Konstrukce vstřikovací formy

Dalibor Bajer

Bakalářská práce

2006

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická

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

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

Ve Zlíně, 29. 05. 2006 .....

podpis

ÚVOD 6

1 STUDIJNÍ ČÁST 7

1.1 VSTŘIKOVÁNÍ 7

1.1.1 Zpracování plastů vstřikováním 7
1.1.2 Rozdělení plastů 7
1.1.3 Rozdělení termoplastů 8
1.1.4 Vlastnosti polymerů 8
1.1.5 Zpracovatelské podmínky plastů 9
1.1.6 Volba termoplastu při návrhu součástí 10
1.1.7 Konstrukce výstřiku 10
1.1.8 Průběh vstřikovacího cyklu 11
1.1.9 Optimální cyklus vstřikovacího stroje 12
1.1.10 Charakteristika vstřikovacího stroje 13

1.2 FORMY PRO VSTŘIKOVÁNÍ PLASTŮ 14

1.2.1 Technické údaje potřebné pro výrobu forem 14
1.2.2 Konstrukce forem 16
1.2.3 Postup při konstrukci formy 17
1.2.4 Zaformování výstřiku 18
1.2.5 Dimenzování tvarové dutiny 18
1.2.6 Drsnost povrchu dutiny 19
1.2.7 Mechanické namáhání formy 20
1.2.8 Dovolené namáhání na otlačení 20
1.2.9 Namáhání opěrných desek 21
1.2.10 Vtokový systém 23
1.2.11 Studené vtokové systémy 24
1.2.12 Volba rozměrů vtokového kanálu 24
1.2.13 Volba rozměrů rozváděcích kanálů 25
1.2.14 Umístění ústí vtoků a typy vtoků 25
1.2.15 Horké vtokové systémy 27
1.2.16 Vyhazování výstřiku 28
1.2.17 Odvzdušnění formy 29
1.2.18 Temperace formy 30
1.2.19 Materiály používané při výrobě forem 31
1.2.20 Volba ocelí na formy 31

1.3 SHRNUTÍ STUDIJNÍ ČÁSTI 33

2 STANOVENÍ CÍLŮ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE 34

3 EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST 35

3.1 ÚDAJE O VÝROBKU 35

3.2 KONSTRUKCE FORMY 36

3.2.1 Volba násobnosti formy 36
3.2.2 Zaformování výstřiku 37
3.2.3 Vyhazovací systém 37
3.2.4 Výroba dutiny formy 39
3.2.5 Vtokový systém 42
3.2.6 Temperace formy 42

3.3 MECHANICKÁ ANALÝZA OPĚRNÉ DESKY FORMY 45

3.3.1 Početní řešení průhybu opěrné desky 45
3.3.2 Početní řešení ohybového napětí opěrné desky 46
4 DISKUSE VÝSLEDKŮ 48
4.1 MECHANICKÁ ANALÝZA FORMY 48
4.2 KONSTRUKCE FORMY 48
ZÁVĚR 50
PŘEHLED POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK 51
PŘEHLED POUŽITÉ LITERATURY 52
SEZNAM PŘÍLOH 53
SEZNAM OBRÁZKŮ 54

ÚVOD

V dnešní době, kdy je velké množství výrobků vyráběných z konvenčních druhů materiálů (kov, dřevo, keramika, vlna, bavlna, sklo..atd.) nahrazováno výrobky plastovými, vzrůstá tlak na kvalitu technologií zabývajících se zpracováním plastů.

Jednou z nejvíce používaných technologií je vstřikování termoplastů. Provádí se na vstřikovacích strojích, jejichž nedílnou součástí je forma.Vstřikovací forma dává tavenině plastu výsledný tvar, vzhled a povrchovou kvalitu konečného výrobku. Měla by zajistit jeho celkovou stabilitu a zachování požadované funkčnosti. Musí odolávat vysokým tlakům, poskytovat výstřiky o přesných rozměrech, umožnit snadné vyjmutí výstřiku.

Jejich konstrukce je proto náročná.

Konstrukce vstřikovací formy se řeší pro každý technologický projekt zvlášť .Konstruktér má k dispozici jednotlivé normalizované části formy. Jednotlivé části formy volí především podle druhu vstřikovaného materiálu a složitosti výrobku. Samozřejmě záleží na více aspektech jako je například velikost výrobní série.

Pro urychlení, zkvalitnění a zjednodušení konstrukce forem se používají nejrůznější softwarová zařízení.

Ta umožňují kreslení a následné zkoušení již zkonstruované formy. Tím se zamezuje výrobě chybných, nebo dokonce nefunkčních součástí forem.

1 STUDIJNÍ ČÁST

1.1 Vstřikování

1.1.1 Zpracování plastů vstřikováním

Vstřikování plastů je tepelně - mechanický proces tváření, na kterém se podílí :

- Výchozí materiál, ze kterého se vyrábí požadovaná součást.
- Výrobní cyklus, který se skládá ze vstřikovacího stroje se zařízením umožňujícím přípravu taveniny a její dopravu do formy.
- Forma jako nástroj pro vlastní tváření taveniny na součást .

Všechny uvedené faktory ovlivňují užitné vlastnosti a kvalitu výstřiku.Vlastní výroba vstřikováním pak probíhá nadávkováním a plastikací polymeru ve vstřikovacím stroji . Poté se dopravuje za určitého tlaku a teploty do dutiny formy. Po ochlazení se z formy vyjme hotový výrobek.

1.1.2 Rozdělení plastů

Plasty jako materiál jsou látky, jejichž struktura je tvořena makromolekulárními řetězci. Jsou rozděleny na dva základní druhy:

– Termoplasty - které mají řetězce přímé tzv. lineární polymery, nebo řetězce s bočními větvemi, tzv. rozvětvené polymery. Při ohřevu se uvolní soudržnost řetězců a hmota je viskózní. V tomto stavu se může tvářet. Po ochlazení se dostanou opět do původního pevného stavu.

– Reaktoplasty - mají v konečné fázi zpracování řetězce příčně propojeny chemickými vazbami a vytváří prostorovou trojrozměrnou síť. Při ohřevu tato síť zvětšuje svoji pohyblivost, ale řetězce se zcela neuvolní. Při tváření vlivem teploty a tlaku nastává zesíťování neboli vytvrzování plastu.

Při nadměrném ohřevu u obou druhů polymerů se přetrhají chemické vazby, hmota se rozruší a ztrácí pevnost. Tomuto procesu říkáme degradace. Proces je nevratný a další zpracování takto degradované hmoty je bezpředmětné.

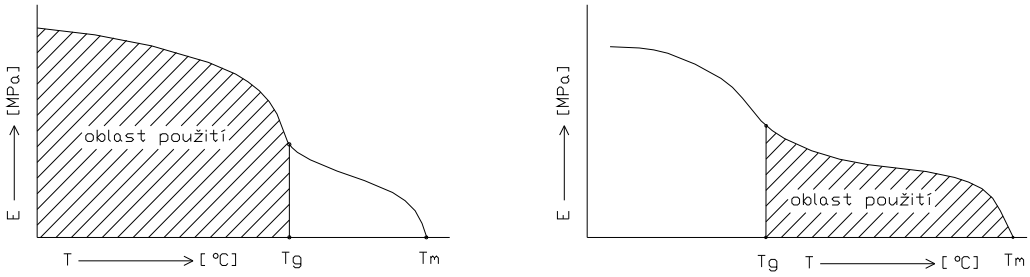
1.1.3 Rozdělení termoplastů

Tyto lineární či rozvětvené polymery, jejichž řetězec tvoří jen jeden druh základní chemické skupiny, nazýváme homopolymery. Dále kopolymery, které jsou složeny z více druhů základních chemických skupin. Z hlediska vnitřní struktury se termoplasty dělí:

- amorfní - jejichž řetězce jsou nepravidelně prostorově uspořádané
- semikrystalické – u nichž je podstatná část řetězců pravidelně a těsně uspořádána a tvoří krystalické útvary. Zbytek má amorfní uspořádání.

Využitelnost výrobků z amorfních plastů je v oblasti pod teplotou skelného přechodu (Tg). Polymer je v tomto stavu pevný. Zvyšováním teploty nad Tg postupně slábnou kohezní síly mezi makromolekulami a plast přechází do plastické oblasti až do viskózního stavu, kdy se zpracovává. Se zvyšováním teploty současně narůstá i objem polymeru.

U semikrystalických plastů jsou části molekul vázány pevněji v lamelách a ve sférolitech krystalické fáze. Zvyšováním teploty se nejprve uvolní část molekul z amorfní oblasti, potom i ostatní. To je doprovázeno značným nárůstem objemu. Použití tohoto typu plastu je v oblasti nad teplotou Tg, protože nad touto teplotou mají vhodnou kombinaci pevnosti a houževnatosti.



Obr. 1. Oblasti využití u amorfních a semikrystalických plastů

1.1.4 Vlastnosti polymerů

Základní vlastnosti polymerů se mohou měnit i vlivem nejrůznějších přísad a tím určovat vhodnost jejich použití.

Jako přísady se používají:

- Plniva prášková nebo vláknitá: Svým charakterem mění především fyzikální i mechanické vlastnosti plastu.
- Změkčovadla: Přidávají se k některým tvrdým polymerům pro získání měkkosti a ohebnosti.
- Barviva: Slouží pro dosažení požadované barvy.
- Stabilizátory: Zlepšují některé vlastnosti plastu jako např. odolnost proti vyšším teplotám při jejich zpracování, proti UV záření, stárnutí apod.
- Nadouvadla: Uvolňují při zpracování plyny a vytváří tak lehčenou strukturu plastu se svými zvláštními vlastnostmi.

Vlastnosti polymerů a tím jeho použití můžeme hodnotit v zásadě ze dvou hledisek.

Z hlediska funkčního se hodnotí především:

- Elektrické vlastnosti jako je dielektrická pevnost, vodivost atd.
- Mechanická pevnost při dlouhodobém nebo krátkodobém statickém i dynamickém zatížení.
- Chemická odolnost proti různým chemickým činidlům.
- Optické vlastnosti jako je průhlednost, barva, lesk, apod.

Ze zpracovatelského hlediska:

- Tekutost, která ovlivňuje tloušťku stěny výrobku, koncepci zaformování i velikost vtoků. Tím je také ovlivněna temperace formy.
- Velikost smrštění určuje výrobní přesnost výrobku.
- Citlivost na technologické parametry výrobního zařízení apod.

1.1.5 Zpracovatelské podmínky plastů

Technologické podmínky mají velký vliv na výsledné vlastnosti hotového výrobku. Zpracovatelské parametry (teplota, tlak, časové prodlevy) jsou určující pro některé rozměry a také pro mechanické a fyzikální vlastnosti. Při vstřikování termoplastů také dochází ve vtokových kanálech a tvarových dutinách forem k orientaci makromolekul

a jejich řetězce se srovnávají ve směru proudění taveniny. Po ztuhnutí jsou orientované molekuly příčinou anizotropie hmoty. Vedou také ke vzniku vnitřního pnutí a nepravidelnému smrštění.

U semikrystalických termoplastů se podmínkami při zpracování dá ovlivnit obsah krystalinity a velikost krystalů. To znamená vyšší krystalinitu, vyšší pevnost, zvýšený modul pružnosti i ostatních činitelů. Proto všechny hodnoty udávané v tabulkách jsou jen středním průměrem hodnot získaných při dodržení optimálních zpracovatelských podmínek.

1.1.6 Volba termoplastu při návrhu součástí

Při návrhu vhodného termoplastu pro konstruovanou součást je třeba uvážit konkrétní podmínky jejího provozního zatížení i celkového využití. Taková součást musí mít mimo požadovaných fyzikálních a mechanických vlastností také k výrobě vhodný tvar s dosažitelnými rozměry i jakostí povrchu.

Optimální volba plastu se pak posuzuje z následujících podmínek:

- Funkce součásti musí splňovat definované požadavky.
- Zvolená technologie výroby součásti musí být reálná, na určeném stroji snadno realizovatelná, při dodržení požadovaných parametrů.
- Volba plastu musí být ekonomická z hlediska technologie výroby součásti i formy.

Zhodnocením uvažovaných hledisek může konstruktér stanovit vhodný plast nebo i více podobných materiálů. Je třeba si také uvědomit, že správná volba plastu může být degradována nesprávným technologickým postupem.

