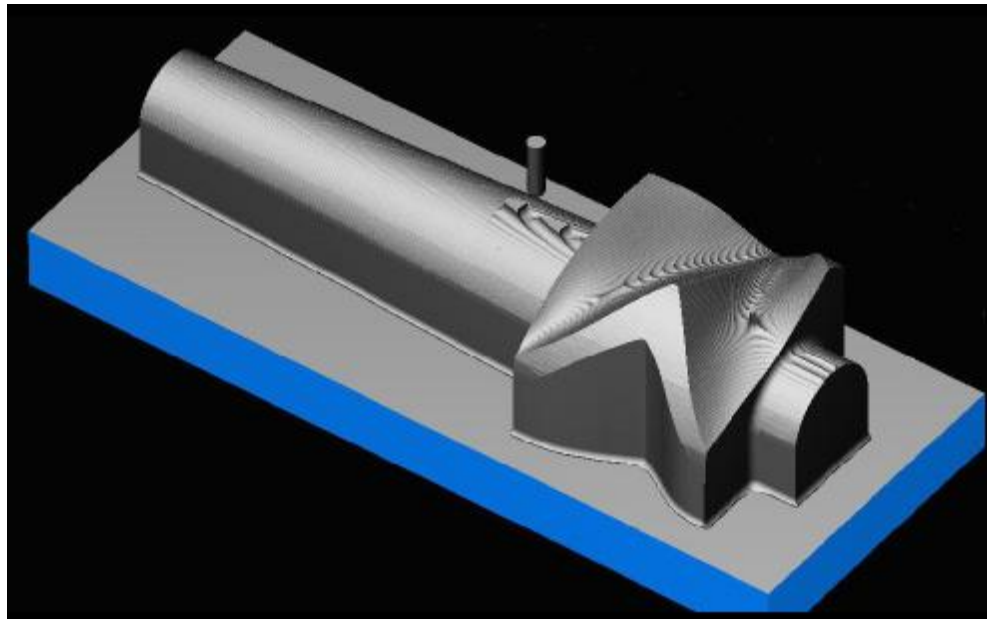
Obr. 22. Simulace hrubování první strany modelu

Po hrubování následovalo dokončovací obrábění Z finish. Jako nástroj byla zvolena kulová fréza o průměru 4 mm a to z důvodu potřeby vytvoření zaoblení na modelu o rozměru 2 mm. I pro tento krok byla provedena verifikace.



Obr. 23. Simulace dokončovacího obrábění první strany modelu

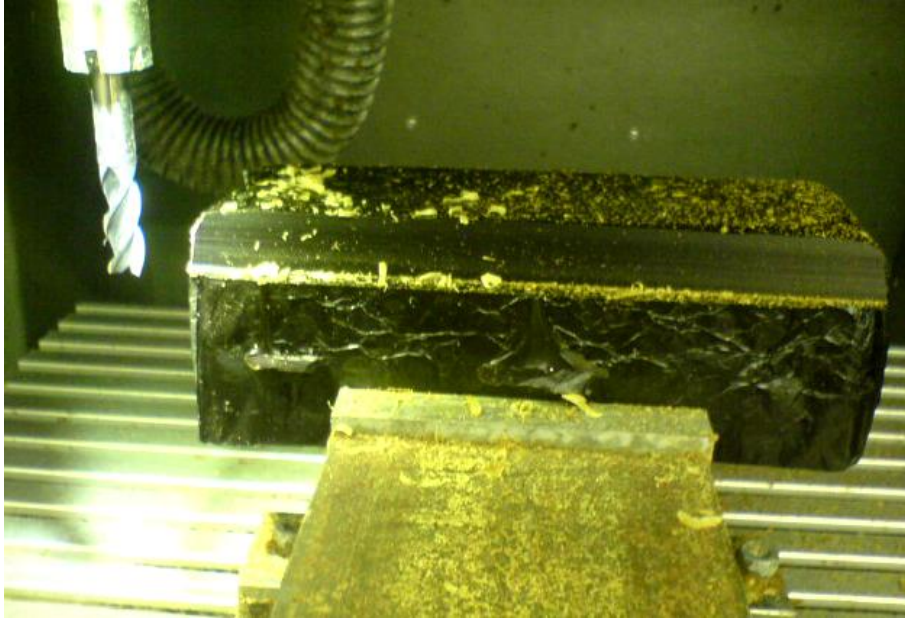
Z důvodu časové úspory při obrábění bylo zvoleno velké krokování. K úpravě takto obrobeného povrchu bylo dále zvoleno planární obrábění. Nástroj zůstal stejný jako při předchozí operaci. Následovala verifikace.



Obr. 24. Simulace planárního obrábění první strany modelu

Obrábění modelů hnětadel z první strany

Plochy odlitku nebyly dostatečně rovné, aby je bylo možné bezpečně upnout do svěráku. Z tohoto důvodu byl odlitý vosk po obou stranách srovnán. Za orovnané plochy byl vosk upnut do svěráku a nyní bylo možno obrábět první stranu hnětadla.

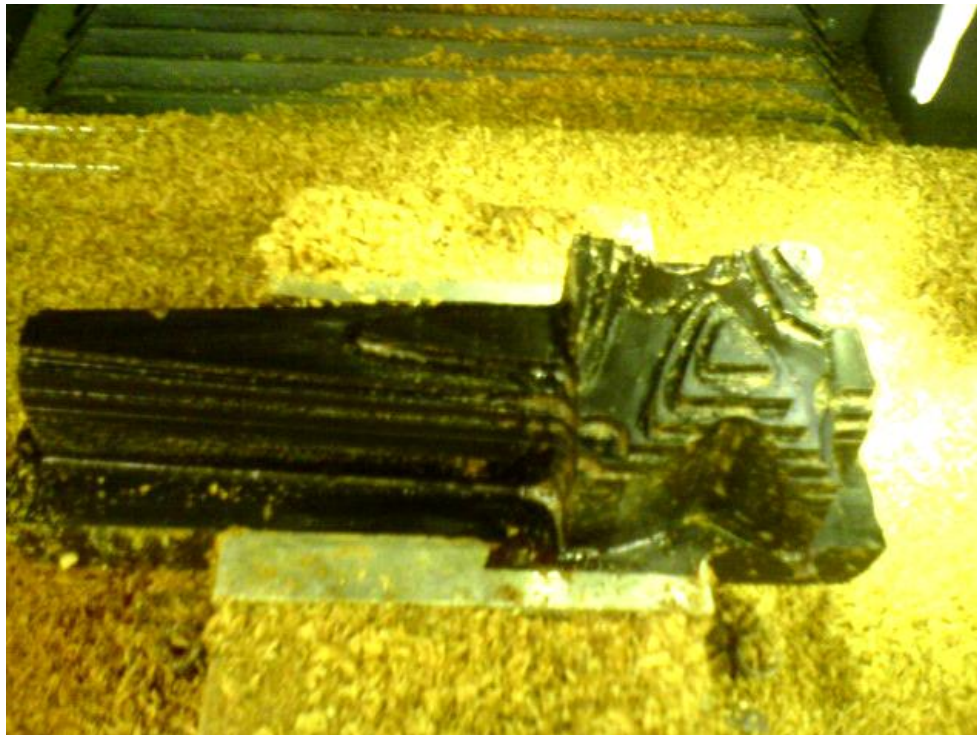


Obr. 25. Orovnání odlitého vosku

Po upnutí nástroje pro hrubovací operaci byly nastaveny nulové body v ose x, y a z.
Po nastavení nulových bodů mohl být spuštěn program pro hrubování.



