

Konštrukcia vstrekovacej formy pre plastový diel

Juraj Michálek

Bakalárska práca
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: **Juraj MICHÁLEK**
Studijní program: **B 3909 Procesní inženýrství**
Studijní obor: **Technologická zařízení**

Téma práce: **Konstrukce vstřikovací formy pro plastový díl**

Zásady pro vypracování:

- 1) Vypracujte literární studii na dané téma
- 2) Nakreslete model plastového dílu ve 3D
- 3) Proveďte konstrukci 3D sestavy vstřikovací formy v programu CATIA V5 pro daný plastový díl
- 4) Nakreslete 2D sestavu vstřikovací formy



Rozsah práce:

Rozsah příloh:

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

Seznam odborné literatury:

dle zadání vedoucího BP

Vedoucí bakalářské práce:

Ing. Michal Staněk, Ph.D.
Ústav výrobního inženýrství

Datum zadání bakalářské práce:

13. února 2007

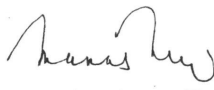
Termín odevzdání bakalářské práce:

31. května 2007

Ve Zlíně dne 17. ledna 2007


prof. Ing. Ignác Hoza, CSc.
děkan




doc. Ing. Miroslav Maňas, CSc.
ředitel ústavu

ABSTRAKT

Cieľom tejto práce bolo vypracovať literárnu štúdiu na danú tému, vytvoriť 3D model zadaného dielu a navrhnúť formu pre jeho vstrekovanie v počítačovom programe CATIA V5R16. Ďalej bolo úlohou vytvoriť výkresovú dokumentáciu v 2D.

Zadaným dielom bolo tlakové veko vyrobené z polyamidu 66 s 30 % plnením sklenenými vláknami.

Zadaný diel bol nakreslený v 3D spolu s formou pre jeho vstrekovanie. Vypracovaná bola tiež potrebná výkresová dokumentácia. Forma bola navrhnutá stavebnicovým spôsobom s použitím normálií firmy HASCO.

Kľúčové slová: Vstrekovanie termoplastov, forma, CATIA, HASCO

ABSTRACT

The aim of this bachelor thesis was to elaborate a literary study on the topic, to create a 3D model of the given part and to design a mould for its injection moulding using CATIA V5R16 software. Furthermore, technical drawing documentation in 2D was to be done.

The given part was a pressure cap manufactured from polyamide 66 with 30 % filling with glass fibers.

The part had been drawn in 3D including the mould for its injection moulding. Needed technical drawing documentation had been elaborated. The mould had been modularly designed using HASCO normalized parts.

Keywords: Thermoplastics injection moulding, injection mould, CATIA, HASCO

PodĎakovanie:

Ďakujem vedúcemu svojej bakalárskej práce Ing. Michalovi Stanĕkovi, Ph.D. za odborné vedenie, ochotne poskytnuté rady, za čas a trpezlivosť ktorú mi venoval pri vypracovávaní bakalárskej práce.

Súhlasím s tým, že s výsledkami mojej práce môže byť naložené podľa uváženia vedúceho bakalárskej práce a riaditeľa ústavu. V prípade publikácie budem uvedený ako spoluautor.

Prehlasujem, že som na celej bakalárskej práci pracoval samostatne a použitú literatúru som citoval.

V Zlíne, 27.5.2007

.....

podpis

OBSAH

OBSAH	6
ÚVOD.....	8
TEORETICKÁ ČASŤ.....	9
1.1 PLASTY	10
1.1.1 ROZDELENIE PLASTOVÝCH MATERIÁLOV.....	10
1.1.2 TERMOPLASTY	10
1.1.3 ÚPRAVA VLASTNOSTÍ TERMOPLASTOV	11
1.1.4 VOĽBA TERMOPLASTU PRI NÁVRHU SÚČASTI.....	12
1.1.5 SPRACOVATEĽSKÉ PODMIENKY PLASTOV	13
1.1.6 RECYKLÁCIA PLASTOV	13
1.2 TECHNOLÓGIA VSTREKOVANIA.....	14
1.2.1 SPRACOVANIE PLASTOV VSTREKOVANÍM	14
1.2.2 VÝSTREK A JEHO KONŠTRUKCIA	14
1.2.3 VSTREKOVACÍ STROJ	15
1.2.4 VSTREKOVACIA JEDNOTKA.....	16
1.2.5 UZAVIERACIA JEDNOTKA.....	17
1.2.6 PRIEBEH VSTREKOVACIEHO CYKLU	17
1.3 FORMY PRE VSTREKOVANIE TERMOPLASTOV.....	18
1.3.1 NÁVRH A VÝROBA FORMY	18
1.3.2 ZAFORMOVANIE VÝSTREKU.....	20
1.3.3 NÁSOBNOSŤ FORMY	20
1.3.4 CAD, CAM.....	21
1.3.5 NORMALIZÁCIA	21
1.3.6 VTOKOVÉ SYSTÉMY.....	21
1.3.7 STUDENÉ VTOKOVÉ SÚSTAVY.....	22
1.3.8 ÚSTIA VTOKU DO DUTINY FORMY	23
1.3.9 VYHRIEVANÉ VTOKOVÉ SÚSTAVY (VVS).....	26
1.3.10 ODVZDUŠNENIE DUTINY FORMY	28
1.3.11 TEMPERÁCIA	29
1.3.12 ZÁSADY VOĽBY TEMPERAČNÝCH KANÁLOV	29
1.3.13 TEMPERAČNÉ MÉDIÁ	30
1.3.14 VYHADZOVANIE VÝSTREKOV	31
1.3.15 TYPY VYHADZOVAČOV	32

1.3.16	INÉ DRUHY VYHADZOVANIA	34
1.3.17	MATERIÁLY PRE VÝROBU VSTREKOVACÍCH FORIEM	34
1.3.18	POŽADOVANÉ VLASTNOSTI OCELÍ.....	35
1.3.19	VOĽBA OCELÍ	35
1.4	ZHRNUTIE ŠTUDIJNEJ ČASTI.....	36
2	STANOVENIE CIEĽOV BAKALÁRSKEJ PRÁCE	37
	PRAKTICKÁ ČASŤ	38
3	EXPERIMENTÁLNA ČASŤ	39
3.1	ŠPECIFIKÁCIA VÝROBKU.....	39
3.2	KONŠTRUKCIA FORMY.....	40
3.2.1	NÁSOBNOSŤ FORMY	40
3.2.2	DELIACE ROVINY A ZAFORMOVANIE VÝROBKU	40
3.2.3	VYHADZOVACÍ SYSTÉM.....	43
3.2.4	VTOKOVÝ SYSTÉM.....	44
3.2.5	TEMPERÁCIA FORMY	45
3.2.6	VÝSLEDNÁ KONŠTRUKCIA FORMY	46
3.2.7	VOĽBA VSTREKOVACIEHO STROJA.....	48
	ZÁVER	49
	ZOZNAM POUŽITEJ LITERATÚRY	50
	ZOZNAM POUŽITÝCH SYMBOĽOV A SKRATIEK	52
	ZOZNAM OBRÁZKOV	53
	ZOZNAM PRÍLOH.....	55

ÚVOD

Výroba výrobkov z plastov (makromolekulárnych látok) nachádza stále väčšie uplatnenie v priemyselnej výrobe. Oproti výrobe z konvenčných materiálov poskytuje často porovnateľné vlastnosti výrobku pri omnoho nižšej hmotnosti a cene výrobku, jednoduchšiu automatizáciu výroby i možnosť recyklácie použitých alebo nepoužitelných dielov. Technológie výroby z plastov zahŕňajú vytlačovanie, valcovanie, vyfukovanie a iné. Táto bakalárska práca sa zaoberá návrhom formy pre vstrekovanie plastového dielu.

Od svojho vzniku v druhej polovici 20. storočia sa technológia vstrekovania rozvíja dodnes obrovskou rýchlosťou. Z prvej výroby gombíkov a hrebeňov sa táto technológia rozrástla takmer do všetkých oblastí priemyselnej výroby. V dnešnej dobe nahrádzajú vstrekované výrobky mnohé výrobky z konvenčných materiálov akými sú napr. kovy, drevo, keramika, sklo atď. Stretávame sa s nimi v našom každodennom živote, či už sú to obaly, armatúry, hračky, súčiastky pre automobilový priemysel, ale i v špeciálnych oblastiach použitia ako sú rôzne konštrukčné diely, chirurgické pomôcky či diely pre kozmonautiku.

So stále stúpajúcou produkciou vstrekovaných častí a rozširovaním ich uplatnenia rastú aj požiadavky na ich kvalitu. To kladie vysoké nároky nielen na chemikov pri príprave zmesí, ale i na konštruktérov vstrekovacích strojov a v neposlednom rade i na konštruktérov foriem pre vstrekovanie plastov. Keďže forma je tou časťou, ktorá dáva výrobku jeho výsledný tvar, je veľmi dôležité jej dokonalé konštrukčné prevedenie. Forma by mala zaistiť nielen tvar výrobku, ale i jeho rozmery, pohľadové vlastnosti povrchu, jeho stabilitu a funkčnosť pre dlhodobé používanie.

V dnešnej dobe sa pre konštrukčné účely vo veľkej miere využívajú rôzne počítačové programy, ktoré nielen že značne zjednodušujú prácu konštruktérovi formy (CAD systémy), pomáhajú výrobcovi formy (CAM systémy) ale i zefektívňujú celý proces odstránením dlhého testovania a úpravy formy softvérovou analýzou toku taveniny vo forme, čo prispieva k ekonomickosti a presnosti výroby.

I. TEORETICKÁ ČASŤ

1.1 Plasty

V prvej časti práce sú uvedené základné vlastnosti polymérnych materiálov, ich rozdelenie a spôsoby spracovania.

1.1.1 Rozdelenie plastových materiálov

Plasty sú materiály, ktorých štruktúra je tvorená makromolekulárnymi reťazcami. Vznikajú polymerizáciou jednoduchších monomérov na polyméry. Delíme ich na 2 základné druhy :

- *termoplasty* : lineárne alebo rozvetvené polymérne látky, ktoré pri ohreve uvoľňujú súdržnosť reťazcov a stávajú sa viskóznymi. V tomto stave je možné ich tvárniť. Po ochladení sú opäť v pevnom stave. Tento proces je opakovateľný,
- *reaktoplasty* : reťazce vytvárajú trojrozmernú sieť. Pri ohreve sa stáva táto sieť pohyblivejšou, no celkom sa neuvolňuje. Pri tvárnení za vyšších teplôt a tlakov nastáva zosieťovanie. U veľmi ohybných reťazcov (elastoméry) nastáva zosieťovanie pri vulkanizácii, čím sa z nich stávajú gumy. Proces sieťovania je nevratný.