Obecně platí, že tvar výrobku a jeho vlastnosti musí odpovídat použitému plastu a zvolené technologii.

1.1.7 Konstrukce výstřiku

Při tvorbě součásti z plastu musí konstruktér zvažovat co všechno se bude při vstřikování v dílu z plastu bude dít. To vyžaduje dobře znát technologii jejich zpracování.

Pro realizaci plastových součástí jsou dány určité meze konstrukčních tvarů a jejich vlastností, které by se neměly překročit, jinak vzniknou problémy při výrobě. Bez potřebných znalostí se jim lze jen obtížně vyhnout a docílit tak toho, aby vzniklá součást vyhovovala podmínkám výroby.

Všeobecně platí: Čím jednodušší je součást, tím výhodnější jsou její pevnostní podmínky, snadnější dodržení rozměrů, lacinější výroba formy a tím i jednodušší výroba výstřiků. Ve skutečnosti je však vždy třeba hledat kompromis mezi vznesenými požadavky.

Součásti z plastů nelze vyrobit v takových jakostech jako kovové součásti. Je to tím, že na plastové výrobky působí během zpracování, ale i dodatečně množství nejrůznějších činitelů. Jsou to materiály, výrobní technologie, forma a její kvalita. Vlivem těchto činitelů se pak vyrobí výstřik jen určité kvality.

Hlavní činitelé, kteří ovlivňují jakost výrobku:

- Smrštění při zpracování, které ovlivní především přesnost výrobku.
- Dodatečné smrštění. Bývá několikanásobně menší, než smrštění při ochlazení ve formě. Probíhá delší dobu a jeho příčinou je pozvolné uvolňování vnitřního pnutí vzniklého při vstřikování.
- Tečení (creep) vznikne při větším dlouhodobém silovém zatížení součásti.
- Teplotní roztažnost. Je přibližně o řád větší než u kovů, je však změnou vratnou.
- Navlhavost. Změní se rozměry podle sorbce vody z okolí. Při vysušení se rozměry opět změní.

Velikost vlivů jednotlivých činitelů je velmi obtížné stanovit. Ovlivňují jej druh plastu, tvar součásti i zpracovatelské podmínky.

1.1.8 Průběh vstřikovacího cyklu

Vstřikovací cyklus se realizuje na vstřikovacím stroji. Připravený granulovaný plast se ve vstřikovacím stroji roztaví, zhomogenizuje a vstříkne do dutiny formy. Forma se musí před vstupem taveniny připravit.

Příprava spočívá v temperaci, vložení zálisků, závitových jader apod.

Temperace formy závisí na typu zpracovávaného platu, tvaru a tloušťce stěn výrobku.Vytemperovaná a upnutá forma ve stroji je uzavřena uzavírací silou. Její velikost je volena tak, aby byla forma zajištěna proti pootevření při vstřikovacím tlaku. Průběh uzavírání formy je rychlý, jen před stykem obou polovin formy se zpomalí. Po uzavření formy dojde k přísunu vstřikovací jednotky a vstřiku taveniny do formy. Po jeho skončení se vstřikovací jednotka vrátí do výchozí polohy.

V průběhu vstřikování se musí zvolit celá řada parametrů:

- Velikost dávky taveniny.
- Teplota taveniny.
- Velikost a doba působení vstřikovacího tlaku.
- Vstřikovací rychlost.
- Dotlak formy.
- Otáčky šneku a jeho zpětný odpor.
- Chladící čas.

Jednotlivé zpracovatelské parametry se při zkušebním provozu nastaví podle plastem požadované hodnoty, s korekcemi získaných zkušenostmi a s ohledem na tvar výstřiku, formy i celého vstřikovacího cyklu.

1.1.9 Optimální cyklus vstřikovacího stroje

Vyráběné množství výstřiků je ovlivněno především násobností formy. Produkci lze zvýšit i pomocí použité technologie vstřikování. To se projeví optimální délkou pracovního cyklu. Jeho délka je výsledkem všech časových průběhů technologických parametrů stroje i chladícího účinku formy.

Po uzavření formy ve stroji je plastifikovaná hmota požadované teploty vstříknuta do formy nastaveným tlakem při určité rychlosti. Tavenina zůstává pod tlakem v uzavřené formě, dokud se nezačne ochlazovat. Hned potom nastoupí dotlak, který skončí při částečném ochlazení plastu ve formě. Po skončení dotlaku se vstřikovací jednotka od

formy oddálí a začne v ní plastikace další dávky. Po dostatečném ochlazení výstřiku se forma otevře a výstřik se vyhodí. Po očištění a přípravě formy následuje další cyklus.

Časy jednotlivých technologických faktorů jsou ovlivněny nastavením stroje obsluhou.

1.1.10 Charakteristika vstřikovacího stroje

Existuje velký počet různých konstrukcí strojů, které se od sebe liší svým provedením, stupněm řízení, stálostí a reprodukovatelností jednotlivých parametrů, rychlostí výroby, snadnou obsluhou i cenou.

Konstrukce stroje je charakterizována podle:

- Vstřikovací jednotky.
- Uzavírací jednotky.
- Ovládání a řízení stroje.

Vstřikovací jednotka: Připraví a dopraví požadované množství roztaveného plastu s předepsanými technologickými parametry do formy. Maximální vstřikované množství nemá překročit 90% kapacity jednotky, protože je ještě nutná rezerva pro případné doplnění úbytku hmoty při chlazení (smrštění). Optimální množství je 80%.

Uzavírací jednotka: Ovládá formu a zajišťuje její dokonalé uzavření, otevření i případné vyprázdnění.

Velikost uzavírací síly je stavitelná a je přímo závislá na velikosti vstřikovacího tlaku, ploše dutiny a ploše vtoků v dělící rovině.

Hlavní části uzavírací jednotky jsou:

- Opěrná deska pevná
- Upínací deska
- Vodící sloupky
- Uzavírací mechanismus

Ovládání a řízení stroje: Stupeň řízení a snadná obsluha stroje je charakteristickým znakem jeho kvality.

Stálá reprodukovatelnost technologických parametrů je význačným a nutným faktorem. Pokud tyto parametry nepřiměřeně kolísají, projeví se tato nerovnoměrnost na přesnosti a kvalitě výroby výstřiků. Řízení stroje se proto musí zajistit vhodnými řídícími a regulačními prvky.

1.2 Formy pro vstřikování plastů

Forma dává tavenině po ochlazení výsledný tvar a rozměry výrobku, při zachování požadovaných fyzikálních a mechanických vlastností. Na formu jsou kladeny tyto požadavky:

Technické, které musí zaručit správnou funkci formy a zajistit požadovaný počet součástí v náležité kvalitě a přesnosti. Má také splňovat podmínku snadné manipulace a obsluhy při výrobě součásti.

Ekonomické, které mají zaručit její co nejnižší pořizovací cenu, snadnou a rychlou výrobu dílů při vysoké produktivitě práce.

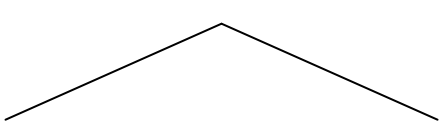
Společensko estetické, které vyžadují dodržení všech bezpečnostních zásad při konstrukci, výrobě i provozu formy.

1.2.1 Technické údaje potřebné pro výrobu forem

Pro zhotovení formy je nutné znát celou řadu technických údajů tak, aby realizace výroby byla úspěšná.

Musíme znát tyto technické údaje potřebné pro výrobu a konstrukci formy.

1.2.1.1.1 FORMA



KONSTRUKCE	VÝROBA
VÝKRES SOUČÁSTI	PŘÍPRAVÝROBY
NÁSOBNOST FORMY	VLASNÍ VÝROBA

TYP VSŘIKOVACÍHO STROJE TERMÍN ZHOTOVENÍ

ZVLÁŠTNÍ POŽADAVKY ODZKOUŠENÍ

– **Výkres součásti musí definovat**

Její tvar, rozměry, stupeň přesnosti a úchylek rozměrů, jakost povrchu, materiál součásti.

– **Násobnost formy**

Optimální volba násobnosti formy vyžaduje správné vyhodnocení jednotlivých činitelů, kteří ji ovlivňují.

Tito činitelé se posuzují z hlediska:

- charakteru a přesnosti výstřiku
- požadovaného množství výrobků
- velikosti a kapacitě vstřikovacího stroje
- ekonomiky výroby

Součásti tvarově náročné, které vedou ke složité formě, jako i velkorozměrové výstřiky, se většinou vyrábí v jednonásobných formách. Z hlediska kvality a přesnosti výstřiku je žádoucí, aby násobnost byla co nejmenší. Výroba rozměrově přesných součástí, vedle nepřesností jednotlivých tvarových dutin, zavádí také do produkce další faktor chyb. Další rozměrové nepřesnosti způsobuje nerovnoměrná teplota formy i plastu při plnění jednotlivých dutin, nestejné vstřikovací tlaky, rozdílné dráhy vtoků apod.

Velikost vstřikovacího stroje se svým plastikačním výkonem, vstřikovacím tlakem i uzavírací silou musí dostatečně a s rezervou naplnit bezpečně uzavřenou formu (dutiny i kanály). Požadovaná rezerva objemu taveniny i uzavírací síly je cca 20%.

– **Volba optimálního vstřikovacího stroje**

Vstřikovací stroj je významnou složkou pro dosažení kvalitních výstřiků. Jeho volbu ovlivňují:

- hmotnost a rozměry vyráběného dílu
- požadovaná přesnost a kvalita výstřiku

- velikost formy
- navržený stroj proto musí mít tyto parametry:
- dostatečnou vstřikovací kapacitu
- dostatečnou uzavírací sílu
- vhodnou koncepci stroje

Celková hmotnost výstřiku = hmotnost výstřiku x násobnost + hmotnost vtoků. Jakost a rozměry výstřiků jsou ovlivněny kvalitou vstřikovacího stroje. Kvalita stroje je pak dána jeho konstrukcí, reprodukovatelností a stálostí parametrů. Každý výrobce má jinou kvalitu stroje, proto je třeba volit vhodný stroj.

Nevhodnost nebo rozdíly v nedodržení potřebných parametrů snižují kvalitu výstřiku. To se projeví vznikem napětí ovlivňující rozměry, pevnost a životnost výstřiku.

– **Zvláštní požadavky na konstrukci formy**

Konstrukce a celá koncepce formy je dána požadavkem dobré funkce v podmínkách stanovení výroby. Záleží především na:

- požadavcích na jakost výstřiku
- ekonomice výroby
- požadovaném termínu výroby

Pokud pro zákazníka běžné požadavky nejsou vhodné, doplní je svými speciálními požadavky. Obvykle mají urychlit, zlepšit, případně zlevnit výrobu. Takovým zvláštním příslušenstvím bývá využití typizovaného rámu forem, nasazení vyhřívané trysky, vyšší automatizace při vstřikování, robotizace pracoviště apod.

1.2.2 Konstrukce forem

Vlastní konstrukci formy předchází konstrukční návrh formy. Je často vyžadován nejen jako podklad pro konstrukci, ale také pro posouzení pracnosti a stanovení nákladů na formu.

U formy se vyžaduje:

Vysoká přesnost a požadovaná jakost funkčních ploch zhotovené dutiny formy a ostatních funkčních dílů.

Maximální tuhost a pevnost jednotlivých částí formy i celku, pro zachycení potřebných tlaků.

Správná funkce formy, vhodný vtokový systém, vyhazování, odvzdušnění, temperování apod.

Optimální životnost zaručená konstrukcí, materiálem i výrobou.

Vyšší nároky na přesnost a jakost forem se projeví ve zvýšené pracnosti při jejich konstrukci i výrobě.

1.2.3 Postup při konstrukci formy

Výkres vyráběné součásti spolu s konstrukčním návrhem a dalšími doplňujícími údaji jsou podkladem pro konstruktéra forem. Vlastní konstrukce má pak následující postup:

1. Posouzení výkresu součásti z hlediska tvaru, rozměrů a tvářecích podmínek. Nezanedbat úpravy ostrých hran a rohů, které vyvolávají velké pnutí a obtížné plnění dutiny.

2. Určení, případně upřesnění dělící roviny součásti a způsob zaformování s ohledem na funkci a vzhled. Respektovat také směr a velikost potřebných úkosů. Zaformování musí odpovídat vhodnému umístění ústí vtoků a vyhazování z dutiny formy.