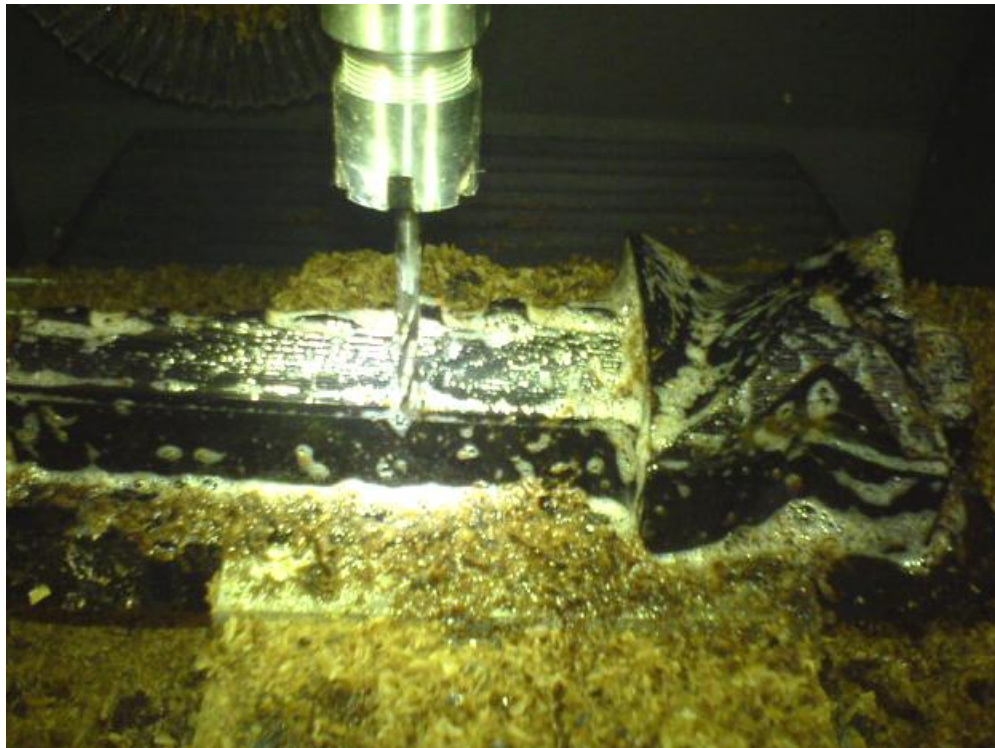
Obr. 26. Hrubování první strany modelu



Obr. 27. Vyhrubovaná první strana modelu

Po hrubování byl upnut nástroj pro dokončovací operace Z finish a planární obrábění. Výška nástroje se tímto krokem změnila a bylo potřeba opakovat nastavení nulového bodu v ose z pro nový nástroj.

Při dokončovacím obrábění se začal vosk na nástroj lepit a vznikl nekvalitní povrch. Nástrojem byla čtyřbřitá kulová fréza. Mezi nástrojem a voskem vznikali třecí síly, které měly za následek zvýšení teploty na tolik, že se vosk natavoval. Dvoubřitý nástroj nebyl k dispozici. Vzniklý problém byl odstraněn improvizovaným chlazením. Chlazení se provádělo ručně, nanášením směsi tekutého mýdla s vodou štětcem přímo na povrch obrobku.



Obr. 28. Dokončovací obrábění první strany modelu hnětadla

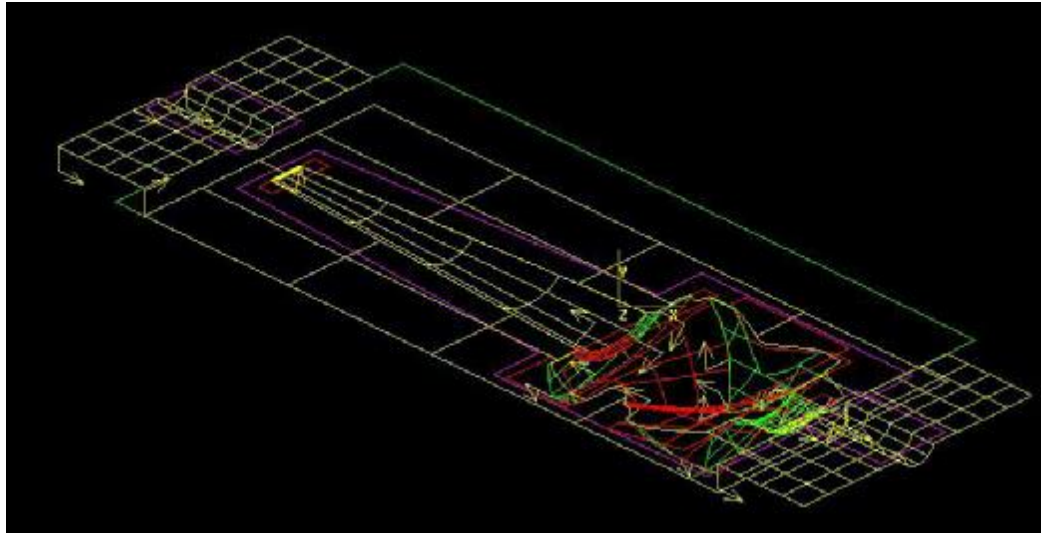
Výroba všech částí přípravku pro upnutí modelu

Všechny části přípravku jsou:

- přípravek z PU bloku
- dvě dřevěné desky s dírami pro umístění vrutů
- čtyři vruty
- dva kolíky z duralu o průměru 10 mm