U oboch druhov polymérov je rozsah použitia obmedzený. Pri nadmernom ohreve sa pretrhajú chemické väzby, čím hmota stráca pevnosť. Tento proces je nevratný a nazývame ho degradáciou materiálu. Po degradácii je ďalšie spracovanie materiálu nemožné. [1]

1.1.2 Termoplasty

Predstavujú najrozšírenejšiu skupinu plastov. Sú to polyméry s vysokou molárnou hmotnosťou. Tie, ktorých reťazec je tvorený len jedným druhom chemickej skupiny nazývame *homopolymérmí*. Ak sa reťazec skladá z viacerých skupín, nazývame ho *kopolymérom*. Z hľadiska vnútornej štruktúry sa termoplasty delia na :

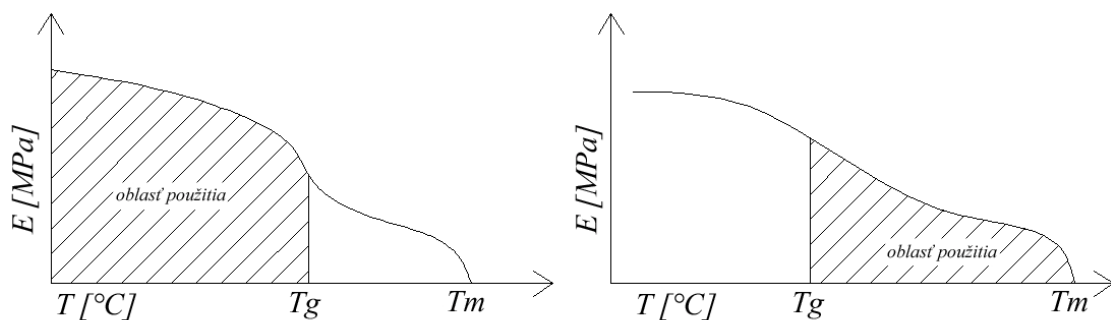
- *amorfné* : reťazce sú nepravidelne preistorovo usporiadané,
- *semikryštalické* : podstatná časť reťazcov je pravidelne usporiadaná v kryštalických útvaroch, zvyšok je amorfný.

U termoplastov sú definované 2 veľmi významné teploty. Sú nimi T_g , teplota skelného prechodu, a T_m , teplota tavenia.

Teplota skelného prechodu je definovaná ako teplota, pod ktorou majú molekuly veľmi malú pohyblivosť. Pod touto teplotou sú termoplasty tuhé, ale i krehké a menej odolné.

Teplota tavenia je teplota, pri ktorej sa uvoľňuje kryštalická štruktúra a látky tuhé sa menia na taveniny (viskózne látky). Všetky termoplasty sú spracúvané nad touto teplotou, kedy sa ich správanie približuje tekutinám.

Využitelnosť amorfných a semikryštalických materiálov sa ohľadom na tieto teploty radikálne líši. Zatiaľ čo u amorfných termoplastov po presiahnutí T_g dochádza k slabnutiu súdržných síl a prechodu do viskoelastickej oblasti (kedy je amorfný polymér už nepoužiteľný), u semikryštalických termoplastov je použiteľnosť práve nad T_g , kedy majú výhodnú kombináciu pevnosti a húževnatosti. [1]



Obr.1: Oblasti pouzitia u amorfných a semikryštalických termoplastov

1.1.3 Úprava vlastností termoplastov

Niekedy je potrebné pri výrobe upravovať vlastnosti zvoleného plastu na základe požiadavok na jeho kvalitu, mechanické vlastnosti či jeho pohľadové funkcie. Základné vlastnosti polymérov sa môžu meniť vplyvom rôznych prísad, čím sa dá upravovať oblasť ich použitia (zlepšenie mechanických, optických a iných vlastností) :

- *plnivá* : práškové alebo vláknité. Upravujú fyzikálne a mechanické vlastnosti plastov. Vláknité plnivá vyztužujú hmotu a dodávajú jej mechanickú pevnosť. Používajú sa hlavne sklenné vlákna,

- *zmäkčovadlá* : pridávajú sa k tvrdým plastom pre získanie mäkkosti a ohybnosti,
 - *farbivá* : slúžia na dosiahnutie požadovaného farebného odtieňu,
 - *stabilizátory* : zlepšujú odolnosť proti vyšším teplotám, UV žiareniu a starnutiu,
 - *nadúvadlá* : pri spracovaní uvoľňujú plyny a vytvárajú zľahčenú štruktúru plastu.
- [1]

1.1.4 Voľba termoplastu pri návrhu súčasti

Technológiou vstrekovania je možné vyrobiť kompletný výrobok bez potreby akéhokoľvek dodatočného opracovávania. Pri výbere konkrétneho termoplastu je treba vopred zvážiť podmienky prevádzkového zaťaženia a využitia súčasti. Súčasť musí mať samozrejme pre výrobu vhodný tvar s dosiahnuteľnými požiadavkami na rozmery a akosť povrchu.

Jednotlivé typy plastov majú svoje charakteristické funkčné i spracovateľské vlastnosti. Ako už bolo spomenuté, tieto sa dajú upraviť pomocou prísad. Z funkčného hľadiska je dôležité hodnotiť predovšetkým:

- mechanickú pevnosť (dlhodobá, krátkodobá, statická, dynamická),
- elektrické vlastnosti (vodivosť, dielektrická pevnosť),
- chemickú odolnosť,
- optické vlastnosti (farba, lesk, priehľadnosť).

Zo spracovateľského hľadiska sú významné iné vlastnosti, ako:

- tekutosť : ovplyvňuje hrúbku steny výrobku, zaformovanie i vtokovú sústavu, čím je následne ovplyvnená aj teplota formy,
- veľkosť zmrštenia : určuje presnosť výroby,
- citlivosť na technologické parametre výrobného zariadenia.

Aj keď tieto vlastnosti plastov sú tabelované, veľkú úlohu pri voľbe konkrétneho termoplastu zohráva praktická skúsenosť. Optimálna voľba plastu sa posudzuje z viacerých hľadísk, akými sú funkčnosť súčasti, realizovateľnosť výrobných technológií na určenom

stroji, ekonomickosť výroby súčasti i formy. Zvolenému typu termoplastu je však treba prispôbiť celý následný proces výroby, inak sa výber ukáže ako chybný. [1]

1.1.5 Spracovateľské podmienky plastov

Na výsledné vlastnosti výrobku majú okrem zvoleného plastu a jeho upravených vlastností obrovský vplyv tiež technologické podmienky výroby. Podmienky ako teplota taveniny a formy, vstrekovací tlak, časové úseky pri vstrekaní, chladnutí či dotlaku, sú určujúce pre mechanické a fyzikálne vlastnosti, izotropiu materiálu vo výrobku, stabilitu rozmerov či samotnú realizáciu výroby.

Pri vstrekaní dochádza v tvarových dutinách a kanáloch na rozvod taveniny k orientácii makromolekúl v smere prúdenia. Po zatuhnutí takto orientovaných makromolekúl vzniká v materiále anizotropia, zamrznutie napätí či nepravidelné zmršťovanie výrobku pri jeho chladnutí.

U materiálov semikryštalických sa dá nastavením spracovateľských podmienok ovplyvniť obsah kryštalinity a veľkosť kryštálov, čím je možné ovplyvniť pevnosť, modul pružnosti a iné fyzikálne – mechanické vlastnosti výrobku.

Všetky tabelované vlastnosti polymérov sú teda len orientačné, pretože sú získavané pri optimálnych spracovateľských podmienkach. V praxi je treba technologické parametre nastaviť tak, aby sa výsledok čo najviac priblížil požadovaným vlastnostiam výrobku. [1]

1.1.6 Recyklácia plastov

Pri vstrekaní často vzniká značný odpad. Sú to vtokové zvyšky, pretoky, či vadné výrobky, ktoré najmä u malých výrobkov často obsahujú viac materiálu ako sám výrobok. Neznečistený odpad sa drtí v nožových mlynoch a následne sa po zmiešaní s čistým granulátom ďalej spracúva. Pred zmiešaním recyklátu s čistým materiálom je však recyklát treba presiať a zabrániť prieniku kovových nečistôt (elektromagnetickým separátorom kovov). Recyklát obvykle znižuje fyzikálne – mechanické vlastnosti materiálu ako celku, je preto potrebné kontrolovať množstvo recyklátu v čistom materiále. U nenáročných výstrekov je možná výroba zo 100 % recyklátu, u transparentných a silne mechanicky namáhaných dielov sa miešanie naopak neodporúča. [1]

1.2 Technológia vstrekovania

Druhá časť študijnej časti práce popisuje proces vstrekovania termoplastov. Zahrnutý je popis vstrekovacích strojov, samotný výrobný cyklus i konštrukčná úprava výrobku tak, aby bol touto technológiou vyrobiteľný.

1.2.1 Spracovanie plastov vstrekaním

Vstrekovanie plastov je zložitý tepelne – mechanický proces tvárnenia, pri ktorom sa do formy pod vysokým tlakom a za zvýšenej teploty vstrekuje tavenina polyméru. Po vstreknutí do chladnejšej formy sa tavenina ochladzuje a tuhne, čím dostáva konečný tvar výrobku. Po otvorení formy vypadáva hotový výrobok. Na tomto procese sa podieľa viacero faktorov :

- materiál, z ktorého je súčasť vyrobená (polymér),
- vstrekovací stroj a zariadenia, ktoré privádzajú taveninu do formy,
- forma ako samotný nástroj tvárnenia materiálu na súčasť.

Kvalita a prevedenie všetkých uvedených faktorov ovplyvňuje výslednú kvalitu výrobku (výstrek). [1]

1.2.2 Výstrek a jeho konštrukcia

Keďže vstrekovanie je technológiou pomerne špecifickou, musí sa konštrukčný návrh vstrekovaneho výrobku riadiť úplne inými zásadami ako napríklad návrh súčastí kovových. Konštruktér musí poznať technológiu a zvažovať procesy ku ktorým pri výrobe dochádza.