3. Dimenzování tvarových dutin a jejich uspořádání ve formě. Volba vhodného typu vtokového systému, velikost průřezů, tvaru a délky hlavního a rozváděcího kanálku a ústí vtoku.

4. Stanovení koncepce vyhazovacího a temperačního systému i odvzdušnění dutiny formy.

5. Navržení rámu formy s ohledem na danou typizaci, počet dutin, systém vyhazování i temperaci formy.

6. Vhodné uspořádání středění a upínání formy na stroj s ohledem na využití dostupných prostředků.

7. Kontrola funkčních parametrů formy, hmotnost výstřiku, jeho průmětnou plochu, vstřikovací a uzavírací tlak a další faktory s ohledem na použitý stroj.

8. Celá koncepce konstrukce vstřikovací formy musí směřovat k možné a snadné výrobní technologii dle stanovených požadavků.

1.2.4 Zaformování výstřiku

Správné zaformování výstřiku a vhodná volba dělící plochy náleží k rozhodujícím zásadám konstrukce formy. Umožňuje dodržet tvar a rozměry výstřiku i ekonomiku výroby. Vychází z konstrukčního řešení vyráběného dílu.

Dělící plocha (rovina) bývá zpravidla rovnoběžná s upínáním formy. Může však být i šikmá, nebo různě tvarovaná, případně vytváří u výstřiků s bočními otvory hlavní a vedlejší dělící roviny. Výroba formy s větším počtem dělících rovin je obtížnější. Je snaha se takovým tvarům vyhnout. Nepřesnost v dělící ploše může způsobit nedovření formy během plnění. To může způsobit vznik otřepů, nebo zvětšení rozměrů výstřiku ve směru uzavírání formy. Proto je třeba, aby dělící rovina:

- umožnila snadné vyjímání výstřiku z formy.
- měla jednoduchý geometrický tvar, byla snadno vyrobitelná a dobře slícovatelná.
- aby probíhala hranami výrobku
- byla umístěna tak, aby splňovala požadavek výroby přesných rozměrů
- stopa po dělící rovině nesmí být příčinou funkčních nebo vzhledových závad
- u více dělících ploch volit koncepci s ohledem na jejich nejmenší počet

Je třeba přihlédnout také k tomu, že dělící plocha hraje důležitou roli při odvzdušňování formy.

1.2.5 Dimenzování tvarové dutiny

Tvar a rozměry funkčních dílů, které jsou převážně umístěny v různých částech formy, tvoří po jejím uzavření tvarovou dutinu. Jejich dimenzování tvoří důležitou etapu

konstrukčního řešení. Chybně dimenzované rozměry se projeví v nedodržení rozměrů výstřiku. V případě, že se nejedná o rozměr s předepsanou tolerancí, lze tuto chybu někdy napravit úpravou technologických parametrů, někdy však jen nákladnou korekcí rozměrů formy.

Povrch a rozměry výstřiku jsou tedy dány přesností tvarové dutiny a kvalitou její plochy, která je obvykle složena z tvárnice, tvárníku, jader a tvarových vložek. Přesnost dutin se pohybuje v rozmezí IT 8 až IT 10 a ovlivňují ji tito tři činitelé.

- Smrštění plastu (provozní)
- Výrobní tolerance
- Opotřebení dutiny formy

Nejčastější příčinou chybného dimenzování rozměru je především nepřesný odhad smrštění daného rozměru v průběhu tavení plastu. Správný odhad velikosti (tzv. provozního) smrštění pro konkrétní rozměry dílů je někdy obtížné určit, neboť výpočetní smrštění se u složitějších výstřiků jen zřídka kdy kryje s hodnotou uváděnou v tabulkách výrobců plastů. Konstruktér je většinou odkázán na vlastní zkušenosti. Velikost smrštění ovlivňuje:

- Tvar výstřiku (rozměry a tloušťka stěn)
- Konstrukce formy (vtokový systém, poloha ústí vtoku, velikost jeho průřezu, temperace formy)
- Technologie vstřikování (tlak, teplota taveniny)

Způsob výroby formy, především dutiny, určuje její přesnost i výrobní toleranci. Opotřebení dutiny se odhaduje na 10 až 40 % z celkové tolerance výrobku.

1.2.6 Drsnost povrchu dutiny

Vedle rozměrů dutiny je význačným znakem i zhotovená jakost povrchu, která určuje vzhled výstřiku. Spolu s barevností plastu se docílí vzhledového využití výstřiku. Vysoké požadavky na jakost povrchu ovlivňují pracnost i funkci formy. Funkční plochy v dutině formy se vyrábějí jako:

– matné, jsou výrobně nejjednodušší. Výhodně překryjí některé vzhledové nedostatky jak při výrobě formy, tak i při vstřikování (studené spoje, tokové čáry...). Jsou obvykle výchozí plochou po elektroerozívním obrábění;

– lesklé, vyžadují nákladnou a náročnou technologii opracování dílů, které musí být z kvalitního materiálu. Na lesklém povrchu jsou zvýrazněny veškeré nedostatky výroby formy i výstřiku;

– dezénované, po celé dutině formy nebo jen její některé části, jde o speciální úpravu. Uvedená technologie vyžaduje také zhotovení součástí z kvalitního materiálu, s vhodným opracováním před dezénem.

1.2.7 Mechanické namáhání formy

Dobrá funkce formy vyžaduje mimo všeobecných konstrukčních zásad pro zaformování výstřiku i dostatečnou pevnost a tuhost. Při vstřikování je forma uzavřena uzavírací jednotkou vstřikovacího stroje silou F´. V dutině této formy působí vstřikovací tlak p_v. Konstrukce, materiál i dimenze formy musí zachytit vyvozené síly s dostatečnou pevností a tuhostí.

Některé funkční součásti formy se kontrolují v místech, kde by mohly nastat větší deformace než se připouští. Z hodnot získaných při kontrole je možné rozměry upřesnit. Vzorce a výpočty nejsou úplně přesné, ale pro požadovanou funkci dostatečné.

Taková nebezpečná místa mohou být u:

- slabostěnných tvárnic a tvárníků (kontrola pevnosti, průhybu..)
- u opěrných funkčních desek
- při vysokých vstřikovacích tlacích na styčných plochách

1.2.8 Dovolené namáhání na otlačení

Styčné plochy jednotlivých dílů formy jsou zatíženy uzavírací silou vstřikovacího stroje, díly v dutině formy a její povrch zase vstřikovacím tlakem. Na silně namáhaných místech vznikne v materiálu napětí, které může překročit dovolenou mez.

Takovými místy bývají styčné plochy tvárníků, vyhazovačů, rozpěrek, dělicí rovina apod. Pro zjištění takových hodnot napětí platí následující vztahy:

Pro díly namáhané uzavírací silou vstřikovacího stroje:

$$\sigma_o = \frac{F'}{S_o} \leq \sigma_o dov. \quad [MPa] \qquad (1)$$

Pro díly namáhané vstřikovacím tlakem:

$$\sigma_o = \frac{P_v}{S_o} \leq \sigma_o dov. \quad [MPa] \qquad (2)$$

σ_o... zjištěné namáhání na otlačení [MPa]

$\sigma_o dov$... dovolené namáhání na otlačení [MPa]

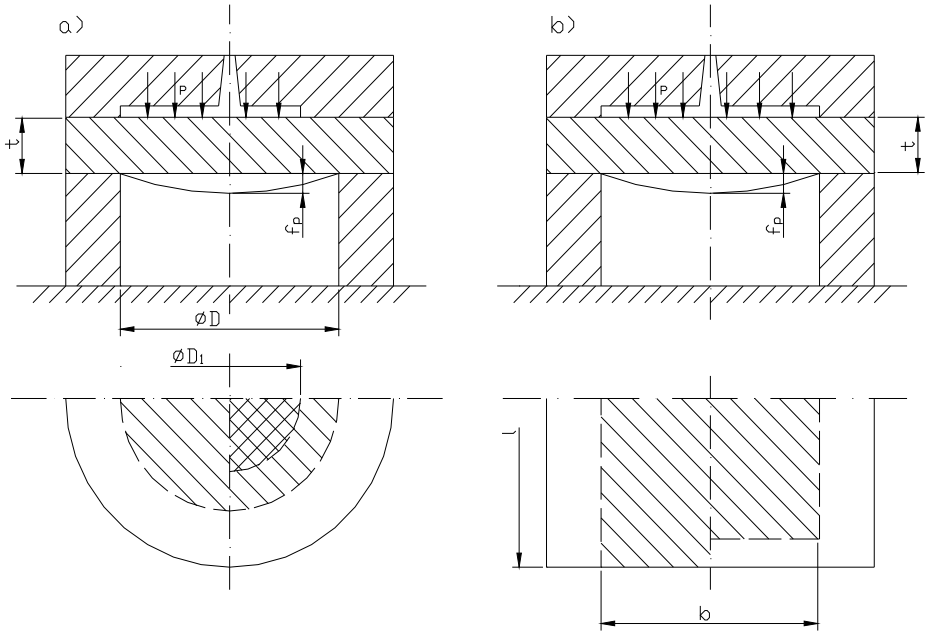
Pro nekalené materiály s pevností do 600 Mpa je $\sigma_o dov. = 60$ MPa

S_o... zjišťovaná styčná plocha dílu [cm^2]

1.2.9 Namáhání opěrných desek

Forma je sestavena z řady desek. Některé jsou podepřeny v celé ploše a jsou namáhány na otlačení, jiné jsou však opřené jen z části a působící síly v nich ještě vyvolávají ohybový moment. Velikost napětí, vyvolané tímto zatížením, se zjistí ze vztahů stanovených pro výpočet tenkých desek (h > 0,1D).

1Zatížení a funkce vyplývá z následujícího obrázku.



Obr.2. Opěrné desky: *a - desky kruhové, b - desky obdélníkové*

a) U kruhové desky:

ohybové napětí $\sigma_{0max} = \frac{3}{4} p \left(\frac{\frac{D}{2}}{t} \right)^2$ [MPa] (3)

velikost průhybu $f_p \approx 0{,}01 \frac{p \cdot D^4}{E \cdot t^3}$ [m] (4)

pokud je zatížení na rozměru D_1 bude velikost průhybu

$$f_p \approx 0{,}01 \frac{p \cdot D^4}{E \cdot t^3} \left[\left(\frac{D}{D_1} \right)^2 + \ln \frac{D_1}{D} - 0{,}75 \right] \text{ [m]} \quad (5)$$

b) U obdélníkové desky:

podepřené dvěma podložkami bude:

ohybové napětí $\sigma_{0max} = 0{,}308 p \left(\frac{b}{t} \right)^2$ [MPa] (6)

velikost průhybu $f_p \approx 0{,}026 \frac{p \cdot b^4}{E \cdot t^3}$ [m] (7)

pokud je deska podepřena na čtyřech stranách bude velikost průhybu

$$f_p \approx K \frac{p \cdot b^4}{E \cdot t^3} \quad [m] \tag{8}$$

kde K je koeficient určující poměr stran

p…. zatížení při vstřikování [MPa]

E …modul pružnosti [MPa]

D, D_1 .. průměr desek [m]

b…délka zatížené plochy [m]

l…šířka zatížené plochy [m]

t…tloušťka zatížené plochy [m]

1.2.10 Vtokový systém

Vtokový systém zprostředkuje průtok taveniny ze vstřikovací trysky do dutiny formy. Ztuhlý materiál ve vtokovém systému se pak nazývá vtokový zbytek. Obecná tendence je tento vtokový zbytek minimalizovat, případně úplně odstranit.

Tvar a rozměry vtoku spolu s umístěním jejího ústí ovlivňují:

- rozměry, vzhled i vlastnosti výstřiku
- spotřebu plastu
- náročnost opracování na začištění výstřiku
- energetickou náročnost výroby.

Zásadní rozdíly v celkovém uspořádání vtokového systému jsou dány především konstrukcí formy a její násobností. U vícenásobných forem musí tavenina dorazit ke všem ústím vtoku za stejného tlaku a současně (vyvážené vtoky).