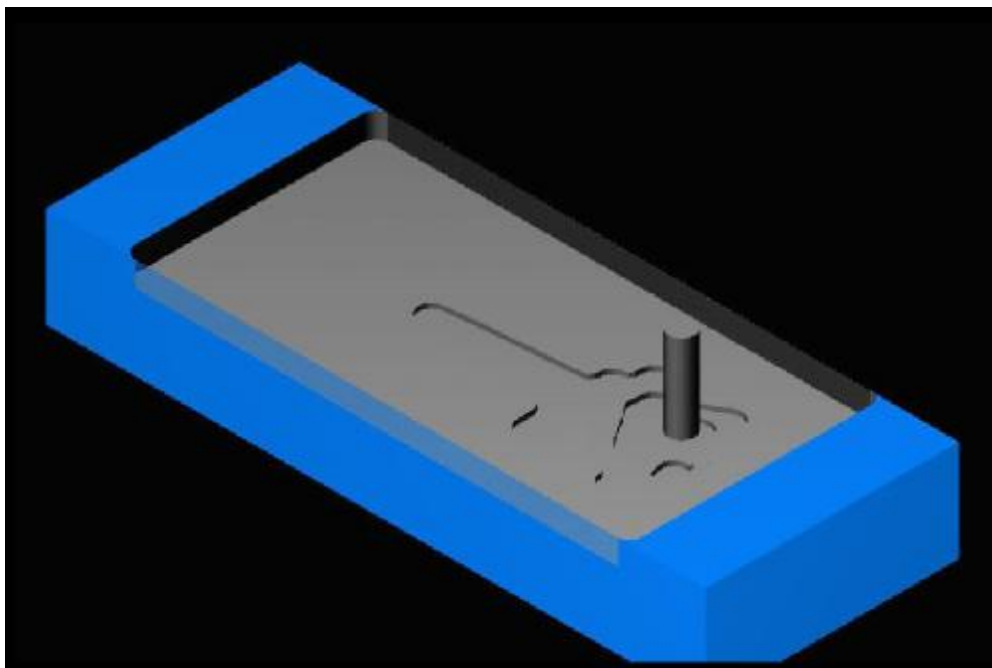
Vytvoření CNC kódu pro přípravek

Při výrobě přípravku byl nejprve vytvořen CNC program v Surfcamu 2000 pro vyfrézování negativní plochy hnětadla zvětšené o drážky v místech ostrých hran modelu hnětadla, tak aby se hrany při ustavení do přípravku nedeformovaly, a drážky, které sloužily k přesnému ustavení kolíků.



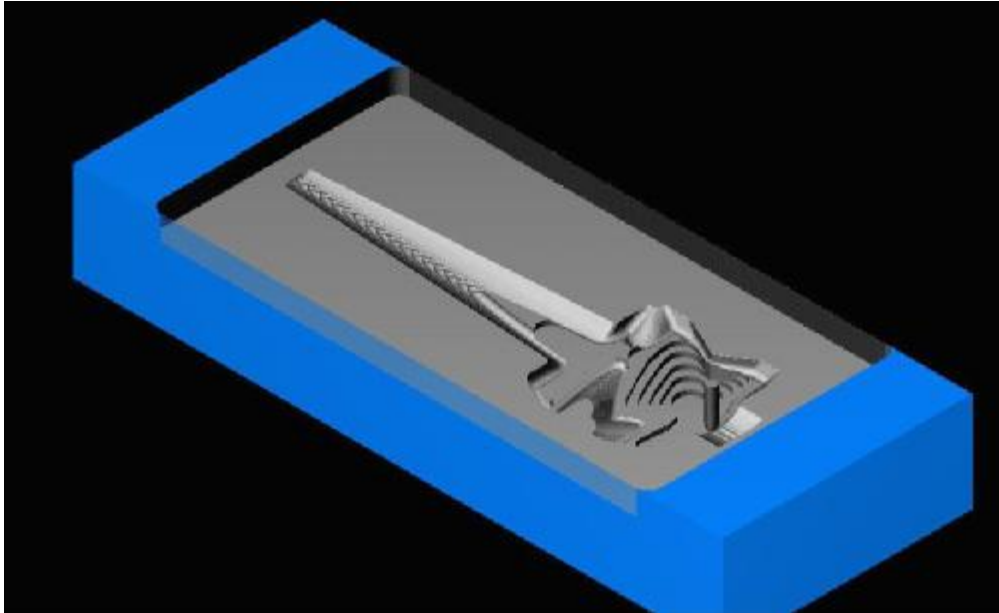
Obr. 29. Tvar přípravku v programu Surfcam 2000

Přípravek byl nejprve hrubován válcovou frézou o průměru 10 mm. Pro tento krok byla provedena verifikace.

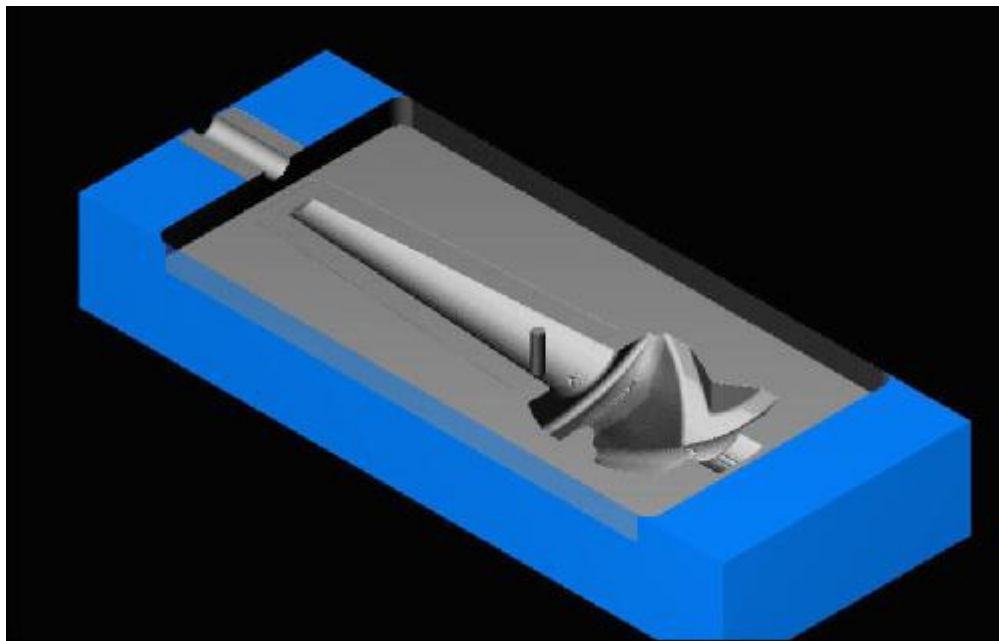


Obr. 30. Hrubování přípravku

Po hrubování následovala dokončovací operace Z finish a planárního obrábění. Nástrojem byla kulová fréza o průměru 4 mm. Pro oba kroky byla provedena verifikace.