Všeobecne platí, že čím je súčasť jednoduchšia, tým má i výhodnejšie pevnostné podmienky, jednoduchšie je i dodržanie jej rozmerov, výroba formy i výrobku je ekonomickejšia. V skutočnosti však vždy treba hľadať kompromisy medzi jednotlivými požiadavkami.

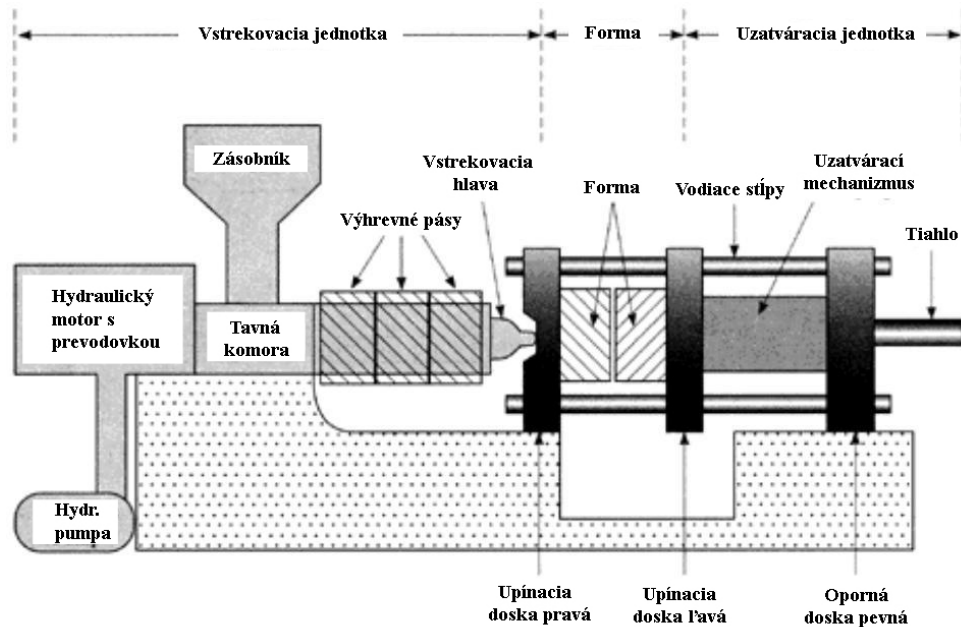
Vstrekané súčiastky nemožno vyrobiť v takých akostiach, ako súčiastky kovové. To je spôsobené pôsobením činiteľov ako sú zmrštenie (ovplyvňujúce presnosť výroby), tečenie pri dlhodobom zaťažení (vzniká plastická deformácia), vysoká teplotná rozťažnosť, navlhavosť atď.

Pri dimenzovaní plastových výrobkov sa odporúča vyhýbať sa hrubým stenám, v ktorých by mohli vznikáť pri tuhnutí rôzne deformácie. Pre zvýšenie mechanickej pevnosti tenkostenných výrobkov je výhodné využiť výstužné rebrá. Taktiež by mal výrobok obsahovať úkosity, ktoré uľahčia jeho vynímanie z formy. Nevhodné sú naopak podkosity, ktoré by vynímaniu z formy bránili. Ostré hrany sa z dôvodu zlej zatekavosti viskoelastickej polymérnej taveniny do ostrých rohov a vzniku vysokých napätí v týchto miestach zaoblujú. Veľké rovinné plochy sú nežiadúce, podopierajú sa rebrami alebo sa pri rotačných tvaroch zhotovujú konkávne či konvexné. Problematické sú tiež závit, ktoré je potrebné dimenzovať s väčším stúpaním ako u závitov kovových, pretože by mohlo dôjsť k ich odlamovaniu. Pre lokálne zvýšenie pevnosti, fixáciu rozmeru alebo spojenie s inými dielmi sa do súčastí zastrekujú vložky z kovových materiálov. [1]

1.2.3 Vstrekovací stroj

Vstrekovací stroj je jedným z hlavných činiteľov výroby. Vyžaduje sa od neho, aby kvalitou svojich parametrov a dokonalým riadením bola zaistená výroba kvalitných výrobkov. V súčasnosti existuje mnoho konštrukčne rôzne prevedených strojov, líšiacich sa od seba prevedením, stupňom riaditeľnosti, stálosťou a reprodukovateľnosťou parametrov, rýchlosťou výroby, cenou i náročnosťou obsluhy. Každý stroj sa však skladá zo základných častí:

- vstrekovacia jednotka,
- uzatváracia jednotka,
- ovládanie a riadenie stroja.



Obr. 2: Schéma vstrekovacieho stroja (zobrazená zrkadlovo)

V súčasnosti sú stroje väčšinou hydraulické alebo hydraulicko – mechanické. Ovládacie prvky bývajú umiestnené na samostatnom paneli. K stroju býva hala vybavená zvyčajne žeriavom, čo uľahčuje manipuláciu s formou i strojom samotným. Stavebnicový systém strojov tiež umožňuje pridávanie rôznych špecializovaných častí akými sú dopravníky, roboty, pomocné vytáčacie zariadenia a pod. Vstrekovací stroj musí pre presnú výrobu spĺňať nasledujúce parametre:

- tuhosť a pevnosť pri vstreku,
- konštantný tlak, rýchlosť, teplota, časovanie,
- presná reprodukovateľnosť všetkých parametrov.

[1]

1.2.4 Vstrekovacia jednotka

Slúži na dopravu požadovaného množstva taveniny s predpísanými parametrami do formy. Do tavného valca je dopravovaný granulát z násypky (zásobníku) pohybom šneku, postupne sa plastifikuje, homogenizuje a hromadí pred jeho čelom. Tavný valec je vyhrievaný výhrevnými pásmi, z ktorých každý má inú teplotu. Valec je zakončený tryskou, ktorá má vlastné vyhrievanie. Táto tryska tiež spája vstrekovacia jednotku s formou. Jej guľové zakončenie zaručuje presné dosadnutie do sedla vtokovej vložky formy. Ich súososť je podmienkou správnej funkcie stroja.

[1]

1.2.5 Uzavieracia jednotka

Ovláda formu a zabezpečuje jej dokonalé uzatvorenie, otvorenie a vyprázdnenie. Veľkosť uzatváracej sily je nastaviteľná a priamo závisí od vstrekovacieho tlaku a plochy dutiny v deliacej rovine. Hydraulické uzatváracie jednotky treba proti pootvoreniu pri vstreku poistiť závorami. Hydraulicko – mechanické jednotky zaručujú vyššiu rýchlosť uzatvárania i potrebné spomalenie tesne pred uzavretím (aby sa predišlo nárazom dosiek). Sú konštruované ako kĺbové mechanizmy ovládané hydraulickým valcom. Niektoré jednotky sú dokonca konštruované bez vodiacich stĺpov. [1]

1.2.6 Priebek vstrekovacieho cyklu

Vstrekovací cyklus sa realizuje na vstrekovacom stroji. Pred vstupom taveniny do formy sa táto musí pripraviť (temperácia, vloženie záliskov, závitových jadier...). Vytemperovaná a upnutá forma je uzavretá uzatváracou silou tak, aby deliaca rovina formy ostala pri vstreku neotvorená. Priebek uzatvárania formy je rýchly, spomaľuje sa tesne pred stykom dosiek, aby nedošlo k ich poškodeniu. Po uzatvorení formy sa k tejto prisunie vstrekovacia jednotka a tryska dosadá na vtokovú vložku formy. Nasleduje vstrek, pri ktorom do dutiny formy vniká tavenina. Následný dotlak kompenzuje zmršťovanie materiálu pri chladnutí pridaním potrebného množstva materiálu. Potom sa vstrekovacia jednotka vráti do pôvodnej polohy a pokračuje chladnutie výrobku. Po dostatočnom ochladení sa forma otvára, výrobok je systémom vyhadzovačov vyhodенý z formy a cyklus začína odznova.

V priebehu cyklu sa uplatňuje mnoho technologických parametrov :

- veľkosť dávky je volená tak, aby naplnila dutinu, rozvodné kanály a kompenzovala zmrštenie pri dotlaku,
- teplota taveniny musí byť volená tak, aby bola viskozita čo najlepšia, ale aby zároveň nedošlo k degradácii materiálu či prílišnému predĺžovaniu cyklu dobou chladnutia,
- veľkosť a doba pôsobenia tlaku musí spoľahlivo naplniť dutinu,

- vstrekovacia rýchlosť musí byť taká, aby nedošlo k predčasnému chladnutiu taveniny pred naplnením dutiny,
- dotlak zabraňuje vytekaniu materiálu z formy a umožňuje kompenzáciu zmrštenia. Jeho doba je obmedzená zatuhnutím vtokovej sústavy,
- chladiaca doba je čas potrebný na schladenie výrobku bez pôsobenia tlaku. Závisí na teplote formy, teplote taveniny, tvare výrobku atď. Podstatne ovplyvňuje celkový čas vstrekovacieho cyklu.

Optimalizácia produkcie sa dosahuje najmä násobnosťou formy, nie neuváženým skrácovaním vstrekovacieho cyklu. Presné nastavenie potrebných spracovateľských parametrov sa zväčša prevádza v skúšobnej výrobe nastavovaním stroja podľa pokusných výstrekov. [1]

1.3 Formy pre vstrekovanie termoplastov

Forma slúži pri vstrekaní ako tvárniaci nástroj, ktorý dáva tavenie (materiálu) konečný tvar a rozmery. Kvalitna formy sa posudzuje na základe týchto požiadavok:

- technické : zaručujú správnu funkciu formy, ktorá musí vyrobiť požadovaný počet výrobkov v požadovanej kvalite a presnosti. Musí tiež spĺňať podmienku jednoduchej manipulácie a obsluhy,
- ekonomické : nákupná cena, produktivita práce, využitie materiálu,
- spoločenskoestetické : umožňujú vytvárať vhodné prostredie pri bezpečnej práci. Vyžadujú dodržanie všetkých bezpečnostných zásad pri konštrukcii, výrobe aj prevádzke formy. [1]

1.3.1 Návrh a výroba formy

Výroba dielov vstrekaním prebieha vo forme v krátkom čase za pôsobenia vysokých teplôt a tlakov. Z toho vyplývajú základné požiadavky na formu:

- vysoká presnosť a požadovaná akosť funkčných plôch dutiny i iných dielov,
- maximálna tuhosť a pevnosť jednotlivých častí formy ako i celku pre zachytenie potrebných tlakov,

- správna funkcia formy, vhodný vtokový systém, vyhadzovanie, odvzdušnenie, temperovanie a pod.,
- optimálna životnosť zaručená konštrukciou, materiálom i výrobou.