Při volbě určitého vtokového systému se vychází z toho, že tavenina se vstřikuje velkou rychlostí do relativně studené formy. Během průtoku studeným vtokovým systémem viskozita taveniny na vnějším povrchu prudce roste, nejnižší je uprostřed. Vysoká viskozita vyžaduje vysoké tlaky v systému (40 až 200 Mpa). Ztuhlá povrchová vrstva taveniny vytváří tepelnou izolaci vnitřnímu proudu taveniny. Za tohoto stavu se zaplní celá dutina. V okamžiku zaplnění vzroste prudce odpor a poklesne průtok. V dutině formy nastává postupné tuhnutí taveniny odvodem tepla do stěn formy.

Další doplňování taveniny může nastat jen jejím elastickým stlačením. V ústí dochází ještě v tomto okamžiku k vývinu tepla vlivem tlaku, a tím k oddálení ztuhnutí taveniny.

1.2.11 Studené vtokové systémy

Funkční řešení vtokového systému musí zabezpečit, aby:

– Dráha toku od vstřikovacího stroje do dutiny formy byla co nejkratší.

– Dráha toku byla ke všem tvářecím dutinám stejně dlouhá a tím se zajistilo rovnoměrné plnění. Vyústění vtoku do dutiny, jeho průřez, poloha a počet ovlivňují velikost pnutí a existenci míst se sníženou pevností (studených spojů), kde vlivem částečného ochlazení taveniny a jejím vzájemným setkáním již nedojde ke kvalitnímu spojení. Proto je účelné plnit dutinu jen jedním vtokem, aby tak nevznikly studené spoje.

– Průřez vtokových kanálů dostatečně velký, aby byla jistota, že po vyplnění tvářecí dutiny bude jádro taveniny ještě v plastickém stavu, a tím se umožní působení dotlaku.

– U vícenásobných forem je vhodné odstupňování průřezů kanálů, aby byla zachována stejná rychlost proudění taveniny.

1.2.12 Volba rozměrů vtokového kanálu

Nejobvyklejším je kuželový vtokový kanál, vytvořený uvnitř vtokové vložky. Ústí do rozváděcích kanálů, nebo přímo do výstřiku. Vtokové vložky s vypracovaným vtokovým kanálem se vyrábí z kvalitní oceli, která je dále tepelně zpracována (tvrdost 58

HRc). Je velmi tepelně i mechanicky namáhána, vyrábí se z materiálu (19 435, 19 581, 19 572…).

Průměr vtokového kanálu na straně trysky stroje je minimálně o 0,5 až 1 mm větší, než je průměr otvoru trysky vstřikovacího stroje. Na opačné straně má být největší průměr kanálu větší o 1,5 mm, než je největší tloušťka výstřiku, nebo stejný se šířkou rozváděcího kanálu. Povrch je leštěný, s drsností 0,1 Ra a s minimálním úkosem 1,5°. Hrana vložky v oblasti dosedu stroje je poloměr křivosti trysky stroje.

1.2.13 Volba rozměrů rozváděcích kanálů

Rozváděcí kanály spojují vtokový kanál s ústím vtoku a tvářecí dutinou. Jejich délka je dána typem formy. Velikost jejich průřezů určuje řada činitelů, kteří se vzájemně ovlivňují. Volí se s ohledem na:

- Charakter výstřiku, především tloušťku jeho stěn a předpokládanou dobu dotlaku.
- Tepelné a reologické vlastnosti taveniny, hlavně její viskozitu, tepelnou vodivost apod.
- Parametry vstřikovacího stroje, vstřikovací tlak, rychlost…

1.2.14 Umístění ústí vtoků a typy vtoků

Vtokové ústí se vytváří zúžením rozváděcího kanálu. Jen ve výjimečných případech může být použit plný nezúžený vtok (pro potlačení propadlin, lunkrů u velkoobjemových dílů). Jeho zúžením se zvýší klesající teplota taveniny před vstupem do tvarové dutiny. Omezí se strhávání chladných vrstev z obvodu vtoku, a tím i vytváření povrchových defektů. Vtokové ústí se volí co nejmenšího průřezu v závislosti na charakteru výstřiku, plastu i technologii vstřikování. Velikost zúženého průřezu však musí spolehlivě naplnit dutinu formy a také ještě umožnit případné působení dotlaku. Délka zúženého ústí se volí co nejkratší. Tvar ústí bývá štěrbinový pro ploché výstřiky, nebo kruhový pro rotační a jiné díly. Tloušťka, nebo celý průřez, se určí podle objemu výstřiku. Při konstrukci se doporučuje volit menší vtokové ústí, které se může při zkouškách formy případně upravit.

Důležité je umístění vtokového ústí na výstřiku.

Pro snížení nedostatků na výstřiku je třeba respektovat následující zásady umístění ústí vtoků:

- Při plnění výstřiku z jedné strany by nemělo být čelo taveniny přímkové. Toho lze dosáhnout volbou filmového vtoku nebo jiným provedením bočních, případně tunelových vtoků.

- U obdélníkového tvaru výstřiku se umístí do kratší hrany. To především u semikrystalických a plněných plastů. Tak dosáhneme požadované pevnosti u výstřiku. Při umístění vtokového ústí středu součásti dochází k nepravidelnému uspořádání makromolekul, případně vláknitého plniva. To způsobuje značnou deformaci výstřiku.

Vtokové ústí bývá umístěno:

- Do nejširšího místa výstřiku. Tavenina má téci vždy z místa většího průřezu do místa s menším průřezem. To proto, aby tuhla nejdříve na vzdálenějším místě od vtokového ústí.

- Do geometrického středu dutiny tak, aby tavenina zatékala do všech míst rovnoměrně. Při velkých nárocích na přesnost je třeba vzít v úvahu rozdíly v podélném a příčném smrštění, především u semikrystalických plastů.

- U výstřiku se žebry má tavenina proudit ve směru jejich orientace.

- Mimo místa velkého namáhání nebo opticky činných ploch výstřiku.

- U výstřiku z otvory se umísťuje ústí do těchto otvorů, nebo v jejich blízkosti. U obdélníkových otvorů nebo tvarů se musí zajistit proudění ve směru delší strany.

- S ohledem na možnost úniku vzduchu z tvarové dutiny.

- Aby stopa po odstranění výstřiku nesnižovala estetickou hodnotu výstřiku.

Aby se splnily všechny požadavky kladené na výrobek, používá se pro vstřikování několik typů vtoků závislých zpravidla na tvaru výstřiku. Rozlišujeme tyto základní typy vtoků:

Plný kuželový vtok, bodový vtok, tunelový vtok, boční vtok, filmový vtok a plnění dutiny více vtoky.

1.2.15 Horké vtokové systémy

Horké vtokové systémy představují velice rozsáhlou technologickou část z obvyklých vtokových systémů, které bývají instalovány. K jejich vývoji přispívají nejen konstruktéři, formaři, producenti standardizovaných dílů forem, ale také dodavatelé materiálů.

Snaha po úsporách plastu i práce vedla k metodě vstřikování bez vtokového zbytku. Realizuje se za pomoci vyhřívaných vtokových systémů. Jejich vývoj se od jednodušších systémů postupně zdokonalil. Nejprve se používaly zesílené vtoky, izolované vtokové soustavy s předkomůrkami apod. Dnešní vyhřívané vtokové systémy mají vyhřívané trysky, které jsou charakterizovány minimálním úbytkem tlaku a teploty v systému s optimálním tokem taveniny.

Rozhodující pro výběr vhodného horkého vtokového systému je často vstřikovaný materiál. Dnes mohou být téměř všechny materiály vstřikovány horkými vstřikovacími systémy, dokonce i plněné plasty a strukturní pěny.

Horké vtokové systémy nabízí mnoho výhod ve srovnání s konvenčními systémy. Jsou to výhody ekonomické i technologické.

Ekonomické výhody:

- úspora materiálu ve vtocích
- krátké vstřikovací cykly, čas pro vyhazování vtoků je vynechán, nízká poruchovost trysek, chladící čas není závislý na pomalém zatuhnutí trysek
- přijatelné malé stroje, dávka je redukována velikostí výstřiku, velké dávky se používají při plnění vícenásobné formy
- při výrobě forem se používá standardizovaných částí forem

Technologické výhody:

- jednodušší automatizace procesu díky vynechání vyhazování vtokových zbytků
- průměr vtoku je schopen udržet větší tlaky, díky menším tlakovým ztrátám.

- vyvážení vtokového systému může být dosáhnuto teplotní regulací nebo mechanicky

Ekonomické nevýhody:

- více zmetků při začínání nového cyklu
- více práce při navrhování formy
- vyšší náklady při instalaci pomocných zařízení (vytápění, teplotní čidla a kontroly)
- náročnější obsluha

Technologické nevýhody:

- nebezpečí teplotní degradace citlivých materiálů, z důvodu dlouhé tokové cesty a vysoké smykové rychlosti
- nestejnoměrné teplotní rozdělení výsledků v rozdílech v teplotě tavení a tudíž i v nestejnoměrném plnění
- žádná tlaková kontrola v ústí vtoku

1.2.16 Vyhazování výstřiku

Vyhazování výstřiku z formy je činnost, kdy se z dutiny nebo z tvárníku otevřené formy vysune nebo vytlačí zhotovený výstřik. Vyhazování výstřiku má dvě fáze:

- dopředný pohyb, vlastní vyhazování
- zpětný pohyb, návrat vyhazovacího systému do původní polohy

Základní podmínkou dobrého vyhazování výstřiku je hladký povrch a úkosovitost jejich stěn ve směru vyhazování. Úkosy nemají být menší než 30°. Vyhazovací systém musí výstřik vysouvat rovnoměrně, aby nedošlo k jeho příčení, a tím ke vzniku trvalých deformací.

Velikost vyhazovací síly lze stanovit z úvahy, že mezi výstřikem a formou vzniká vlivem smrštění tlak p. Nepřekonává-li se odpor zápichů, pak vyhazovací síla bude:

$F_v = p \cdot f \cdot S$ [m] kde f – koeficient tření

S – plocha ve směru vyhazování [m^2]

Vyhazovací systémy:

Mechanické vyhazování je nejrozšířenějším vyhazovacím systémem. Používá se všude tam, kde je to jen možné. Jeho konstrukce má různá provedení. Používá se zejména:

- Vyhazování pomocí vyhazovacích kolíků
- Vyhazování pomocí stírací desky nebo trubkových vyhazovačů
- Šikmé vyhazování
- Postupné vyhazování

1.2.17 Odvzdušnění formy

Dutina formy je před vstřikováním naplněna vzduchem. Při jejím plnění taveninou je třeba zajistit únik vzduchu a případných zplodin. Navíc tento vzduch může být v důsledku stlačení horký a způsobit spáleniny na materiálu. Čím je větší rychlost plnění, tím účinnější musí být odvzdušnění tvarové dutiny. Vzduch z dutiny formy stačí často uniknout dělící rovinou (vedlejšími dělícími rovinami), nebo vůlí mezi pohyblivými částmi. Tak tomu je, pokud jsou vyhazovače umístěny tam, kde může být vzduch uzavřen. Odvzdušnění může být ulehčeno vytvořením větších děr pro vyhazovače. V ostatních případech je třeba formu opatřit odvzdušňovacími kanálky, které bývají umístěny v rozích a v místech předpokládaného zavzdušnění.

Viskozita vstřikované taveniny, která vystupuje do dutiny formy, bývá proměnlivá. Závisí na jejím druhu, nastavených technologických parametrech a na délce toku plastu. Zhotovené odvzdušňovací průřezy musí účinně odvádět vzduch, ale zároveň nesmí docházet k zatékání plastu.

V praxi se zhotovují hloubky odvzdušňovacích mezer dle tabulek pro jednotlivé druhy plastů. Šířka se upravuje většinou dle potřeby (při zkoušení).

1.2.18 Temperace formy

Temperací forem rozumíme jejich udržování na požadované teplotě. Teplota formy při vstřikování termoplastů bývá zpravidla v rozmezí 30 až 120 °C, ve speciálních případech se může tento interval rozšířit od –5 do +250 °C. Správně navržený temperační systém umožňuje:

- Optimální dobu vstřikovacího cyklu a hospodárnost provozu.
- Dosažení kvalitních výrobků při optimální struktuře (fyzikální vlastnosti, přesnost, vzhled).