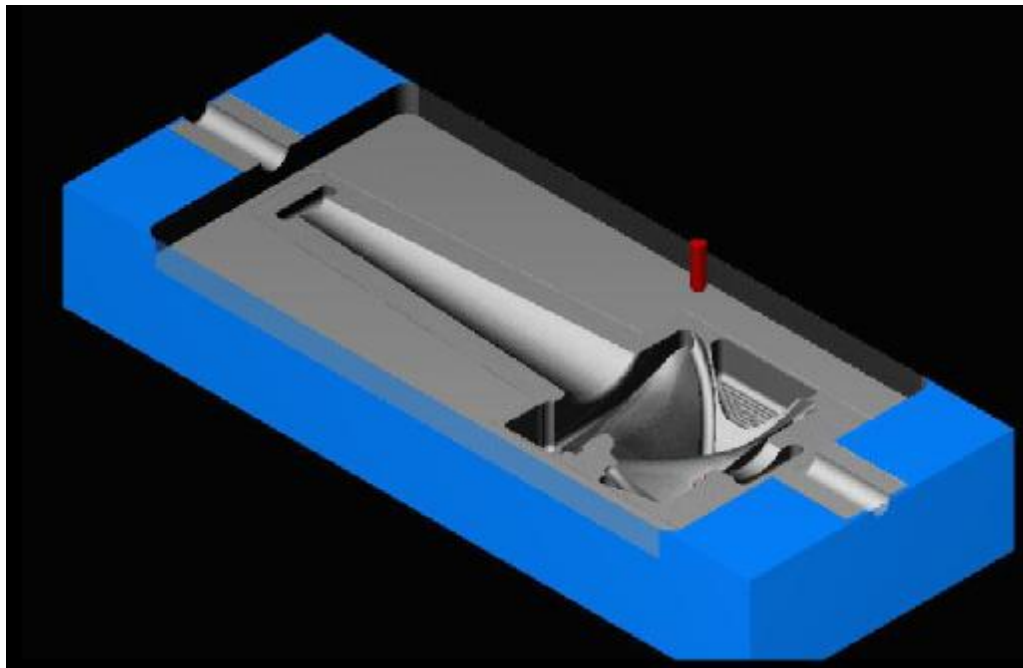


Obr. 31. Simulace dokončovacího obrábění přípravku



Obr. 32. Simulace planárního obrábění přípravku

Po dokončovacích operacích následovalo frézování drážek. Nástrojem byla opět kulová fréza o průměru 4 mm. Byla provedena verifikace.



Obr. 33. Simulace obrábění drážek na přípravku

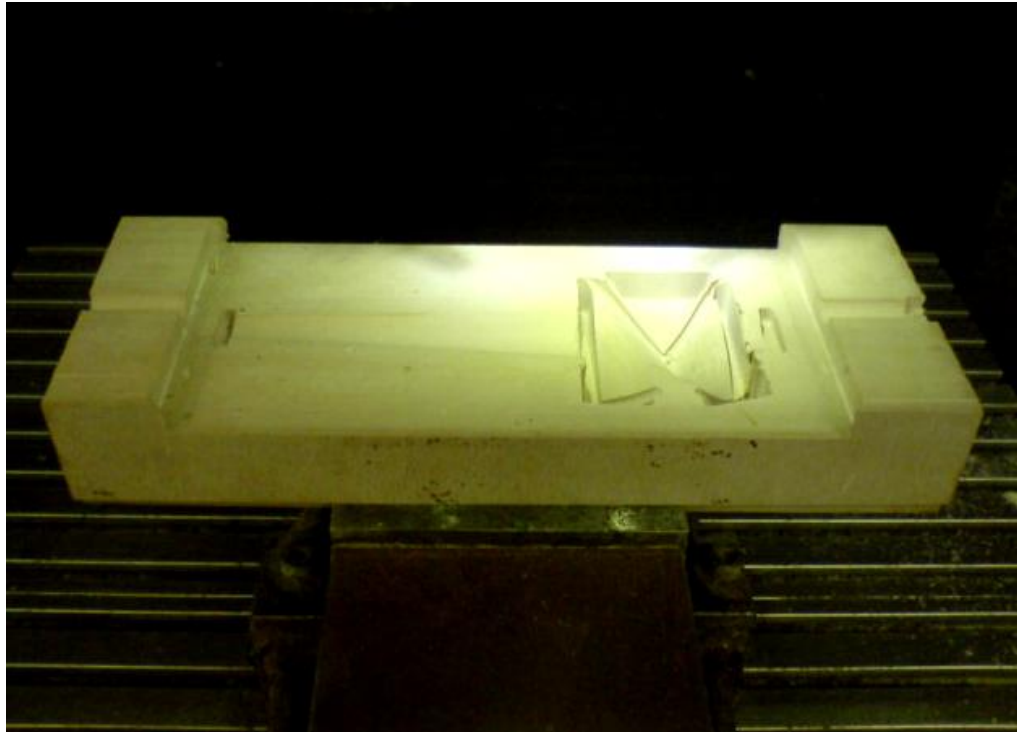
Obrábění přípravku

Nejprve byl uřezaný PU blok, na frézce srovnán a byly vytvořeny plochy, za které se blok pro frézování přípravku upnul do svěraku.

Po upnutí PU bloku bylo válcovou frézou najeto na místo, kde byly nastaveny souřadnice v osách x, y a z. Hodnoty těchto souřadnic byly zadány do řídicího programu.

Jakmile byly definovány souřadnice, mohlo být na stroji spuštěno hrubování přípravku.