Väčšie nároky na presnosť a akosť foriem sa prejavujú na zvýšenej pracnosti konštrukcie i výroby ako i zvýšenej cene.

Pre konštruktéra foriem slúži ako hlavný podklad výkres výrobku spolu s inými doplňujúcimi údajmi ako je typ stroja, materiál, rozsah produkcie atď. Postup konštrukcie potom zahŕňa:

- prehodnotenie tvaru výrobku s ohľadom na hrúbku stien, tvar, tolerancie rozmerov, zaoblenie ostrých hrán a pod.,
- zaformovanie výrobku s určením deliacej roviny. Rešpektovať treba funkciu a vzhľad výrobku (stopa po deliacej rovine), úkoso pre jednoduché vyhodenie výrobku z formy, prihliadať treba i na zložitosť formy odvíjajúcu sa od voľby deliacej roviny (deliacich rovín),
- stanovenie násobnosti formy s usporiadaním dutín, návrhom vtokového systému, rozvodných kanálov, ústia vtoku a pod.,
- koncipovanie vyhadzovacieho systému, odvzdušňovania dutín a ich temperácie,
- zaistenie formy na stroji z hľadiska správnej funkcie (súosnosť vtokovej vložky s tryskou stroja) i bezpečnosti práce,
- kontrola funkčných parametrov s ohľadom na zvolený typ stroja (vstrekovací tlak, uzatvárací tlak).

Pri výrobe formy sa väčšinou postupuje tzv. stavebnicovým spôsobom, čo znamená že mnohé časti formy (vtokové vložky, vodiace prvky, samotné dosky, vyhadzovače atď.) sú vyrábané v sériách špecializovanými firmami a pri výrobe formy poskladané do celku. Na výrobu náročnejšie sú tvarové dutiny, ktoré musia mať predpísaný povrch a často sú veľmi zložité. Preto tvárnik sa zväčša vyrába s hornou toleranciou, aby bolo možné po skúšobnej prevádzke jeho rozmery upraviť. Tvárnica naopak, je vyrábaná so spodnou toleranciou, aby sa v prípade potreby mohla zväčšiť. Konštruktér tiež predpisuje tepelné spracovanie povrchov formy, aby bola zaručená potrebná životnosť dielov formy. [1]

1.3.2 Zaformovanie výstreku

Správna voľba deliacej roviny a následné zaformovanie výstreku je zásadné pri návrhu konštrukcie formy. Odvíja sa od neho dodržanie tvaru výrobku i ekonomickosť výroby formy i výrobkov. Deliacia rovnia býva spravidla rovnobežná s upínaním formy (s doskami formy). Môže však mať i šikmý či zaoblený tvar, ak je to nutné býva doplnená pomocnými vedľajšími deliacimi rovinami. Nepresnosti v deliacej rovine sú nežiadúce, pretože spôsobujú nedovieranie formy a zatekanie materiálu do tejto plochy (pretoky). Pri návrhu deliacej roviny sa riadime niekoľkými zásadami:

- jednoduché vynímanie výrobku z formy,
- pravidelný, jednoduchý geometrický tvar, dobre zlícovateľný,
- deliacia rovina by mala prebiehať v hranách výrobku,
- stopa po rovine nesmie byť funkčnou ani vzhľadovou prekážkou,
- u viacerých deliacich plôch volíme ich najmenší možný počet. [1]

1.3.3 Násobnosť formy

Optimálna voľba násobnosti formy vyžaduje zváženie viacerých požiadavok, ako napríklad charakter výrobku, požadované vyrobené množstvo výrobkov, dodacia doba, kapacita vstrekovacieho stroja i ekonomickosť výroby. Pre tvarovo príliš náročné, veľkorozmerové, alebo výstreky s vysokou presnosťou volíme formu jednonásobnú. Pri väčšom počte dutín hrozí totižto rozdielna kvalita výrobkov z jednotlivých dutín z dôvodu rozdielnych dráh, teplôt a tlakov taveniny. Rozhodujúci je tiež typ vstrekovacieho stroja, ktorý svojou kapacitou a výkonom musí dostatočne naplniť všetky dutiny formy i s rezervou (asi 20 %).

Násobnosť formy sa volí podľa viacerých parametrov:

- podľa vstrekovacej kapacity stroja,
- podľa plastikačného výkonu stroja,
- podľa uzatváracej sily,
- podľa termínu dodávky. [1]

1.3.4 CAD, CAM

V dnešnej dobe sa pri postupe návrhu konštrukcie i samotnej výrobe foriem upúšťa od konvenčných metód rysovania výkresov ich kontroly a následného návrhu výroby. Zaslúžil sa o to rozvoj CAD (computer aided design – počítačom podporovaný návrh) a CAM (computer aided manufacturing – počítačom podporovaná výroba) systémov. Postup je taký, že na základe 3D modelu formy vymodelovaného v CAD systéme (CATIA, ProEngineer, Inventor...) sa vygeneruje za pomoci CAM systému (UGS Corp, Dassault Systèmes, PTC ...) CNC kód pre numericky riadené obrábacie stroje, ktoré vymodelovanú súčasť priamo vyrobia. [7]

1.3.5 Normalizácia

Mnoho spoločností dnes ponúka svoje stavebnicové systémy pre výrobu foriem pre vstrekovanie plastových dielov. Tieto spoločnosti spravidla poskytujú katalógy, v ktorých majú normalizované rozmerové rady jednotlivých súčastí (vyhadzovače, dosky, vodiace prvky, vtokové vložky, temperačné prvky, nosné prvky, ovládacie prvky atď.). Podľa zvoleného rámu potom konštruktér skladá formu použitím dielov z danej rozmerovej rady. Tento systém normalizácie zjednodušuje prácu konštruktérovi a tiež umožňuje vyššiu kompatibilitu foriem so strojmi. [7]

1.3.6 Vtokové systémy

Vtokový systém slúži na dopravu polymérnej taveniny z trysky stroja do dutiny formy. Musí pri tom zaručiť úplné naplnenie dutiny v čo najkratšom čase a s minimálnymi odpormi. Prietok taveniny kanálmi či tryskami je charakterizovaný zložitými tepelne – hydraulickými pomermi. Správna voľba vtokového systému má podstatný vplyv na kvalitu a vzhľad výrobku, spotrebu materiálu, náročnosť na opracovanie hotového výrobku, energetickú a finančnú náročnosť výroby. Základné delenie vtokových systémov je na :

- studené vtokové sústavy,
- vyhrievané vtokové sústavy.

[1]

1.3.7 Studené vtokové sústavy

Studená vtoková sústava sa skladá z vtokovej vložky, rozvodných kanálov a ústia do dutiny formy. Pri voľbe konkrétneho vtokového systému je nutné vychádzať z toho, že tavenina sa vstrekuje do relatívne studenej formy, čo spôsobuje prudký nárast viskozity na stenách kanálov. Ztuhnutý plast na stenách vytvorí tepelnú izoláciu a umožňuje prúdenie taveniny stredom kanálu. Za tohto stavu sa naplní celá dutina. V tomto okamžiku prudko klesne prietok a odvodom tepla do stien formy nastáva tuhnutie taveniny. V prípade že stroj už nie je schopný prekonať tlakové straty, dochádza k poklesu rýchlosti vstreku a celkovému ochladeniu plastu v dutine formy i vo vtokovom systéme.

Funkčné riešenie vtokového systému musí zabezpečovať:

- čo najkratšiu dráhu toku taveniny od trysky stroja do dutiny bez tlakových a časových strát,
- pri viacnásobných formách musí byť dráha toku taveniny ku všetkým dutinám rovnaká, aby sa zabezpečila homogenita vlastností všetkých výrobkov v sérii,
- prierez kanálov musí byť dostatočne veľký na to, aby umožnil pôsobenie dotlaku. Pritom však treba prihliadať i k spotrebe plastu (zvyšok po vtokovej sústave),
- kanál má mať minimálny povrch pri maximálnom priereze, čomu odpovedá prierez kruhový. Z výrobných dôvodov volíme kanál lichobežníkový,
- u násobných foriem je vhodné prierez stupňovať, aby ostala rýchlosť prúdenia konštantná.

Pri konštrukcii kanálov je vhodné všetky hrany zaoblovať, úkosovať a leštiť pre jednoduché odstránenie zbytku. Tiež pri záhyboch sa odporúča kanály predlžovať, aby bolo zachytené chladnejšie čelo taveniny, ktoré by mohlo spôsobiť anizotropiu materiálu vo výstreku.

[1]

1.3.8 Ústia vtoku do dutiny formy

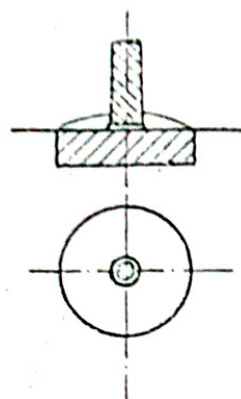
Vtokové ústie sa vytvára zúžením rozvádzacieho kanálu. Nezúžený vtok sa používa len vo výnimočných prípadoch, akým je napríklad potlačenie prepadlín pri veľkoobjemových výstrekoch. Týmto zúžením sa zvýši klesajúca teplota taveniny tesne pred jej vstupom do tvarovej dutiny formy. Obmedzí sa tým strhávanie ochladených vrstiev polyméru z obvodu vtoku a tým i tvorba defektov.

Vtokové ústie sa volí čo najmenšieho prierezu v závislosti na charaktere výstreku, materiálu i použitej technológii. Veľkosť zúženého prierezu však musí spoľahlivo naplniť dutinu formy a tiež musí umožniť pôsobenie dotlaku. Dĺžka sa volí spravidla čo najmenšia, s ohľadom na pevnosť použitého materiálu.

Tvar ústia vtoku býva štrbinový pre ploché výstreky, kruhový pre rotačné výstreky. Šírka je spravidla menšia ako šírka rozvodného kanálu. Hrúbka (prierez) sa určí podľa objemu výstreku. Pri konštrukcii sa doporučuje voliť vtokové ústie menšie, s možnosťou úpravy pri skúšobnej prevádzke.