Správně řešený temperační systém dává rovněž předpoklady pro dobrou funkci formy. Na řešení temperačního systému má vliv více faktorů, z nichž je nutno uvést zejména:

- Druh vstřikovaného materiálu
- Velikost a tvar výstřiku, případně dráhu toku a tloušťku stěn výstřiku
- Požadavky na jakost a přesnost stěn výstřiku
- Druh a rozměry vtokového systému

Tokové a tepelné vlastnosti plastů uplatňují svůj vliv na způsob temperace formy. Množství tepla, které je třeba při chlazení odvést, závisí na rozdílu entalpií při teplotě vstřikování a při teplotě vyhazování z formy. Teplotu vyhazování výstřiku z formy určuje do značné míry teplota formy.

Na průběh chlazení má dále vliv tepelná vodivost vstřikovacích hmot. Dalším faktorem je tekutost plastu a její závislost na teplotě. Pro materiál hodně závislý na teplotě je nutné volit vyšší teploty formy. Například tlustostěnné výstřiky vyžadují intenzivní chlazení. Pro dlouhé dráhy toku je třeba teplotu formy naopak zvýšit.

Problém sdílení tepla je třeba chápat ve dvou aspektech. Jednak jde o přestup tepla z plastu do formy, jednak z formy do temperačního média.

V prvém případě bude sdílení tepla záviset:

- Na hmotnosti výstřiku

- Na teplotě taveniny a teplotě formy
- Na teplotě vyjímání výstřiku z formy

Stejně jako u krystalických materiálů je třeba počítat se skupenským teplem tuhnutí.

1.2.19 Materiály používané při výrobě forem

Formy jsou nákladné nástroje sestavené z funkčních a pomocných dílů. Při výrobě výstřiků se od nich vyžaduje dosažení požadované kvality, životnosti a nízkých pořizovacích nákladů. Významným činitelem pro splnění těchto podmínek je materiál forem, který je ovlivněn provozními podmínkami výroby, určené:

- druhem vstřikovaného plastu
- přesností a jakostí výstřiku
- podmínkami vstřikování
- vstřikovacím strojem

Pro výrobu forem se tedy používají takové materiály, které splňují provozní požadavky v optimální míře. Jejich široký výběr byl zredukován na úzký sortiment jakostí a rozměrů. Z toho se dále dává přednost materiálům univerzálních typů s širokým rozsahem užitných vlastností. Takové druhy představují:

- oceli vhodných jakostí
- neželezné slitiny kovů (Cu, Al)
- ostatní materiály (izolační, tepelně nevodivé...)

Oceli jsou daleko nejvýznačnějším druhem používaných materiálů na výrobu forem. Svou pevností a dalšími mechanickými vlastnostmi se dají jen obtížně nahradit.

1.2.20 Volba ocelí na formy

Optimální určení druhu oceli na konkrétní součást záleží na její funkci. Úspěšným předpokladem dostatečné životnosti a funkční vhodnosti je také účelná konstrukce, dostatečné rozměry, správné zacházení a údržba. I způsob výroby a tepelné zpracování materiálu ovlivňuje celkový výsledek. Nedostatečná kvalita povrchu zhoršuje vyjímání,

vyleštěný povrch je rovněž prostředkem k ochraně proti korozi, atd. Z těchto požadavků vyplývají i nároky na čistotu oceli.

Jednotlivé díly forem nemají stejnou funkci. Proto vyžadují i svoje specifické požadavky na volbu materiálu, ze kterého jsou vyrobeny. Jejich výběr a doporučená řada má odpovídat požadované funkci součásti, s ohledem na opotřebení a životnost.

Od používaných materiálů na formy se vyžaduje především:

- dostatečná mechanická pevnost
- dobrá obrobitelnost

Z hlediska technologie výroby výstřiků má materiál funkčních dílů ještě zajišťovat speciální požadavky na kvalitu struktury, která je dána:

- dobrou leštitelností a obrusitelností
- zvýšenou odolností proti otěru
- odolností proti korozi a chemickým vlivům plastu
- vyhovující kalitelností a prokalitelností
- stálostí rozměrů a minimálními deformacemi při kalení
- dobrou tepelnou vodivostí
- houževnatostí
- pevností v tlaku

Z výše uvedených podmínek je zřejmé, že některé požadavky se vzájemně vylučují. Je tedy nutné vybrat oceli, které se těmto podmínkám co nejvíce přibližují.

1.3 Shrnutí studijní části

V této části jsou uvedeny základní teoretické poznatky potřebné k tomu, abychom byli schopni navrhnout vstřikovací formu. Z těchto poznatků je zřejmé, že existuje více možností, jak lze vstřikovací formu pro danou součást navrhnout. Proto je třeba dobře znát co nejvíce možných způsobů návrhu vstřikovací formy, abychom se byli schopni rozhodnout pro co nejlepší řešení. Cílem je navrhnout formu tak, aby splňovala požadavky, jak z hlediska ekonomické výroby formy, tak z hlediska dobrého technologického zpracování.

2 STANOVENÍ CÍLŮ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

V této bakalářské práci byly stanoveny tyto cíle:

- nakreslení sestavu vstřikovací formy v programu Catia V5 R12
- provést mechanickou analýzu opěrné desky popř. jiných exponovaných částí formy pro různé tlaky v dutině formy.

Při kreslení bylo použito normálií firmy HASCO.

Rozměry normalizovaných součástí nemusí vyhovovat rozměrům námi požadovaným. Dodatečné operace prováděné na normalizovaných součástkách mohou prodražit výrobu celé formy. Proto je nutné vzít při výběru součástky v úvahu rozměry vyráběných normálií.

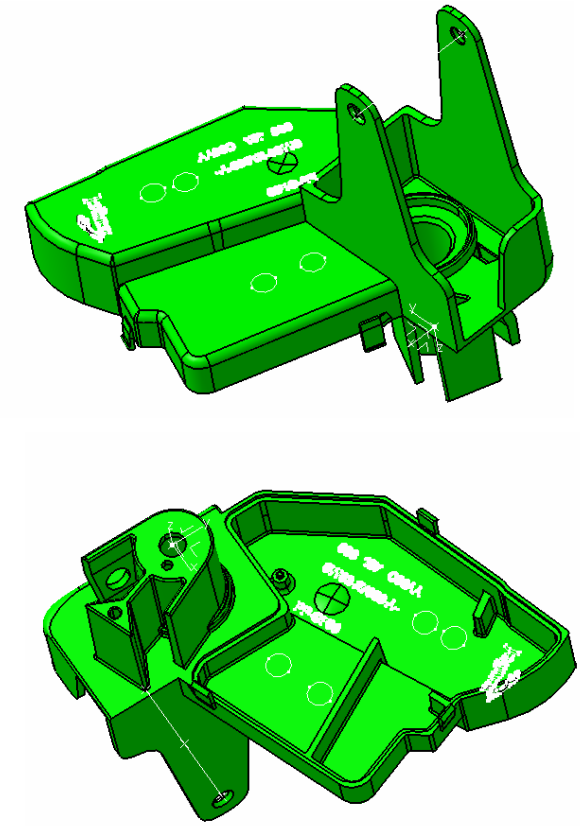
Pro kreslení bylo použito počítačového programu Catia V5R12 s použitím knihoven normálií HASCO.

V důsledku tlaku taveniny v dutině formy je tato vystavena mechanickému namáhání. Úkolem bylo stanovit a vyhodnotit u nejvíce namáhaných součásti jejich deformaci.

3 EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST

3.1 Údaje o výrobku

Vstřikovaným výrobkem je držák světla do automobilu .



Obr.3. Výrobek

Materiál byl navržen zadavatelem. Jedná se o Polypropylén s 30% příměsí skleněných vláken tedy PP GF30. Tento materiál má následující parametry.

Je tuhý, pevný a přitom houževnatý, a to i při snížené teplotě. Speciální typy lze použít až do -30 °C. Dobře tlumí rázy a vibrace. Snáší střídání teplot. Elektroizolační a dielektrické vlastnosti jsou horší, je mírně navlhavý. Odolnost proti povětrnosti je omezená, je zdravotně nezávadný. Vlastnosti kolísají s krystalinitou; je dloužitelný - výroba vláken, má větší citlivost vůči oxidaci; je důležitý - vznikají orientované struktury - fibrily. Je hořlavý.

Používá se na trubky, fólie, desky, předměty pro domácnost, vlákna, kompozity ze skelných vláken.

Teplota nástroje: Může být v rozmezí od 30 do 80 °C, platí však, že čím vyšší je teplota nástroje, tím je povrch výstřiku kvalitnější a tokové čáry a studené spoje jsou méně patrné. U výstřiků s tlustou stěnou je příliš vysoká teplota formy příčinou propadlin a prodloužení vstřikovacího cyklu. Při vstřikování hlubokých výrobků se osvědčuje nastavit teplotu tvárníku asi o 10 až 15 °C nižší než tvárnice, čímž je usnadněno vyjímání výstřiku z formy.

Smrštění výstřiku v dutině je 0,3 až 0,7 %. Nedoporučují se bodové vtoky, nebo jen výjimečně. Horké a izolované vtoky jsou možné. Při konstrukci dílce má být minimální tloušťka stěny výstřiku 0,7 mm, tenčí se nedoporučuje.

3.2 Konstrukce formy

Konstrukce formy by měla být řešena s ohledem na složitost a přesnost výstřiku co nejjednodušeji. Snahou je použít co nejvíce normalizovaných dílů firmy HASCO. Výroba formy se tím zjednoduší a také zlevní.

3.2.1 Volba násobnosti formy

Optimální volba násobnosti formy vyžaduje správné vyhodnocení jednotlivých činitelů, kteří ji ovlivňují. Existuje několik činitelů, podle kterých se dá určit výsledná násobnost formy. Jsou to:

- složitost a přesnost výstřiku
- požadované množství výrobku
- kapacita vstřikovacího stroje
- ekonomika výroby

Součásti tvarově náročné, které vedou ke složité formě, jako i velkorozměrové výstřiky, se většinou vyrábí v jednonásobných formách. Z hlediska kvality a přesnosti výstřiku je žádoucí, aby násobnost byla co nejmenší. S přihlédnutím k těmto činitelům byla zadavatelem určena jednonásobná forma.

3.2.2 Zaformování výstřiku

Hlavní zásadou konstrukce formy je určení dělící roviny. Tato rovina je zvolena rovnoběžně s upínáním formy a to tak, že probíhá po hranách výstřiku. Je to z toho důvodu, že výstřik musí mít hladkou pohledovou plochu a nesmí na něm být stopa po dělící rovině.

Dutina formy je zvolena tak, aby se výstřik po otevření formy oddělil od tvárnice a zůstal na tvárníku, dokud nebude vyhozen vyhazovacím systémem. Protože je výstřik složitější, má další dělící rovinu, jejíž odformování je realizováno šikmými čepy.