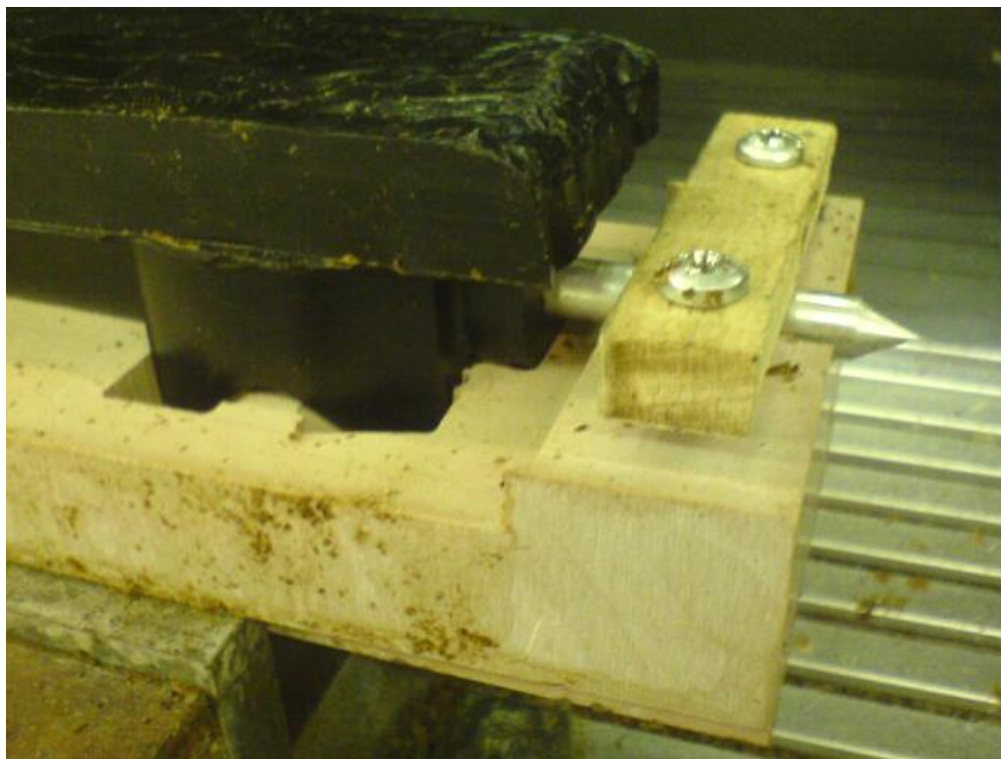
Po hrubování byl vyměněn nástroj a dále se pracovalo s kulovou frézou o průměru 4mm. Pro nový nástroj byla nastavena souřadnice v ose z. Následovalo dokončovací obrábění, planární obrábění a obrábění drážek.



Obr. 34. Vyfrézovaný přípravek

Po vyfrézování tohoto tvaru byly vyrobeny čtyři díry pro našroubování vrutů. Byly vyrobeny dvě dřevěné desky, ve kterých byly vyvrtány díry pro vruty.

Do modelů hnětadel obroběných z jedné strany byly vyvrtány díry pro kolíky. Díry bylo potřeba vyvrtat dostatečně přesně tak, aby při stáhnutí modelu přes kolíky nevznikly pnutí na modelu praskliny. Po vyvrtání děr byl model uložen do přípravku, do děr byly vloženy kolíky. Do dřevěných desek byly vloženy vruty. Desky byly položeny na kolíky a vruty byly zašroubovány do přípravku. Jakmile byl model upnut, začalo frézování druhé strany hnětadla.

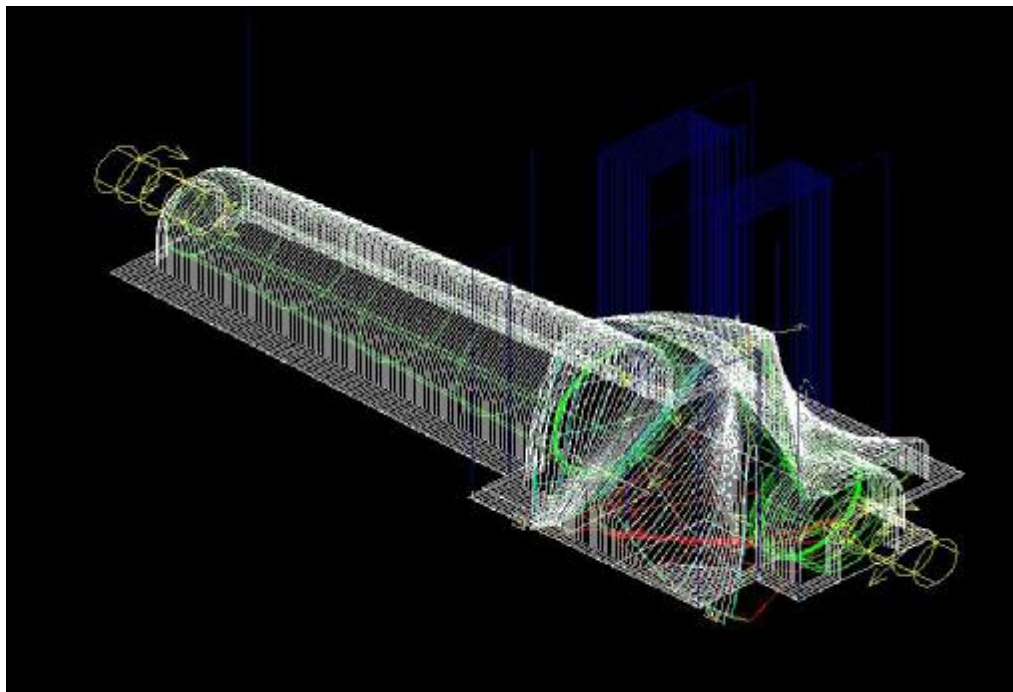


Obr. 35. Upnutí pro výrobu druhé strany modelu hnětadla

Frézování druhé strany modelu hnětadla

Vytvoření CNC kódu pro první stranu modelu

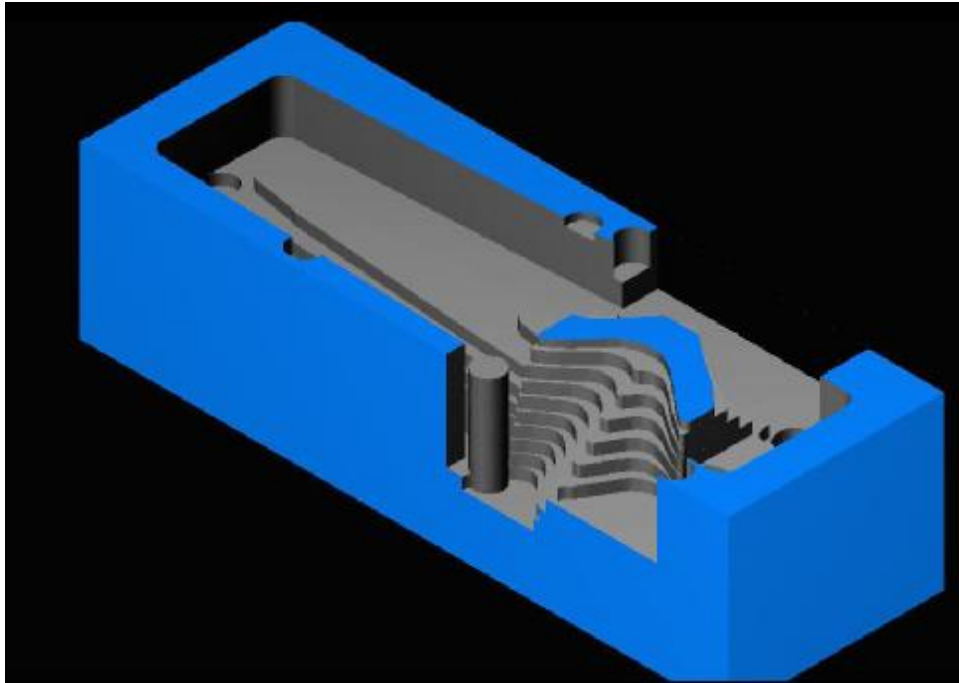
CNC kód byl opět vytvořen v programu Surfcam 2000. Nejprve byl model hnětadla ve formátu IGS převeden ze Solidworksu 2006 do Surfcamu 2000.