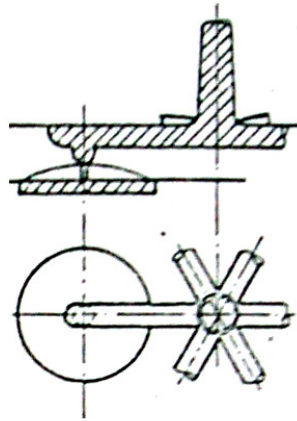
Typy vtokových ústí:

- *plný kužeľový* : bez zúženia, vhodný pre výstreky s hrubými stenami, jednonásobné formy so symetrickou dutinou. Účinný z hľadiska dotlaku.



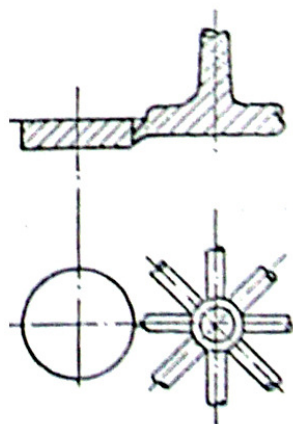
Obr. 3: Plný kužeľový vtok

- *bodový* : zúžené ústie kruhového prierezu. Pri odformovaní dochádza k odtrhnutiu vtokového zbytku od výstreku (trojdoskové formy).



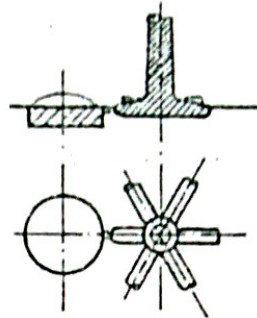
Obr. 4: Bodový vtok

- *tunelový* : zvláštny prípad bodového vtoku. Nevyžaduje viacdoskovú konštrukciu.



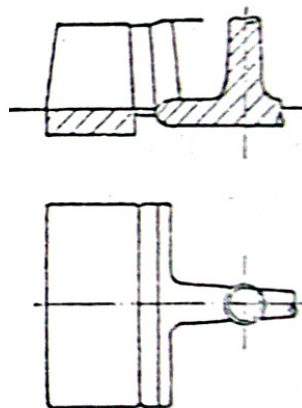
Obr. 5: Tunelový vtok

- *bočný* : obvykle obdĺžnikový prierez. Najpoužívanéjšie vtokové ústie. Pri automatickom cykle vyžaduje orezávacie zariadenie na oddelenie vtokového zbytku.



Obr. 6: Bočný vtok

- *filmový* : plnenie kruhových dutín. Dodržiava rovinnosť a presnosť výstreku, odstraňuje studené spoje, znižuje rýchlosť plnenia dutiny. Vzhľadom k obtiažnemu odstraňovaniu zbytku volíme prierez čo najmenší.



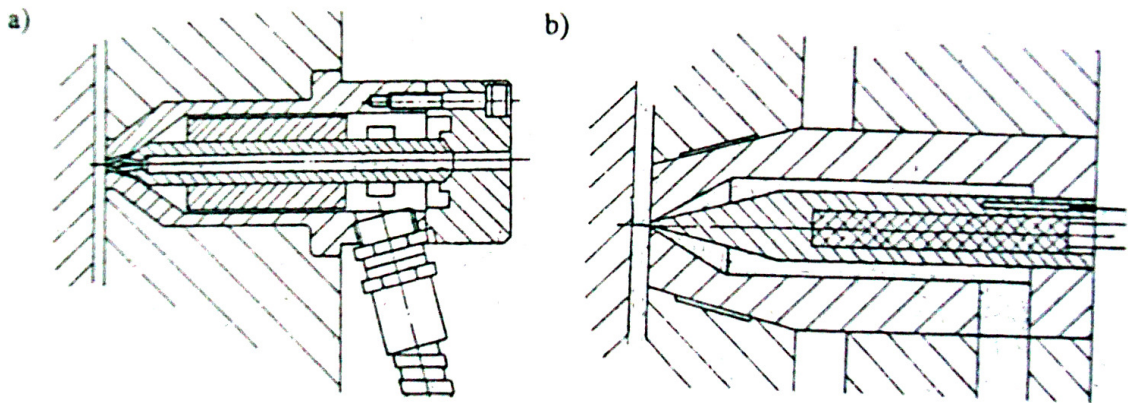
Obr. 7: Filmový (štrbinový) vtok

Rozhodujúci vplyv na vzhľad a kvalitu výrobku má i umiestnenie vtokového ústia. Dutina je pokiaľ možno plnená len jedným vtokom, aby sa predišlo vzniku tzv. studených spojov. Sú to miesta, kde sa pri plnení dutiny viacerými vtokmi spája čiastočne ochladený materiál. Takýto spoj má výrazne nižšiu mechanickú pevnosť. Umiestňovanie vtokového ústia sa riadi nasledujúcimi zásadami:

- čelo taveniny by malo byť priamkové (filmové vtoky, tunelové),
- u obdĺžnikových výstrekov sa ústie vtoku umiestňuje do kratšej strany z dôvodu orientácie makromolekúl, poprípade plnív,
- tavenina má tiecť z miesta s najväčším prierezom do miesta s najmenším prierezom, kvôli možnosti dotlaku,
- ústie sa umiestňuje do geometrického stredu dutiny, aby tavenina zatekala do všetkých miest rovnomerne,
- tavenina má prúdiť v smere výztužných rebier,
- je vhodné vyhýbať sa miestam s veľkým mechanickým namáhaním či opticky činným plochám,
- je potrebné brať ohľad na možnosť úniku vzduchu z dutiny,
- u výstrekov s otvormi sa umiestňuje ústie vtoku do týchto otvorov,
- zamedzuje sa voľnému (turbulentnému) plneniu dutiny. Krátko po vstupe do dutiny má tavenina naraziť na prekážku. [1]

1.3.9 Vyhrievané vtokové sústavy (VVS)

Výhodou vyhrievaných vtokových sústav je, že pri ich použití nezostáva vtokový zbytok, čo znižuje spotrebu materiálu i nároky na opracovanie výrobku. Súčasným typom VVS predchádzali rôzne jednoduchšie systémy, ako zosilnené vtoky, izolované vtokové sústavy s predkomôrkami atď. Dnes sa používajú vyhrievané trysky, ktoré sa vyznačujú minimálnym poklesom tlaku a teploty taveniny, zatiaľ čo zaručujú ideálne tokové vlastnosti taveniny. To umožnila najmä výroba minimálnych a vysokovýkonných výhrevných telies a iných dielov trysiek.



Obr. 8: Vyhrievaná tryska s vonkajším (a) a vnútorným (b) vyhrievaním

Od foriem so studenými vtokovými sústavami sa líšia formy s VVS predovšetkým tým, že tieto systémy sa nakupujú od špecializovaných výrobcov. Pred použitím určitého typu je teda potrebné vyžiadať si od výrobcu potrebné technické údaje i dokumentáciu.

Využívanie vyhrievaných vtokových sústav stále narastá, pretože:

- umožňujú automatizáciu výroby,
- skracujú výrobný cyklus,
- znižujú spotrebu materiálu,
- znižujú náklady na dokončovacie práce,
- odpadá recyklácia vtokových zbytkov.

Technológia vstrekovania pomocou VVS spočíva v tom, že tavenina po naplnení dutiny formy zostáva v celej oblasti vtoku až po ústie formy v plastickom stave. To umožňuje použiť len bodové vyústenie malého prierezu. Aj napriek tomu je možné čiastočne pracovať s dotlakom. Celá sústava umožňuje jednoduchú demontáž, čistenie a spätnú montáž. [1]

1.3.10 Odvzdušnenie dutiny formy

Dutina formy je pred vstreknutím taveniny naplnená vzduchom. Pri jej plnení je potrebné zabezpečiť odvod tohto vzduchu a prípadných splodín. Požadovaná účinnosť odvzdušňovania je úmerná rýchlosti plnenia dutiny.

Odvzdušňovanie dutiny formy je veľmi dôležitým faktorom pri výslednej kvalite výstrelu. Dôležitosť odvzdušnenia obvykle vyplynie až pri skúšobnej prevádzke formy, kedy jeho nekvalitné prevedenie býva príčinou chybného vzhľadu či nedostatočných mechanických vlastností výrobku.

Najčastejším problémom pri rýchlom plnení je stlačenie vzduchu, tzv. Dieslov efekt. Je to spálené miesto na výrobku, ktoré vzniká dôsledkom zvýšenej teploty komprimovaného vzduchu. Protitlak stlačeného vzduchu tiež zvyšuje pri plnení dutiny nároky na vstrekovací tlak, ktorého zvyšovaním sa vnášajú do výrobku zbytočné pnutia. Pri nižších teplotách a teda zvýšenej viskozite taveniny môže zase dôjsť vplyvom stlačeného vzduchu k nedostatočnému zatekaniu taveniny do dutiny a teda nedotečenému výstrelu. V neposlednej rade môže tento vzduch spôsobovať bubliny vo výrobku, čo je opäť nežiaduce.

Voľba miest pre odvzdušnenie je spravidla veľmi obtiažna, často sa realizuje pri skúšobnej prevádzke na základe analýzy vád na výstrelu (spálené miesta, bubliny, nedotečené miesta). Odvzdušnenie je možné realizovať:

- stredným trňom,
- odvzdušňovacími vložkami z poréznych materiálov,
- okolo vyhadzovačov (vôľa v uložení),
- delenými kruhovými vložkami,
- drážkami frézovanými pre tento účel (priemery rádovo 10^{-2} mm),

Rozmery odvzdušňovacích kanálov sa volia s prihliadnutím na viskozitu použitého materiálu, použitý vstrekovací tlak, objem a tvar výrobku i umiestnenie vtokov do dutiny formy. Je tiež treba pamätať na pravidelné čistenie týchto kanálov, ktoré sa vplyvom splodín ľahko zanášajú, čím sa znižuje efektívnosť odvzdušňovania formy, teda i kvalita výrobkov. [1]

1.3.11 Temperácia

Temperácia slúži k udržiavaniu konštantného teplotného režimu formy. Cieľom je dosiahnuť optimálne krátkeho pracovného cyklu pri dodržaní technologických požiadavkov na výrobu. Temperácia sa realizuje ochladzovaním, poprípade vyhrievaním formy alebo jej častí.

Vstrekovaná tavenina polyméru sa v tvarovej dutine formy ochladzuje a tuhne. Temperácia tejto dutiny zaisťuje chladnutiu optimálne podmienky. Pri každom vstreku sa forma ohrieva, čo vyžaduje odvod tepla temperačnou sústavou, aby v ďalšom cykle boli zaručené rovnaké technologické podmienky (homogenita vlastností výrobkov jednej série). V špeciálnych prípadoch sú rôzne časti formy temperované odlišne, čím sa eliminujú tvarové deformácie spôsobené anizotropiou zmrštenia plastu.