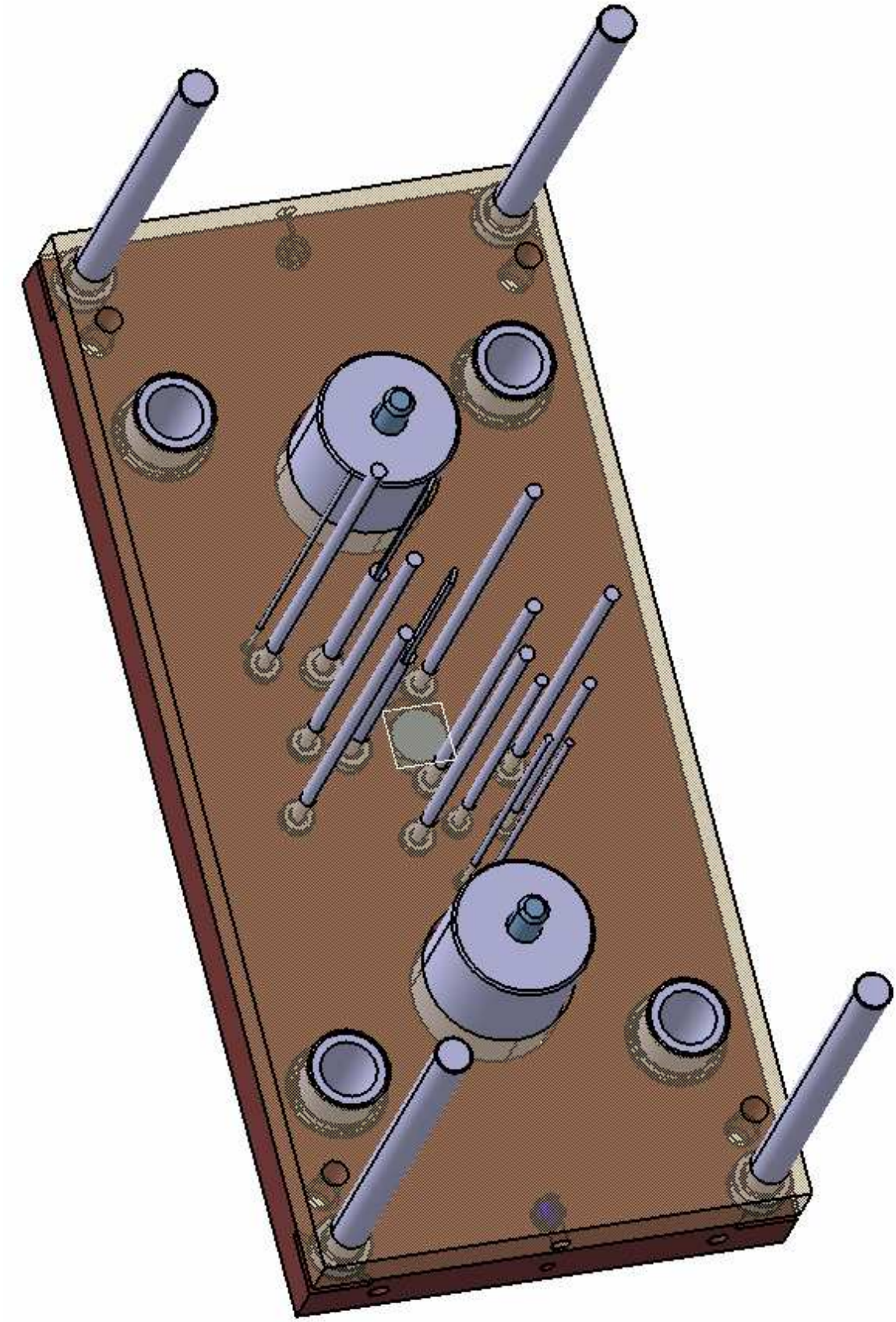
Při vstřikování plastu do formy dochází ke stlačení vzduchu ve formě čelem taveniny. Tento vzduch se ohřívá na teplotu, při které může polymer degradovat. To má za následek tvarové a vzhledové vady výstřiku. Proto je třeba při návrhu formy pamatovat na odvzdušnění tvarových částí formy. Pro odvedení vzduchu stačí opatřit dělící rovinu drážkami hlubokými 0,005 mm až 0,01mm. K tomu, abychom odvzdušnili formu, nám ale postačí vůle, které jsou v dělících rovinách a ve vyhazovačích.

3.2.3 Vyhazovací systém

Vyhození výstřiku z formy je realizováno pomocí jedenácti válcových vyhazovačů působících na stěnu formy. Ukotvení těchto vyhazovačů zajišťuje deska opěrná a deska kotevní. Na výstřiku zůstanou stopy po vyhazovačích. V našem případě se tyto stopy můžou ponechat, protože nejsou na pohledové straně.

Zdvih vyhazovačů musí být dostatečný, aby zajistil shození celého výstřiku z tvárníku a nedošlo např. ke vzpříčení, a tím k poškození výstřiku. Minimální zdvih pro tento výrobek postačí 95 mm. Pohyb celého vyhazovacího systému zajišťuje hydraulický systém vstřikovacího stroje.

Součástí vyhazovacího systému jsou tzv. vratné čepy, které zabezpečují tvarovou dutinu a vyhazovače před poškozením. V případě, že by selhalo při uzavírání formy zajetí vyhazovacího systému do původní polohy, tvárnice zatlačí přes vratné čepy vyhazovací systém zpět.



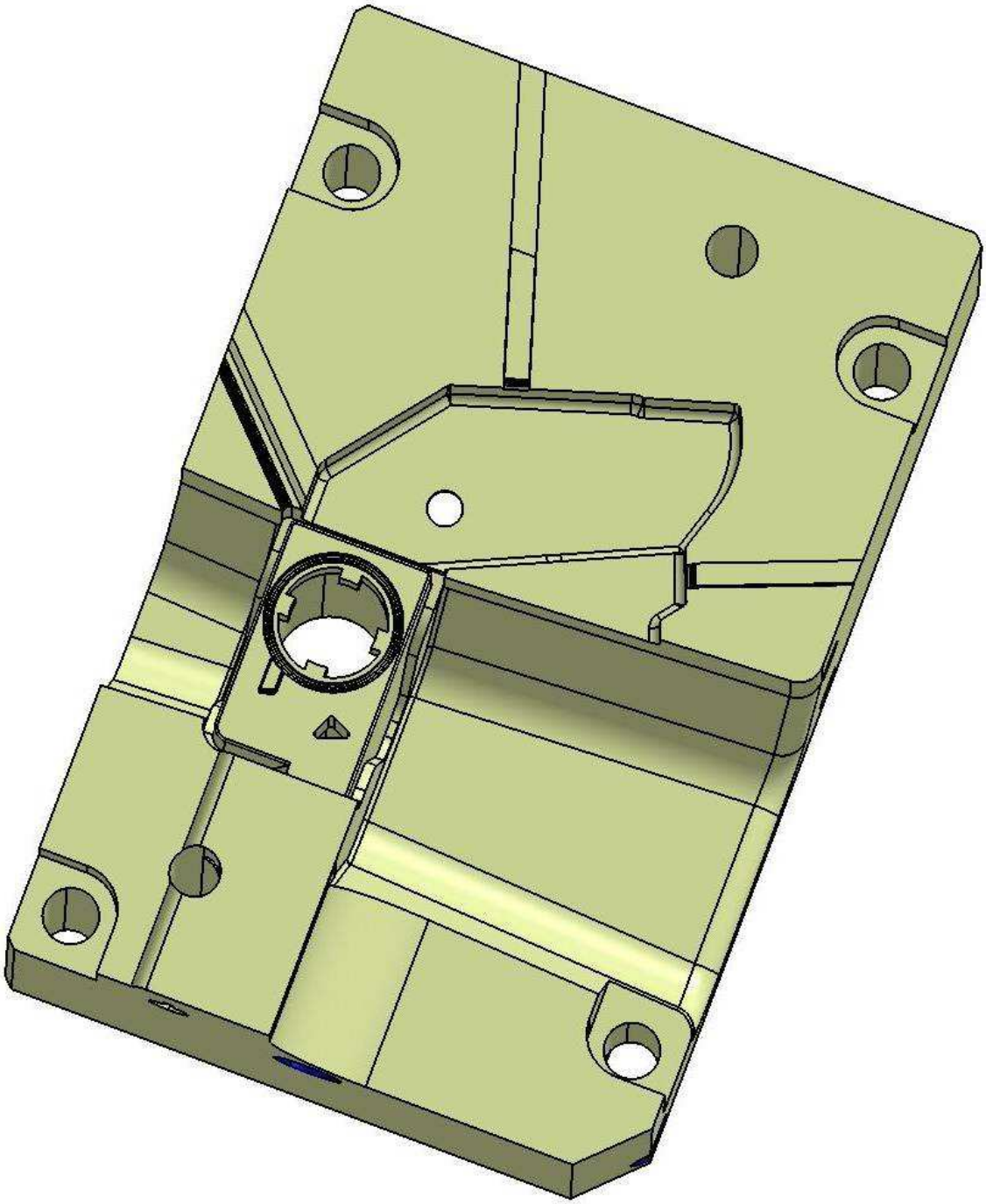
Obr.4. Vyhazovací systém

3.2.4 Výroba dutiny formy

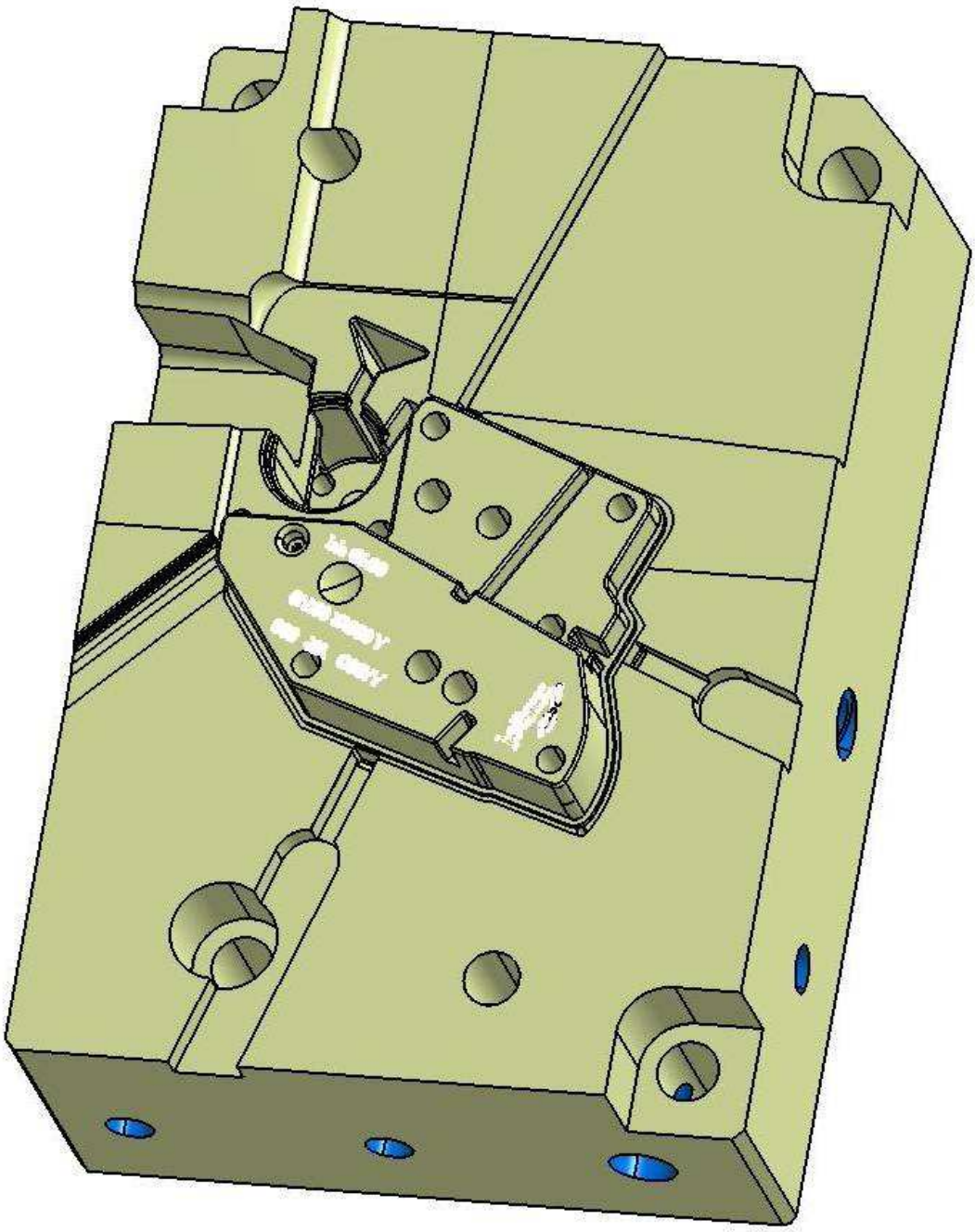
Pro svoji tvarovou složitost je nutné zvážit způsob obrábění při výrobě dutin formy držáku. Z tohoto důvodu se tvar dutiny bude vyrábět elektroerosivní metodou. Elektrickou erozí nazýváme fyzikální jev, založený na obrábění částeček povrchových vrstev materiálu účinkem tepelného a tlakového působení elektrických výbojů. Doprava těchto částeček z místa řezu se děje prouděním elektrolytu.

Tvar dutiny se nejprve nahrubo vyfrézuje, aby se odebralo co největší množství materiálu a poté se povrch elektroerosivně obrobí. Norma pro elektrojiskrové obrábění určuje přímo drsnost povrchu po tomto obrábění.

Tvarové díly formy na sebe musí dobře dosedat, proto se jejich dosedací plochy musí ještě přebrousit. Díry pro šikmé čepy budou zhotoveny na souřadnicových vyvrtávačkách.