Obr. 36. Pohled na druhou stranu modelu hnětadla v Surfcamu 2000

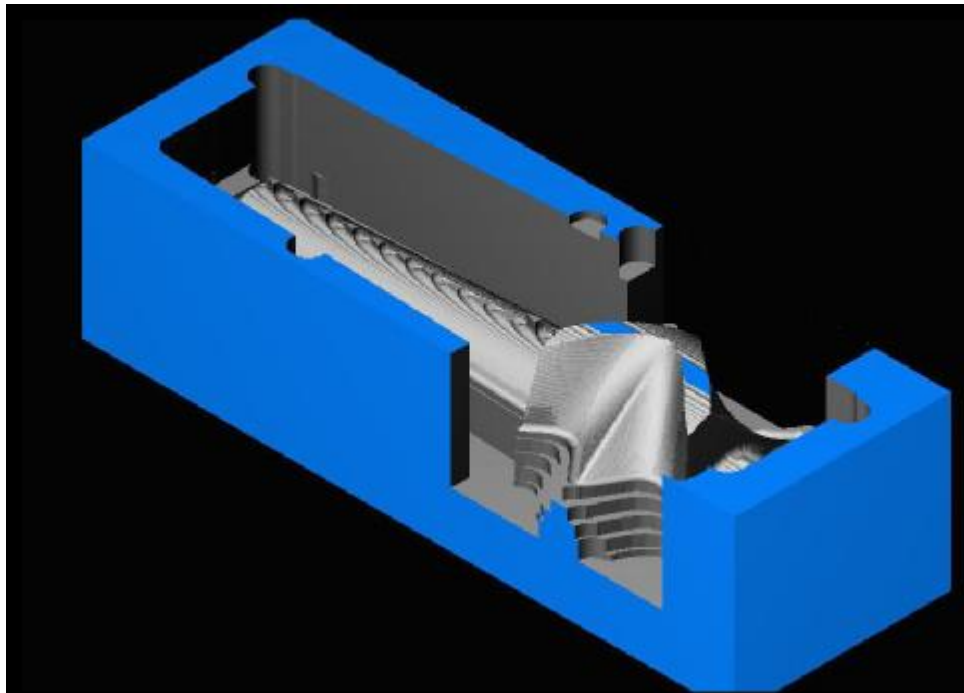
Postup obrábění byl stejný jako u první strany hnětadla včetně nástrojů. První krokem při obrábění bylo opět hrubování válcovou frézou o průměru 10 mm. Pro tento krok byla provedena verifikace operace, aby byly odhaleny případně kolize při procesu obrábění.

Řezné parametry zůstaly stejné jako při obrábění první strany modelu hnětadla.



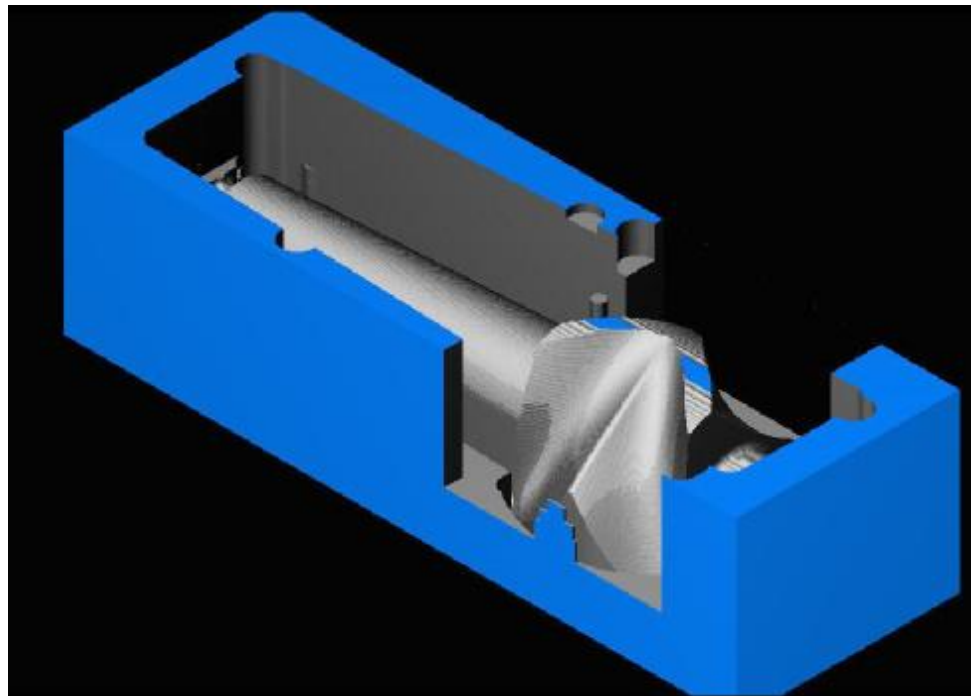
Obr. 37. Simulace hrubování druhé strany modelu

Po hrubování následovalo dokončovací obrábění Z finish kulovou frézou o průměru 4 mm. I pro tento krok byla provedena verifikace.



Obr. 38. Simulace dokončovacího obrábění druhé strany modelu

Z důvodu časové úspory při obrábění bylo zvoleno velké krokování. Aby byl vyrobený povrch vyhovující, po dokončovacím obrábění se zvolila operace planárního obrábění. Nástroj zůstal stejný jako při předchozí operaci. Následovala verifikace.



Obr. 39. Simulace planárního obrábění druhé strany modelu

Obrábění modelů hnětadel z druhé strany

Po upnutí nástroje pro hrubovací operaci byla nastavena souřadnice v ose z. Nulové body v ose x a y byly pevně dány již při výrobě přípravku a po celou dobu frézování modelů hnětadel z druhé strany nebyly měněny. Po nastavení souřadnice v ose z mohl být spuštěn hrubovací program pro druhou stranu modelu.