Teplo sa z formy odvádza (privádza) predovšetkým temperačným systémom. Mimo toho sa prejavujú i straty tepla z formy vedením do upínacieho ústrojenstva stroja, odvodom tepla okolným vzduchom a tiež vyžarovaním tepla do okolia. Teplota formy (najmä jej dutiny) po vstreku kolísava. Najskôr jej teplota stúpne, potom sa teplo odvádza doskami a temperačným systémom. Správne riešenie tohto systému kolísanie teplôt minimalizuje.

Temperačný systém formy je tvorený sústavou kanálov a dutín, ktorými prúdi vhodné temperačné médium. U foriem, kde sa vyžaduje vyššia teplota, sa používa spravidla elektrické vyhrievanie. [1]

1.3.12 Zásady voľby temperačných kanálov

Rozmery a rozmiestnenie kanálov sa volia s ohľadom na celkové riešenie formy. Pri návrhu ich vzdialenosti od funkčnej dutiny sa prihliada v prvom rade na dostatočnú pevnosť a tuhosť steny dutiny. Povrch temperačných kanálov slúži ako prestupová plocha pre teplo. Z výrobných i fyzikálnych dôvodov býva prierez kanálov kruhový. V špeciálnych prípadoch je možné použiť tiež vyfrézované obdĺžnikové drážky, ktoré však treba vodotesne utesniť či do nich vložiť medené trubky. Pre zvýšenie efektivity odvodu tepla je vhodnejšie voliť väčší počet menších kanálov ako naopak. Okolo dutiny sa kanály rozmiestňujú rovnomerne, všade v rovnakej vzdialenosti. V miestach, kde má výrobok väčšiu hrúbku, je vhodné kanály stene dutiny priblížiť. Ďalšie zásady:

- kanály sa umiestňujú tam, kde je forma v styku s prúdom taveniny (oproti vtoku),
- prietok chladiacej kvapaliny je regulovaný tak, aby prúdila od najteplejšieho miesta k najchladnejšiemu (u ohrevu naopak),
- v kanáloch nesmú byť prítomné mŕtve kúty, pretože sú ohniskami korózie,
- pred vstupom kvapaliny do úzkych temperačných kanálov býva zaradený filter
- kanály sa dimenzujú tak, aby sa dali prepojiť hadicami rôznymi spôsobmi a s rôznym poradím (pre prípadnú optimalizáciu)

V praxi sú temperačné kanály často volené podľa skúseností konštruktéra. Tieto návrhy sú však u zložitejších foriem málokedy optimálne. S rozvojom výpočtovej techniky sa stále viac používajú simulačné programy, ktoré pomáhajú optimálnej voľbe temperačného systému analýzou tepelných procesov pri výrobe. Výsledok má vplyv na kvalitu i produktivitu výroby. [1]

1.3.13 Temperačné médiá

Sú to médiá, ktoré forme umožňujú udržiavať stály teplotný režim. U aktívnych médií sa spravidla jedná o kvapaliny, ktoré núteným prúdením pretekajú temperačnými kanálmi. Dochádza tak k prestupu tepla medzi kvapalinou a formou. Medzi najčastejšie používané kvapaliny patria:

- *voda* : výhodou vody je nízka cena, viskozita, vysoký prestup tepla a ekologická nezávadnosť. Nevýhodou je rozsah použiteľnosti (bez použitia tlakových obvodov len do 90°C) a zanášanie kanálov vodným kameňom či koróziou,
- *oleje* : sú temperovateľné i nad 100°C, majú však vyššiu viskozitu a zhoršený prestup tepla. Pri poruche obvodu znečisťujú prostredie,
- *glykoly* : nespôsobujú koróziu a ucpávanie systému, časom sa však ich kvalita zhoršuje. Náročná je aj ich likvidácia.

Chladienie vzduchom sa používa najmä k odvodu tepla z povrchu formy a stroja. Vzhľadom k jeho malej účinnosti ho používame len tam, kde použitie kvapaliny nie je kvôli nedostatku miesta možné (tenké tvárniky, jadrá a vyhadzovače).

V prípade že teplo dodané taveninou je menšie ako tepelné straty do okolia, inštalujú sa do formy výhrevné elektrické patróny. Je treba dbať na to, aby boli vždy v tesnom kontakte s povrchom formy, čím sa zabráni lokálnemu prehriatiu a poškodeniu patrón. Možné je i využitie špeciálnych gelov s vysokým prestupom tepla, ktoré jednak eliminujú vzduchové medzery a tiež bránia zavareniu patróny do formy. Doporučuje sa tiež, aby elektrické vývody boli zavedené do pevného konektoru na tele formy. Pre umiestňovanie týchto patrón platia obdobné zásady ako pre rozmiestňovanie rozvodných kanálov.

Ako pasívne prostriedky sú označované tepelne izolačné materiály, ktoré izolujú formu od stroja, leštenie povrchu formy pre zabránenie strát vyžarovaním, rôzne tepelne vodivé materiály atď. [1]

1.3.14 Vyhadzovanie výstrekov

Je to činnosť, pri ktorej sa z dutiny formy alebo z tvárniku otvorenej formy vytlačí hotový výrobok. K tomu slúži vyhadzovací mechanizmus, ktorý dopĺňa formu a zaisťuje automatický výrobný cyklus. Základnou podmienkou dobrej funkcie vyhadzovacieho systému je vhodná konštrukcia výrobku, jeho hladký povrch a úkosovitosť stien v smere vyhadzovania. Vysúvanie výrobku má byť rovnomerné, aby nedochádzalo k spriečovaniu výstreku alebo jeho trvalým plastickým deformáciám.

Umiestňovanie vyhadzovacích kolíkov môže byť rozmanité. Používajú sa i na vytváranie funkčných častí dutiny. Po týchto kolíkoch spravidla zostávajú na výstreku stopy. Koncipované preto bývajú tak, aby tieto stopy boli na tej strane výrobku, na ktorej tieto stopy neprekážajú (opticky neaktívna). Okrem výstreku sa vyhadzuje i vtokový zbytok, ktorý je možné pri vhodnej koncepcii (napr. trojdoskové systémy) oddeliť priamo vo forme.

Pohyb vyhadzovacieho systému sa zabezpečuje:

- kolíkom, ktorý sa pri otváraní formy zapiera o stroj,
- hydraulickým alebo pneumatickým zariadením,

- ručne.

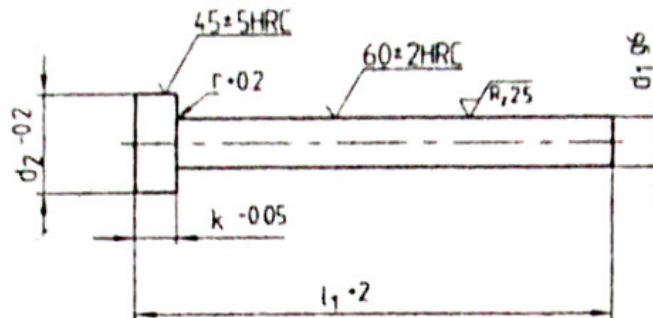
Spätný pohyb je zabezpečený buď pružinami, alebo ovládaný hydraulicky. Veľkosť vyhadzovacej sily závisí na mnohých faktoroch. Táto sila musí prekonať tlak vyvinutý zmrštením výrobku na tvárnik, pružné deformácie formy, členitosť výstreku atď. a zároveň nesmie poškodiť výrobok.

Najrozšírenejším spôsobom vyhadzovania je mechanické vyhadzovanie pomocou vyhadzovacích kolíkov (vyhadzovačov). Tento systém sa skladá z vyhadzovacích dosiek, v ktorých sú vyhadzovače ukotvené. Dosky sú spojené s hydraulickým odvodom stroja, ktorý ovláda ich posuv. Pri otvorení formy sa dosky pohybujú, čím dochádza k posuvu vyhadzovačov a vyhodeniu výrobku z tvárniku. Dôležité je tiež umiestnenie vyhadzovačov na výrobku. Spravidla býva ich poloha volená tak, aby sa dotýkali stien či rebier, nesmú ich však prebárať. Uloženie vyhadzovacích kolíkov vo forme slúži k odvzdušneniu dutiny. [1]

1.3.15 Typy vyhadzovačov

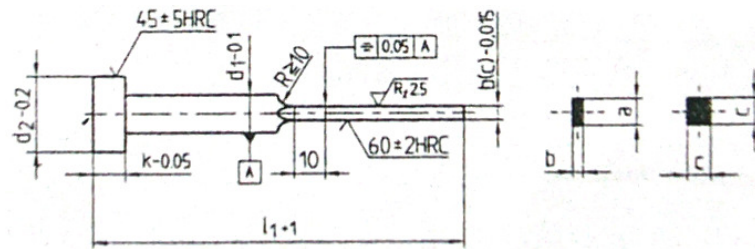
Vyhadzovače sa vyrábajú vo viacerých prevedeniach :

- *valcové* : najjednoduchší typ vyhadzovačov, jedná sa o dlhý valcový kolík,



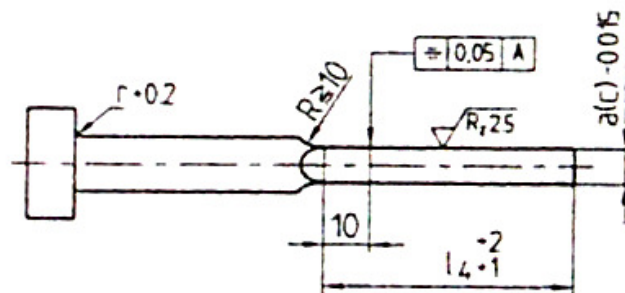
Obr. 9: Valcový vyhadzovač

- *tvárové* : špeciálne tvarované vyhadzovače na vyhadzovanie tvarovo zložitých výrobkov,