Obr.5. Tvarová deska 1



Obr.6. Tvarová deska 2

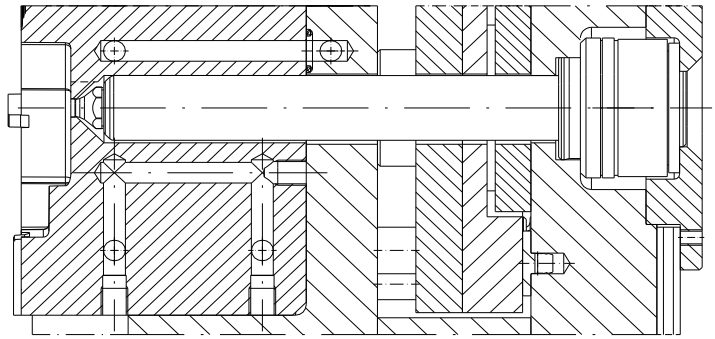
3.2.5 Vtokový systém

Vtokový systém formy zajišťuje při výstřiku vedení proudu roztaveného plastu od vstřikovacího stroje do tvářecí dutiny formy. Naplnění dutiny taveninou má proběhnout v nejkratším možném čase a s minimálními odpory.

Existují dva druhy vtokových soustav :

- Studená vtoková soustava s odpadem
- Horká bezodpadová soustava

Z těchto dvou soustav byla již zadavatelem vybrána studená vtoková soustava. Funkční řešení vtokového systému musí zabezpečit, aby dráha toku od vstřikovacího stroje do dutiny formy byla co nejkratší bez zbytečných tlakových a časových ztrát. Průřez vtokových kanálů musí být dostatečně velký, aby byla jistota, že po vyplnění tvářecí dutiny bude jádro taveniny ještě v plastickém stavu a tím se umožní působení dotlaku. Ve vtokovém systému by se měla vyloučit místa s velkým nahromaděním materiálu. Musí se také dodržet zaoblení všech hran vtokových kanálů, minimálně R = 1 mm.



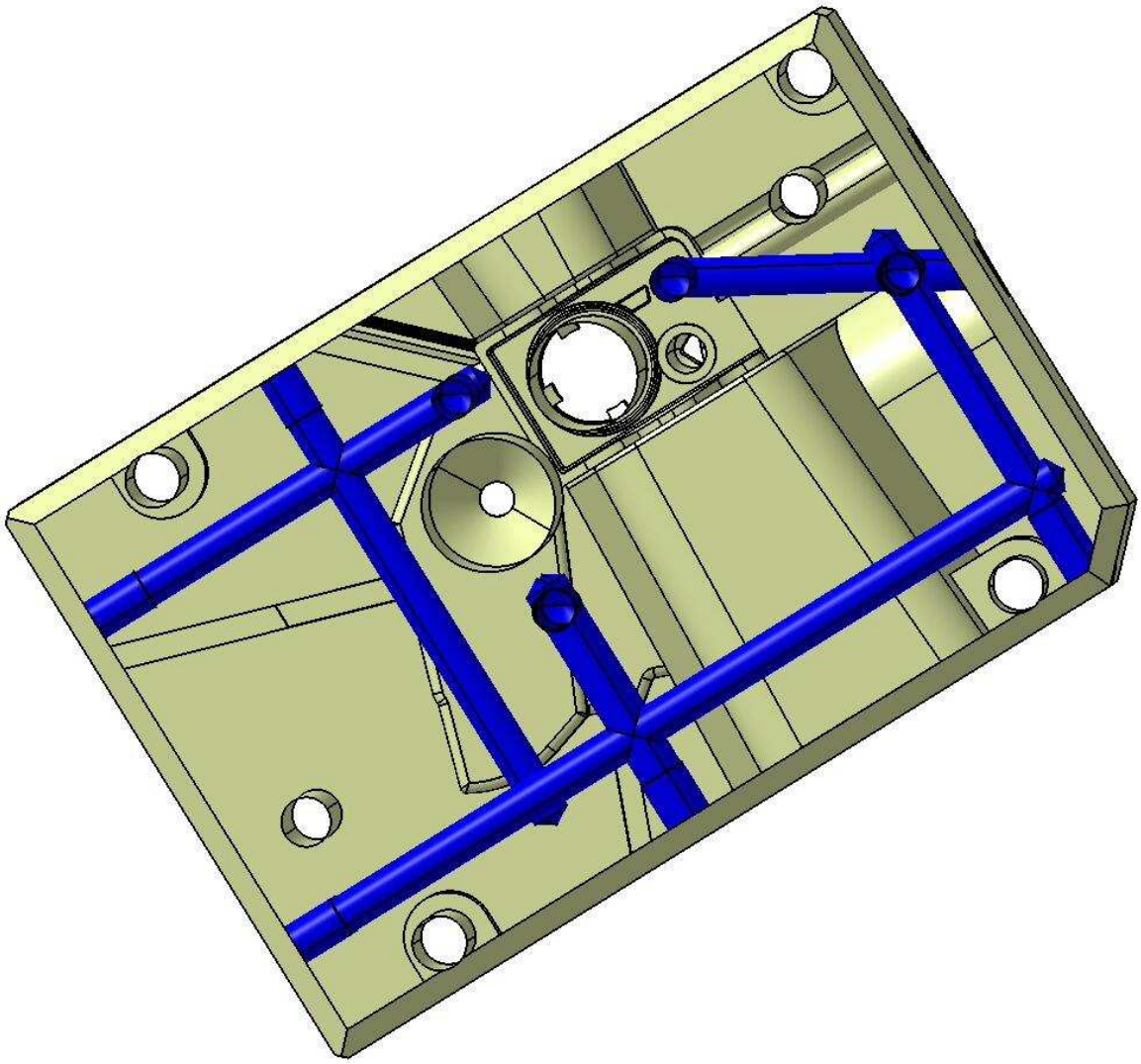
Obr.7. Vtoková soustava

3.2.6 Temperace formy

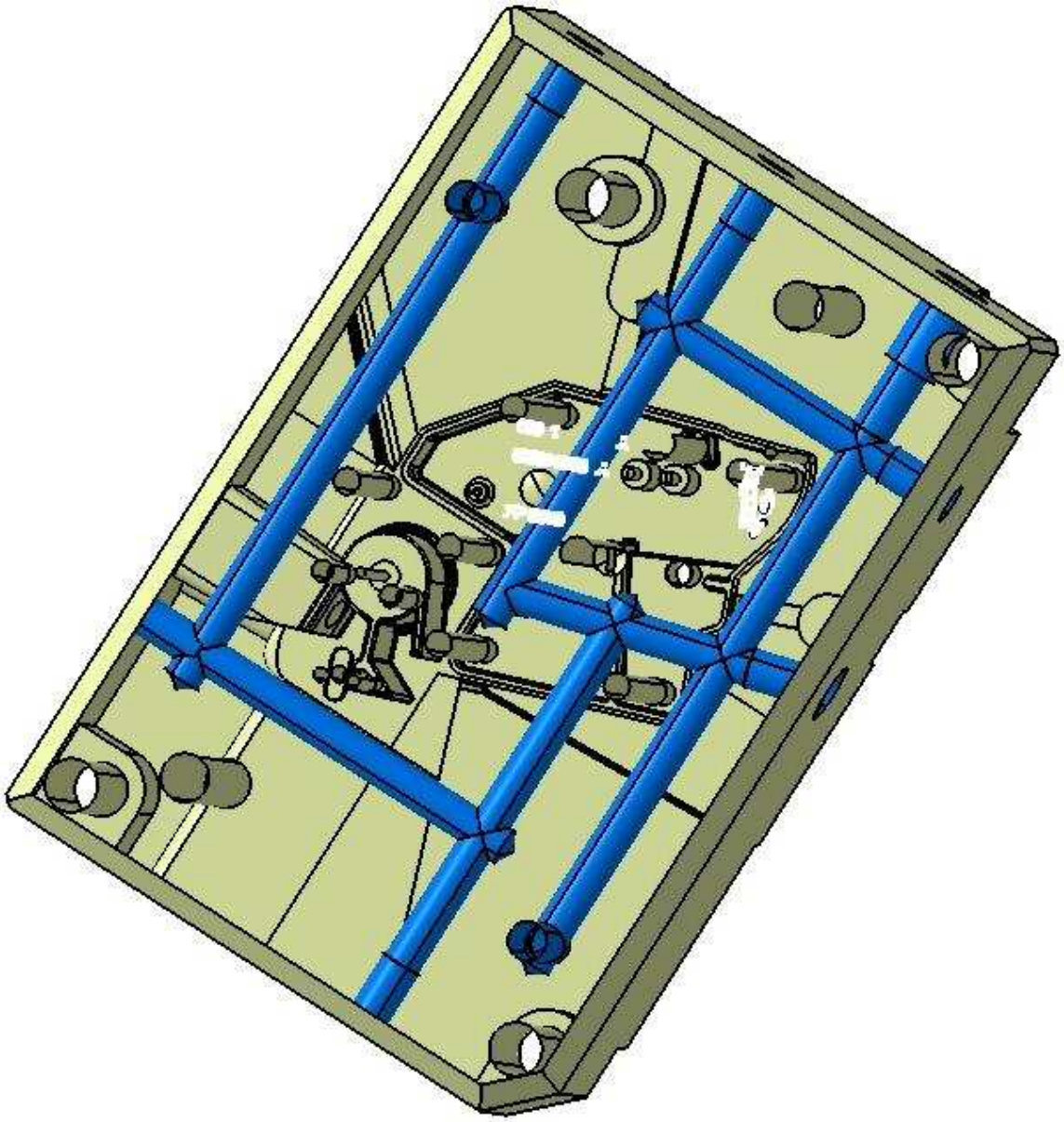
Ohřívání, případně ochlazování formy na předepsanou teplotu, záleží na energetické bilanci formy a okolního prostředí. Teplota forem není během vstřikování konstantní. Po výstřiku nejprve stoupá, potom klesá v důsledku odvodu tepla temperančním systémem. Kolísání teplot má být co nejmenší. Musíme proto optimalizovat temperační proces. To znamená volit správné rozmístění a velikosti kanálů. Zvolit správné médium a jeho rychlost.

Temperační systém formy je tvořen soustavou kanálů a dutin, kterými proudí vhodná kapalina, která udržuje teplotu temperovaných částí na požadované výši. V našem případě jsou provozní teploty vstřikování dostatečně nízké na to, aby jako temperační médium byla použita voda.

Temperační systém je umístěn jak v pevné (vtokové) tak i v pohyblivé části formy a je řešen samostatně vzhledem ke způsobu zaformování výstřiku.



Obr.8. Systém chlazení v tvarové desce 1



Obr.9. Systém chlazení v tvarové desce 2

3.3 Mechanická analýza opěrné desky formy

Tlak při vstřikování plastu do dutiny formy je značný. V důsledku tohoto tlaku jsou namáhány jednotlivé části formy, zvláště pak deska opěrná. Na tuto desku se přenáší tlak z dutiny formy přes tvárník a desku tvárníku. Dochází tak k průhybu této opěrné desky. Našim úkolem je zjistit tento průhyb a v případě překročení dovolených hodnot průhybu dimenzovat desku tak, aby byla schopna tento tlak zachytit.

Nedovolená velikost průhybu (udává se vyšší jak y_D) by mohla způsobit netěsnost formy, a tím únik polymeru do dělící roviny. Navíc může dojít k deformaci opěrné desky.

Hodnoty průhybu opěrné desky jsou zjištěny početně dle vztahů z kapitoly (1.2.9). Tyto hodnoty jsou navzájem porovnány s velikostí dovoleného průhybu, který je dán vztahem:

$$y_D = \frac{0{,}02}{100} \cdot l = \frac{0{,}02}{100} \cdot 195 = 0{,}039\ mm$$

Je to vlastně průhyb, který nepřesáhne 0,02 mm na 100 mm délky desky.