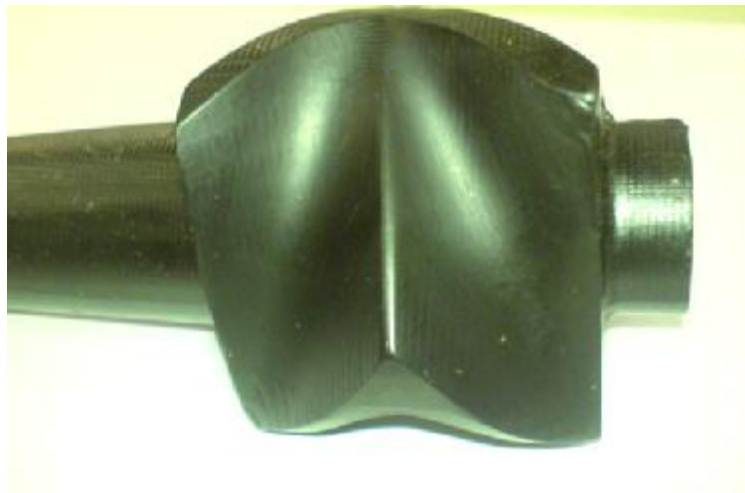
Po hrubování byl upnut nástroj pro dokončovací obrábění Z finish a planární obrábění. Výška nástroje se tímto krokem změnila a byla potřeba opakovat nastavení souřadnice v ose z pro nový nástroj.



Obr. 40. Dokončovací obrábění druhé strany modelu hnětadla

Finální úpravy na hnětadlech

Výhodou práce s voskem je, že se případné nedokonalosti, nebo úlomky vzniklé při frézování, daly snadno zapravit natavením vosku a ručním dohlazením. Tvarové plochy hnětadla se vyhlazovaly. Větší nerovnosti byly zaškrabávány pomocí skalpelu. Vyhlazování menších nerovností bylo prováděno ručním leštěním pomocí technického benzínu naneseným na textilu.



Obr. 41. Vyhlazená funkční plocha modelu hnětadla



Obr. 42. Voskové modely hnětadel

7 VÝROBA ODLITKŮ

Výroba odlévací formy

Zhotovené voskové modely hnětadel byly dodány do SPO spol.s r.o. Zlín, kde byly podle firemní technologie spojeny do dvou stromečků po třech kusech. Stromečky byly postupně namáčeny do roztoku syntetické pryskyřice a obalovány křemenným pískem dokud nevznikla dostatečně silná samonosná skořepina.

Po zpolymerování pryskyřice byla forma s voskovým modelem umístěna do tunelové pece, kde došlo k vytavení vosku a dalšímu vytvrzení skořepiny.



Obr. 43. Vypálené skořepiny



Obr. 44. Pohled do vypálené skořepiny

Odlévání hnětadel

Hnětadla byla odlita dle firemní technologie z materiálu, který byl doporučen SPO spol. s r. o. Zlín. Doporučen byl materiál EKDY 422825, jedná se o litou ocel slévárny Kdynium Kdyně. Tvrdost tohoto materiálu po měkkém žhání je maximálně 225 HB a po zakalení je minimálně 60 HRC.



Obr. 45. Odlitky hnětadel

Opracování odlitků

Z odlitků byla dle firemní technologie mechanicky odstraněna skořepina. Skořepina se může z odlitku odstraňovat omíláním, otryskáváním a pískováním.

Obrábění odlitků

Odlitky byly soustruženy. Tvarové plochy hnětadel byly broušeny a leštěny. Výrobní výkres hnětadel je v příloze P II.

Tepelné zpracování

Mezi tepelné zpracování byla zahrnuta cementace a kalení. Pokud by byla potřeba vyšší odolnost proti abrazi je možnost nanést na funkční plochy povlak TiN, popřípadě TiC.

8 SHRUTÍ VÝSLEDKŮ

Tvar voskového modelu hnětadla byl získán reverzní inženýrskou metodou - nadigitalizováním existujícího tvaru hnětadla. Nadigitalizované rozměry byly upraveny na požadované, přidáním přídavků na smrštění odlitku, přídavků na obrábění a byl přidán licí vtok. Digitalizace byla provedena na CNC frézce HWT C-442 CNC. Nadigitalizované body byly upraveny v programu Cadkey. Získaná plocha byla převedena z Cadkey do programu Solidworks 2006 a v něm následně upravena. Tímto postupem byl získán potřebný tvar voskového modelu hnětadla.

Jako výrobní technologie byla zvolena výroba odléváním metodou vytavitelného vosku ve spolupráci se SPO spol. s r. o. Zlín. Místo výroby vstřikovací formy k výrobě voskových modelů byly modely hnětadla obrobena do vosku. Odlitím roztaveného vosku do vyrobené formy byl vyroben polotovar voskového modelu hnětadla. Voskové modely byly všechny obrobena z první strany a po vyrobení přípravku pro upnutí byly modely obrobena z druhé strany. Tvarové plochy modelů hnětadel byly ručně leštěny. Při obrábění vosku bylo zjištěno mnoho informací o chování tohoto materiálu. Vosk se lépe obráběl sousledným frézováním. Při obrábění vznikla potřeba vosk mazat a to hlavně při dokončovacím obrábění. Čím byla větší časová prodleva mezi odlitím vosku a frézováním tím byl vosk křehčí, při frézování se vosk více ulamoval. Déle odlitý vosk se naopak při frézování na nástroj méně lepil, mohly být voleny vyšší otáčky a posuvy. Kvůli ulamování vosku by bylo pro příště vhodné se vyhnout obrábění ostrých hran, které budou po odlití modelu obrobena, a hrany zesílit.

Vyrobena voskové modely byly v SPO spol. s r. o. Zlín spojeny do stromečku. Stromečky byly namáčeny do obalového materiálu až vznikla samonosná skořepina. Skořepina byla vytvrzena a vypálena. Do vypálené skořepiny byly odlity výrobky. Z odlitku byla skořepina mechanicky odstraněna. Odlitek byl na požadované rozměry třískově obrobena a tepelně zpracován. Tím byla vyrobena hnětadla, která lze ihned použít do upravené komory laboratorního hnětiče.

ZÁVĚR

Cílem bakalářské práce bylo zhotovit odlévací model hnětadla. Touto prací byla ověřena možnost kusové výroby voskových modelů. Pro zhotovení voskových modelů byla využita metoda reverzního inženýrství, která progresivně zkrátila potřebnou dobu na jejich přípravu a výrobu. Cestou přenosu dat byla vyloučeno zpracování výkresové dokumentace tvarových ploch a výkresová dokumentace potřebných technologických přípravků a jiných jindy nezbytných mechanismů.