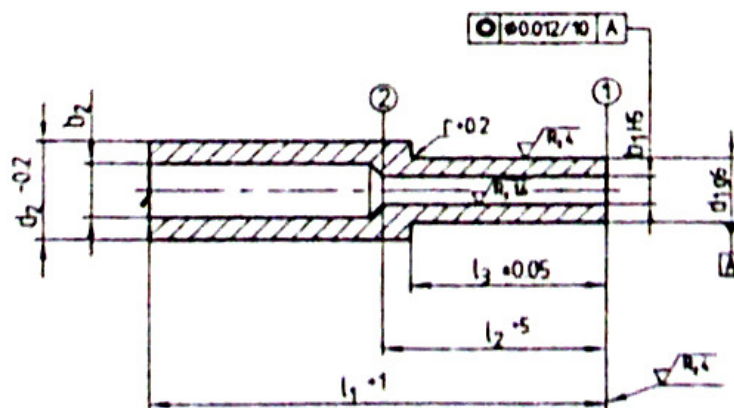
Obr. 10: Tvarový prizmatický vyhadzovač

- *prizmatické* : valcový vyhadzovač ukončený zúženým prierezom, používa sa na vyhadzovanie výztužných rebier,



Obr. 11: Prizmatický vyhadzovač

- *trubkové* : má funkciu stieracej dosky a pracuje ako kolík. Používa sa tam, kde by vyhadzovanie kolíkmi mohlo poškodiť výrobok. [1]



Obr. 12: Trubkový vyhadzovač

1.3.16 Iné druhy vyhadzovania

Okrem vyhadzovania vyhadzovacími kolíkmi existujú aj iné spôsoby vyhadzovania:

- *stieracou doskou* : predstavuje vyhadzovanie výstrelu z tvárniku tlakom po celom jeho obvode. Vzhľadom k veľkej stykovej ploche nezanecháva na výrobku žiadnu stopu po vyhadzovaní. Používa sa najmä u tenkostenných výrobkov, kde hrozí nebezpečenstvo ich deformácie. Pre zvýšenie životnosti je doska obvykle vyložená tepelne spracovanou tvarovou vložkou,
- *pneumatické (vzduchové)* : vhodné pre vyhadzovanie tenkostenných nádob, ktoré kvôli deformácii potrebujú pred vyhodnením z dutiny formy zavzdušniť. Funguje na princípe zavádzania tlakového vzduchu medzi výstrek a tvárnik. Vzduch je privádzaný ventilmi, kolíkmi alebo ihlami. Výrobok je tak vyhadzovaný rovnomerne, bez vzniku lokálnych preťažení. Vyžaduje veľmi presnú výrobu formy v oblasti pôsobenia vzduchu.
- *šikmými kolíkmi* : špeciálna forma mechanického vyhadzovania. Používame ho pre vyhadzovanie výstrekov s plytkým zápichom. Pri pohybe vyhadzovače šikmým pohybom uvoľnía zväčšenú (zmenšenú) časť výstrelu pri jeho súčasnom vyhodnení. Zápich môže byť vytvorený na samotných kolíkoch, alebo na čeľustiach, ktoré sú posuvne spojené s kolíkmi a pohybom po šikmých kolíkoch sa rozovierajú. [1]

1.3.17 Materiály pre výrobu vstrekovacích foriem

Formy ako komplikované a nákladné nástroje pre vstrekovanie musia spĺňať vysoké nároky na kvalitu, životnosť a výrobné náklady. Významným činiteľom pre splnenie týchto podmienok je materiál, z ktorého je forma vyrobená. Je ovplyvnený rôznymi podmienkami výroby, ako druhom použitého plastu, požiadavkami na presnosť a akosť výrobku, podmienkami pri vstrekaní (tlak, teplota) či samotným vstrekovacím strojom.

Pre výrobu foriem sa teda používajú materiály, ktoré sú schopné zaručiť kvalitnú a ekonomicky rentabilnú výrobu. Sú to najmä oceli vhodných vlastností, neželezné zliatiny kovov a iné materiály (izolačné).

Oceli sú najpoužívanejším materiálom pri výrobe foriem. Svojimi mechanickými vlastnosťami sú takmer nenahraditeľné. [1]

1.3.18 Požadované vlastnosti ocelí

Jednotlivé diely foriem vyžadujú svojou funkciou špecifické vlastnosti použitého materiálu. Od použitých materiálov na výrobu foriem sa vyžaduje najmä dostatočné mechanická pevnosť a dobrá obrobitelnosť. Životnosť a správna funkcia formy je tiež podmienená správnym zaobchádzaním a údržbou.

Z hľadiska technológie výroby má materiál funkčných dielov zaisťovať špeciálne požiadavky na kvalitu štruktúry :

- dobrá leštiteľnosť a obrobitelnosť,
- odolnosť voči oteru,
- odolnosť voči korózii a chemickým vplyvom,
- vyhovujúca kaliteľnosť,
- stálosť rozmerov.

[1]

1.3.19 Voľba ocelí

Často sa pri voľbe materiálu musia robiť isté ústupky, pretože sa vyžadované vlastnosti navzájom vylučujú (húževnatosť vs. tvrdosť). Na najviac mechanicky namáhané diely (tvárnik, tvárnica, tvarové vložky) sa najčastejšie používajú oceli rady 19 – oceli nástrojové. Predpis tepelného spracovania potom priamo závisí od konkrétneho zvoleného typu ocele a požiadavok na vlastnosti konštruovaného funkčného dielu. Pre málo namáhané súčasti foriem (rozperky, dorazy...) sa volia oceli rady 11. Na výrobu dosiek u ktorých sa vyžaduje vyššia pevnosť sa používa konštrukčných uhlíkových ušľachtilých ocelí rady 12, najčastejšie povrchovo kalených. Na vyhadzovacie kolíky a iné časti, u ktorých je dôležitá pevnosť i húževnatosť zároveň, sa používajú cementačné oceli rady 14, ktoré sa cementujú a následne kalia na vysoké výsledné tvrdosti.

Pri voľbe ocelí na jednotlivé diely je potrebné vždy brať do úvahy viacero faktorov, akými sú samozrejme kvalitatívne požiadavky (pevnosť, povrchové vlastnosti, rozmerová stabilita), no nemožno zabúdať ani na ekonomickú dostupnosť zvolených materiálov. Forma sa konštruuje tak, aby bola pri čo najnižšej cene jej kvalita čo najvyššia a výsledné výrobky dosahovali požadovanú kvalitu.

[1]

1.4 Zhrnutie študijnej časti

V študijnej časti sú zahrnuté základné informácie potrebné ku konštrukcii formy pre vstrekovanie plastových výrobkov. Prvá časť pojednáva o samotných plastoch ako o materiále pre vstrekovanie. V druhej časti je objasnená technológia vstrekovania, funkcia stroja a pochody prebiehajúce pri výrobe. Posledná, tretia časť, sa zaoberá možnosťami konštrukcie samotnej formy ako nástroja pri výrobe vstrekovaním. Uvedené sú rôzne druhy mechanizmov a spôsoby ich prevedenia. Každý výrobok je možné odformovať (a následne vyrábať) rôznymi spôsobmi. Rozhodujúce je na základe všetkých požiadavok navrhnuť formu tak, aby bola výroba čo najkvalitnejšia a pritom ekonomicky realizovateľná.

2 STANOVENIE CIEĽOV BAKALÁRSKEJ PRÁCE

V tejto bakalárskej práci boli stanovené nasledujúce ciele:

- vypracovanie literárnej štúdie
- tvorba modelu zadaného plastového dielu v 3D
- konštrukcia zostavy vstrekovacej formy v programe CATIA V5 pre daný diel
- výkresová dokumentácia v 2D

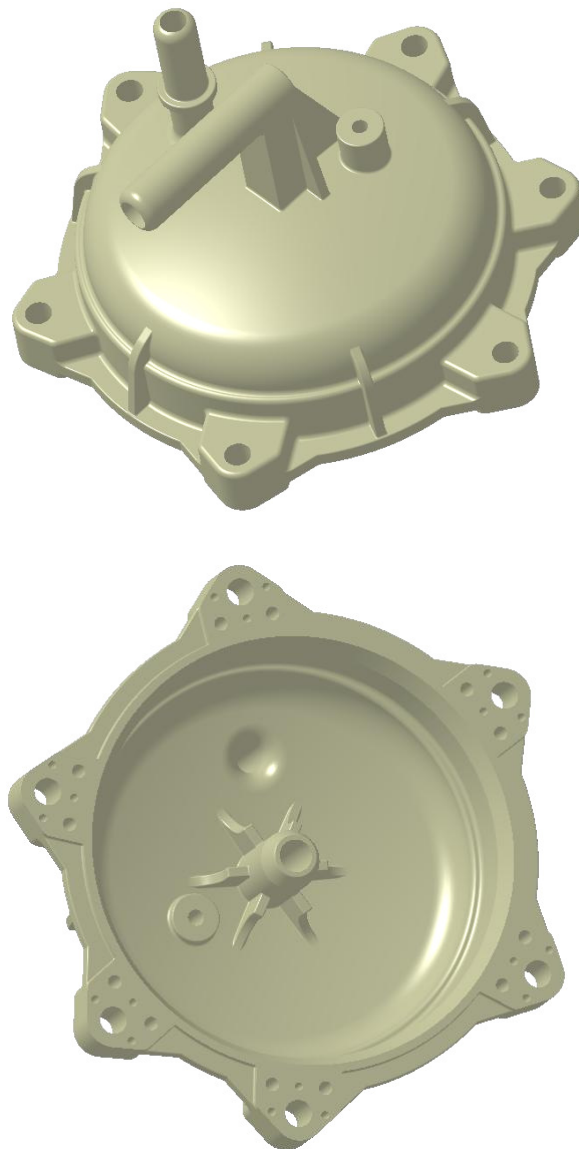
II. PRAKTICKÁ ČASŤ

3 EXPERIMENTÁLNÁ ČASŤ

Pri modelovaní formy boli použité normálie firmy HASCO. Niektoré rozmery normalizovaných prvkov je potrebné dodatočne upraviť (dĺžky vodiacich prvkov, skrutiek). Použitý bol CAD program CATIA V5 R16 od firmy Dessault Systemes.

3.1 Špecifikácia výrobku

Vstrekovaným výrobkom je tlakové veko.