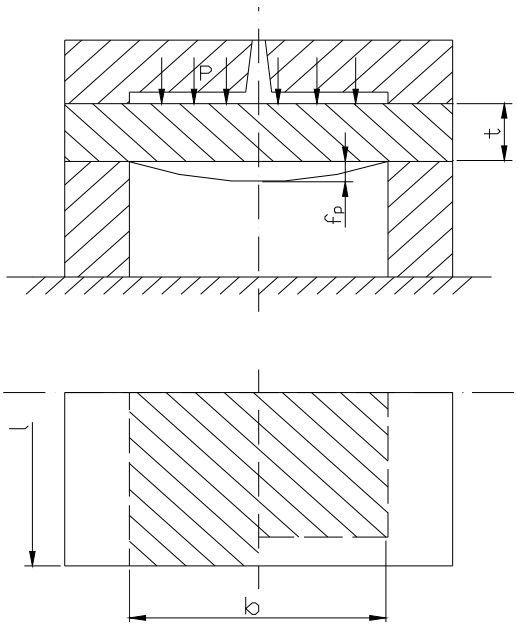
Podle Von Misesovy hypotézy nastává porušení materiálu nezávisle na složené napjatosti tehdy, když deformační práce potřebná na změnu tvaru překročí hodnotu deformační práce potřebné na změnu tvaru přímkové (jednoosé) napjatosti.

Jinými slovy stačí, aby byla překročena deformační práce potřebná na změnu tvaru v jedné ose a dojde k porušení materiálu. Srovnávacím napětím pak rozumíme nahrazení všech složek prostorové napjatosti jednoosým srovnávacím napětím σ_s. V našem případě jde o nahrazení dvouosé (rovinné) napjatosti.

3.3.1 Početní řešení průhybu opěrné desky

Zadané hodnoty :

- Délka zatížené plochy l = 0,195 [m]
- Tloušťka zatížené plochy t = 0,05 [m]
- Zatížení při vstřikování p = 50 [MPa]
- Modul pružnosti oceli $E = 2{,}1 \cdot 10^5$ [MPa]



Obr.10. Zatížení opěrné desky formy

Deska obdélníkového tvaru je podepřena dvěmi podložkami (rozpěrkami). Velikost průhybu se pak spočítá dle vzorce z kapitoly (1.2.9).

$$f_p \approx 0{,}026\frac{p \cdot b^4}{E \cdot t^3} \approx 0{,}026\frac{50 \cdot 0{,}195^4}{2{,}1 \cdot 10^5 \cdot 0{,}05^3} \approx 0{,}02943 \cdot 10^{-3} \quad [\text{m}]$$

Vypočítaný průhyb nepřekročil stanovenou hranici maximálního průhybu 0,039 mm

3.3.2 Početní řešení ohybového napětí opěrné desky

Zadané hodnoty zůstávají stejné jako v případě výpočtu maximálního průhybu desky. Velikost maximálního ohybového napětí se spočítá dle vztahu z kapitoly (1.2.9).

$$\sigma_{0max} = 0{,}308p\left(\frac{b}{t}\right)^2 = 0{,}308 \cdot 50\left(\frac{0{,}195}{0{,}05}\right)^2 = 214{,}2 \quad [\text{Mpa}]$$

Velikost maximálního ohybového napětí je $\sigma_{0\max} = 214\,[MPa]$.

Plocha desky tvárníku :

$$S = a \cdot b = 195 \cdot 108 = 21\,060\ mm^2$$

Při tlaku 50 MPa působícím na desku tvárníku se síla spočítá za vzorce : $F = p \cdot S = 50 \cdot 21060 = 1053000\ [N]$

Výpočet velikostí sil potřebných k dosažení dovolené deformace (průhybu) na všech součástech na tuhosti.

Jde především o formovací desku, mezidesku a rozpěrné sloupky. Deformační síla rozpěrného sloupku se vypočte ze vztahu:

$$F_R = E \cdot S \cdot \frac{y_D}{l_S} = 75865N$$

Vztah pro deformační sílu mezidesky:

$$F_M = 192 \cdot E \cdot \frac{bh^3}{12} \cdot \frac{y_D}{l^3} = 277028N$$

Kontrola tuhosti formy s rámem HASCO:

Součet ztužujících silových účinků desek a sloupků musí vyvolat takovou reakci, aby nedošlo k překročení dovolené hodnoty průhybu. To lze zkontrolovat vztahem: $F \le \sum F_M + iF_R = 277028 + 3 \cdot 75865 = 504623N$

Kde síla F je podle vztahu: $F = S \cdot p = 486250N$

Podle těchto výsledků je tuhost formy vyhovující. Tuhosti formy navíc přispěje i formovací deska, která nebyla do výpočtu zahrnuta pro svou tvarovou složitost. V deskách je také dvouosá napjatost se složkami σ_X a σ_Z.

$$\sigma_X = 214MPa$$

$$\sigma_Z = \nu \cdot \sigma_X = 0.3 \cdot 214 = 64{,}2MPa$$

Redukované napětí σ_{RED} stanovíme ze vztahu:

$$\sigma_{RED} = \sqrt{\sigma_X^2 \cdot \sigma_Z^2 - \sigma_X \cdot \sigma_Z} = 178MPa$$

Materiál desky dle DIN je 1.1730, jehož ekvivalentem dle ČSN je materiál 11 600. Dovolené ohybové napětí při míjivém ohybu je $\sigma_{D,O} = 125 - 180MPa$.

4 DISKUSE VÝSLEDKŮ

4.1 Mechanická analýza formy

Z vypočítaných hodnot je zřejmé, že rozměry navržené formy vyhovují podmínkám pro vstřikování plastu při vstřikovacího tlaku 50 MPa.

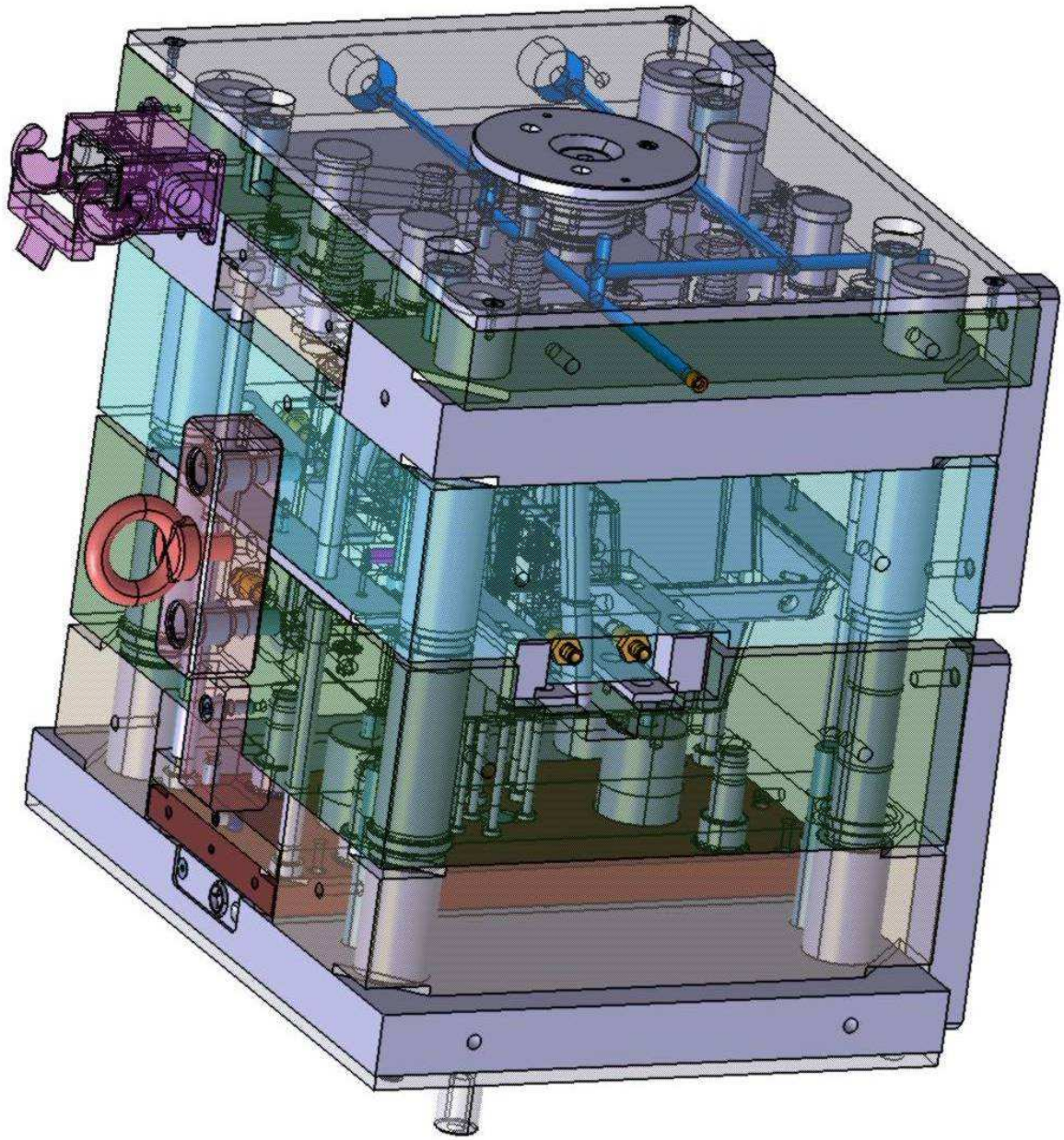
Byla-li by potřeba vstřikovat plast větším tlakem jak 50 MPa, museli bychom dimenzovat hodnoty opěrné desky a rozpěrek na vyšší hodnoty. Například zvětšit tloušťku opěrné desky, zvětšit rozměry rozpěrek, nebo změnit materiál.

4.2 Konstrukce formy

Při konstrukci formy byly použity normálie firmy HASCO.

Úprava jednotlivých normálií byla minimální. Rozměry normalizovaných kusů se vesměs shodovaly s rozměry konstrukčně požadovanými.

Obr.11. Celkový náhled formy



ZÁVĚR

Byla vytvořena parametrická sestava vstřikovací formy držáku světla automobilu v programu Catia V5R12, při konstrukci byly použity normálie firmy HASCO.

Součástí této práce byla i analýza desky formy. Touto analýzou se zjistilo, že opěrná deska vyhovuje mechanickému namáhání, které způsobuje vstřikovaný plast v dutině formy. Navržená opěrná deska může být proto použita při konstrukci formy.

The parametric assembly of stand injection mold of car head light holder was completed in CAD systém Catia V5R12. Using standard parts of HASCO Company.

Analysis of supporting panel of the molder was also a part of the thesis. The analysis has discovered that the supporting panel is resistant to the mechanical stress produced by the injected plastic in the cavity of the molder. The designed supporting panel can therefore be used in the construction of the injection molder.

PŘEHLED POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

p…. zatížení při vstřikování	[MPa]
E …modul pružnosti	[MPa]
b…délka zatížené plochy	[m]
l…šířka zatížené plochy	[m]
t…tloušťka zatížené plochy	[m]
y_D …maximální dovolený průhyb desky	[m]
$\sigma_{0\max}$ …maximální ohybové napětí	[MPa]
Tg …teplota skelného přechodu	[°C]
p_v …vstřikovací tlak	[MPa]
HRc…tvrdost	[Rockwell]
Ra…drsnost povrchu	
S…plocha	[m^2]
f…koeficient tření	
F_v …vyhazovací síla	[N]

PP GF30…polypropylén s 30% plněného skleněných vláken

PŘEHLED POUŽITÉ LITERATURY

[1] TOMIS,F. , HELŠTÝN, J. *Formy a přípravky*, Brno, VUT 1979

[2] Uniplast Brno, *Formy pro zpracování plastů. Díl I a II*, Brno 1999

[3] Firemní katalog normálií HASCO

[4] ŠUBA, Oldřich. *Mechanické chování těles*, Zlín, 2002

[5] LUKOVICS, Imrich. *Konstrukční materiály a technologie*, Brno, VUT 1992

[6] LUKOVICS, Imrich. *Technické kreslení*, Brno, VUT 1988

SEZNAM PŘÍLOH

CD disk obsahující

- Kompletní výkresovou dokumentace
- Bakalářská práce – textovou část

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1. Oblasti využití u amorfních a semikrystalických plastů 8

Obr. 2. Opěrné desky 21

Obr. 3. Výrobek 34

Obr. 4. Vyhazovací systém 38

Obr. 5. Tvarová deska 1 40

Obr. 6. Tvarová deska 2 41

Obr. 7. Vtokový soustava 42

Obr. 8. Systém chlazení v tvarové desce 1 43

Obr. 9. Systém chlazení v tvarové desce 2 44

Obr. 10. Zatížení opěrné desky formy 46

Obr. 11. Celkový náhled formy 49