Tímto způsobem byly ušetřeny finanční prostředky na výrobu složité vstřikovací formy pro výrobu voskového modelu. Dále byl podstatně zkrácen celkový čas výroby, kdy odpadla výroba vstřikovací formy.

Dosažené poznatky o výrobě touto technologií lze bez problémů aplikovat na většinu odlévaných dílů zejména při kusové a malosériové výrobě. S výhodou lze tuto metodu použít pro výrobu tzv. matečních modelů, které se používají v hromadné výrobě pro výrobu forem určené pro výrobu voskových modelů.

Výroba hnětadel byla touto prací dovedena do konce a vyrobená hnětadla jsou připravena na nainstalování do komory laboratorního hnětiče.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- (1) ŠPAČEK, Josef. Technologie gumárenská a plastikářská II [Skripta]. 1. vyd. Brno 1980. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta technologická.
- (2) FRANTA, Ivan a kol.. Gumárenská technologie II: Zpracování kaučukových směsí a vlastnosti pryže. 2. vyd. Praha 1969.
- (3) OTT, Rostislav. Stroje a zařízení v gumárenské a plastikářské technologii I [Skripta]. 1. vyd. Praha 1975. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta technologická ve Zlíně.
- (4) TOMIS, František. Základy gumárenské a plastikářské technologie [Skripta]. 2. vyd. Brno 1980. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta technologická.
- (5) DOŠKÁŘ, Josef., GABRIEL, Jan., HOUŠŤ, Miroslav., PAVELKA, Miroslav. Výroba přesných odlitků. 1. vyd. Praha 1976. SNTL – Nakladatelství technické literatury
- (6) HLUCHÝ, Miroslav., KOLOUCH, Jan., PAŇÁK, Rudolf. Strojírenská technologie 2 – 1. díl – Polotovary a jejich technologičnost. 1. vyd. Praha 1999. Scientia
- (7) KAŠTÁNEK, Otakar. Strojírenské materiály a technologie [Skripta]. 1. vyd. Brno 1980
- (8) DOŠKÁŘ, Josef., KAŠTÁNEK, Otakar. Přesné lití – Výroba přesných odlitků metodou vytavitelného modelu. 1. vyd. Praha 1961. SNTL – Nakladatelství technické literatury

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

Symbol	Jednotka	Název symbolu(zkratky) (zkratka)
CNC		Computer numeric control
CAD		Computer-aided design
ρ	kg	Hmotnost tekutiny
\vec{v}	m.s^{-1}	Vektor rychlosti
\vec{g}	m.s^{-2}	Vektor gravitačního zrychlení
$\frac{Dv}{Dt}$		Substanciální derivace rychlosti podle času
$\hat{\sigma}$	Pa	Tenzor napětí
c_p	$\text{J.kg}^{-1}.\text{K}^{-1}$	Měrné teplo
T	K	Teplota
$\frac{DT}{Dt}$		Substanciální derivace teploty podle času
\vec{q}	W.m^{-2}	Tepelný proud
SPO		Slévárna přesných odlitků
CAM		Computer-aided manufacturing

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1. Dvouválec	10
Obr. 2. Hnětací stroj typu Banbury (Werner a Pfeleiderer).....	13
Obr. 3. Různé typy míchadel a hnětadel	16
Obr. 4. Míchadla a hnětadla (pořadí shora naznačuje použitelnost podle rostoucí viskozity hmoty).....	19
Obr. 5. Licí stroj s teplou tlakovou komorou	24
Obr. 6. Postup lítí kovů pod tlakem na licím stroji se svislou studenou tlakovou.....	25
Obr. 7. Princip odstředivého lítí v jednonásobné formě.....	26
Obr. 8. Postup výroby skořepinových forem	27
Obr. 9. Postup výroby obalovým způsobem	29
Obr. 10. Hnětadlo upnuté v přípravku připravené na digitalizaci.....	36
Obr. 11. Digitalizace bodů hnětadla.....	37
Obr. 12. Sejmuté body jedné plochy hnětadla.....	38
Obr. 13. Sejmuté body všech tvarových ploch hnětadla.....	38
Obr. 14. Sejmuté body jedné strany spojené v křivky.....	39
Obr. 15. Výsledné křivky všech stran.....	39
Obr. 16. Výsledné plochy.....	40
Obr. 17. Konečný tvar modelu hnětadla zvětšený o přídavky.....	41
Obr. 18. Tavení vosku v sušárně.....	43
Obr. 19. Forma připravená k odlévání vosku.....	44
Obr. 20. Vosk připravený k obrábění.....	44
Obr. 21. Pohled na první stranu modelu v Surfcamu 2000.....	45
Obr. 22. Simulace hrubování první strany modelu.....	46
Obr. 23. Simulace dokončovacího obrábění první strany modelu.....	46
Obr. 24. Simulace planárního obrábění první strany modelu.....	47
Obr. 25. Orovnání odlitého vosku.....	48

Obr. 26. Hrubování první strany modelu.....	48
Obr. 27. Vyhrubovaná první strana modelu.....	49
Obr. 28. Dokončovací obrábění první strany modelu hnětadla.....	50
Obr. 29. Tvar přípravku v programu Surfcam 2000.....	51
Obr. 30. Hrubování přípravku.....	51
Obr. 31. Simulace dokončovacího obrábění přípravku.....	52
Obr. 32. Simulace planárního obrábění přípravku.....	52
Obr. 33. Simulace obrábění drážek na přípravku.....	53
Obr. 34. Vyfrézovaný přípravek.....	54
Obr. 35. Upnutí pro výrobu druhé strany modelu hnětadla.....	55
Obr. 36. Pohled na druhou stranu modelu hnětadla v Surfcamu 2000.....	56
Obr. 37. Simulace hrubování druhé strany modelu.....	57
Obr. 38. Simulace dokončovacího obrábění druhé strany modelu.....	57
Obr. 39. Simulace planárního obrábění druhé strany modelu.....	58
Obr. 40. Dokončovací obrábění druhé strany modelu hnětadla.....	59
Obr. 41. Vyhlazená funkční plocha modelu hnětadla.....	60
Obr. 42. Voskové modely hnětadel.....	61
Obr. 43. Vypálené skořepiny.....	62
Obr. 44. Pohled do vypálené skořepiny.....	63
Obr. 45. Odlitky hnětadel.....	64

SEZNAM TABULEK

TAB. 1. Dosažitelná optimální tolerance	21
---	----

SEZNAM PŘÍLOH

P I : Výkres voskového modelu hnětadla

P II : Výrobní výkres hnětadla

PŘÍLOHA P I: VÝKRES VOSKOVÉHO MODELU HNĚTADLA