Obr. 13: Zadaný výrobok (tlakové veko)

Materiál výrobku bol výrobcom určený ako PA 66 GF30. Jedná sa o Polyamid 66 s 30 % plnením sklenenými vláknami. Je to materiál veľmi pevný a odolný voči opotrebeniu. Tento materiál je oproti čistému PA 66 pevnejší, tuhší, stabilnejší za zvýšených teplôt, odolnejší voči „kripu“ a tvarovo stabilnejší. Teplota tavenia je 255°C, bežne je materiál použiteľný do 120°C, tvarovú stálosť však krátkodobo udržuje až v rozmedzí 200 – 235°C. Tento materiál sa často používa na výrobu dielcov v automobilovom priemysle, elektronike a iných odvetviach, kde sa vyžaduje pomerne ľahká spracovateľnosť v kombinácii s tepelnou a chemickou odolnosťou a dobrými mechanickými vlastnosťami. Materiál je mierne navlhavý, preto sa odporúča pred spracovaním vysušiť. Zmrštenie vo forme po ochladnutí je 0,9 – 1,1 %. [7]

3.2 Konštrukcia formy

Pri návrhu konštrukcie formy pre vstrekovanie zadaného výrobku bolo snahou čo najviac využiť normácie ISO a HASCO, spolu s modulom Mold Tooling Design programu CATIA, z dôvodu ekonomickosti výroby formy i efektivity pri jej návrhu.

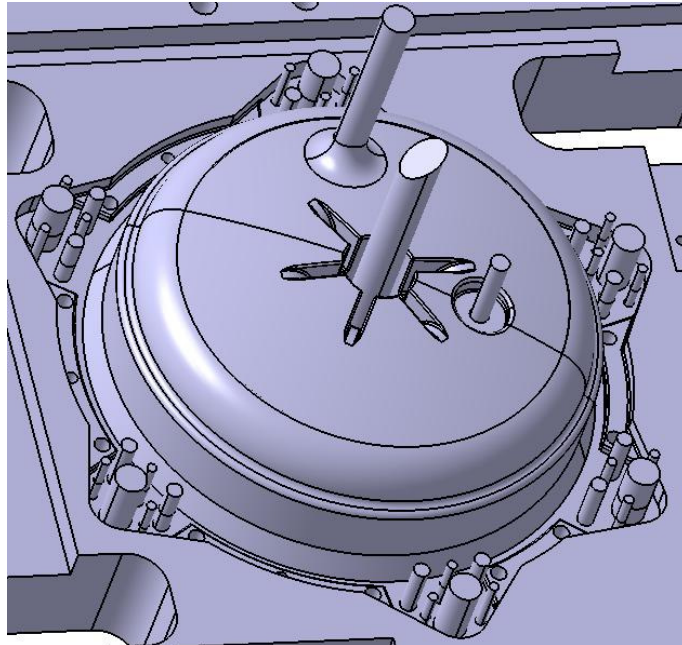
3.2.1 Násobnosť formy

Podľa zadania je forma zvolená ako dvojnásobná. Keďže sa jedná o tvarovo pomerne komplikovaný výrobok, viac ako dvojnásobná forma by vyžadovala príliš zložitú formu, teda vysoké náklady na jej výrobu. Tiež by mohli vzniknúť komplikácie pri dodržiavaní rovnakých technologických parametrov pre všetky diely (temperácia dutiny, teplota taveniny), teda by sa v sérii mohli vyskytnúť rozdiely vo vlastnostiach jednotlivých výstrekov.

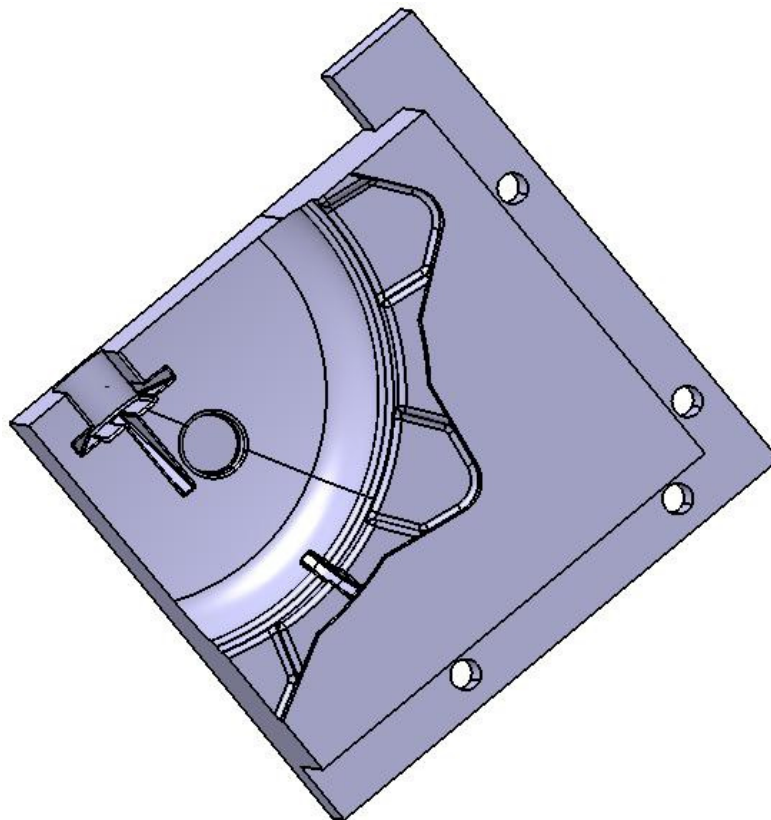
3.2.2 Deliace roviny a zaformovanie výrobku

Hlavná deliaca rovina je zvolená rovnobežne s doskami formy. Prebieha po hrane výrobku, aby tak neboli viditeľné zanechané stopy. Vzhľadom na tvar výrobku je ďalej nutné vytvoriť ďalšie 2 vedľajšie deliace roviny, ktoré sú kolmé no základnú a ich otváranie je realizované šikmými čapmi. V tomto prípade bude stopa po deliacej rovine viditeľná, avšak tento výrobok nemá pohľadovú funkciu, teda táto stopa nebude vadou. Tvárník je vyrobený z jedného kusu, s použitím jadra na odformovanie otvoru.

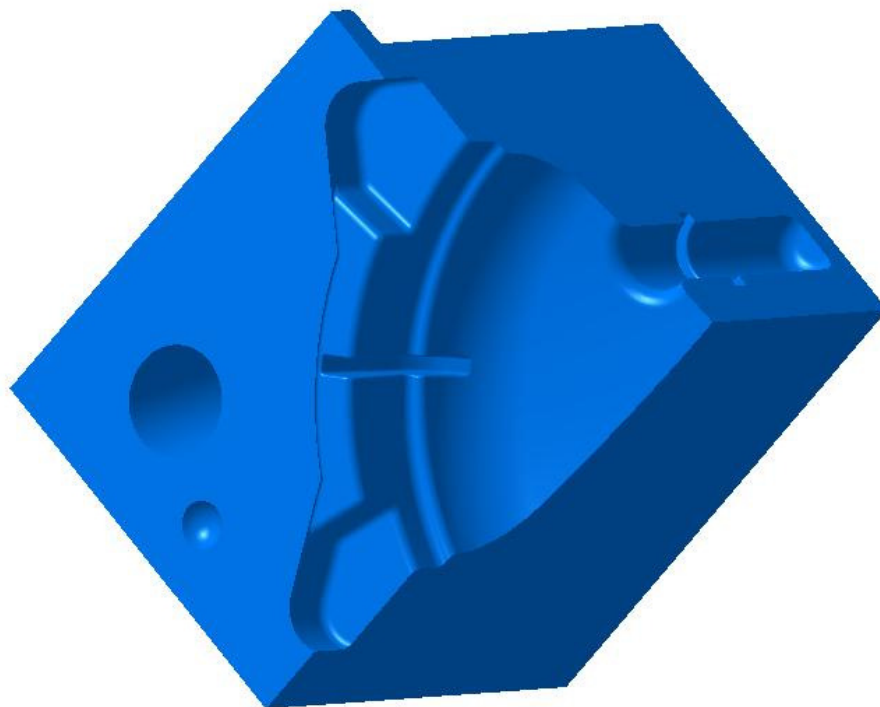
Po otvorení formy ostáva výstrek na tvárniku, kde sa ďalej ochladzuje a následne je vyhodенý vyhadzovacím systémom. Pre odvzdušnenie dutiny bola zvolená metóda odvzdušnenia vôľou v uložení vyhadzovačov.



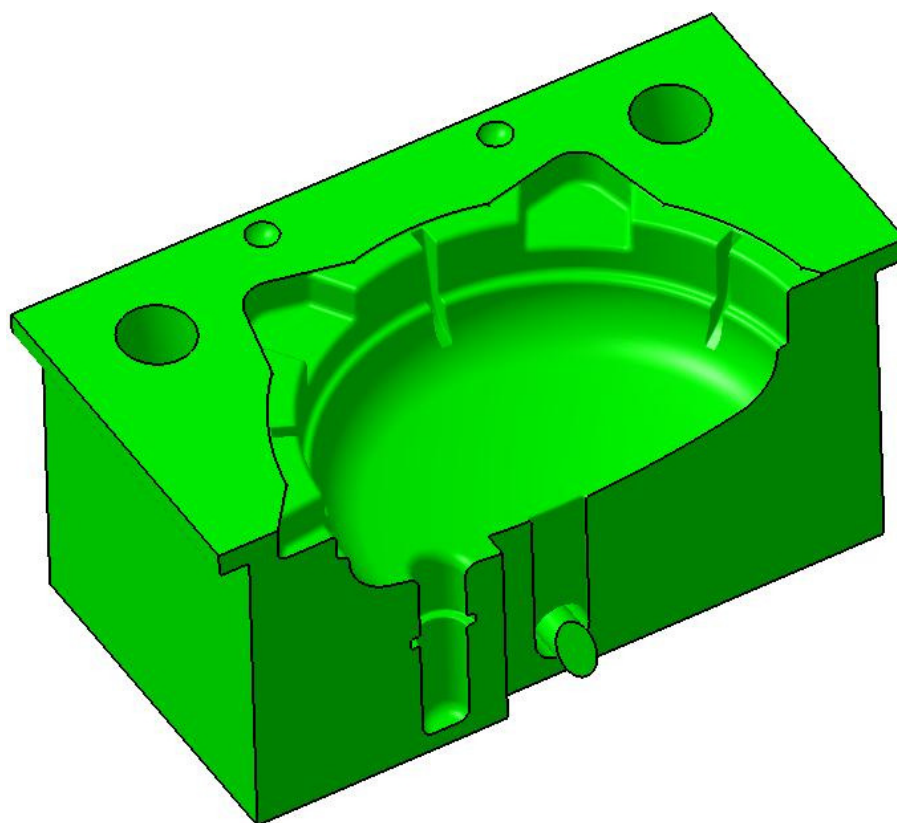
Obr. 14: Tvárník s viditeľnou hlavnou deliacou rovinou jadrom



Obr. 15: Tvárnica



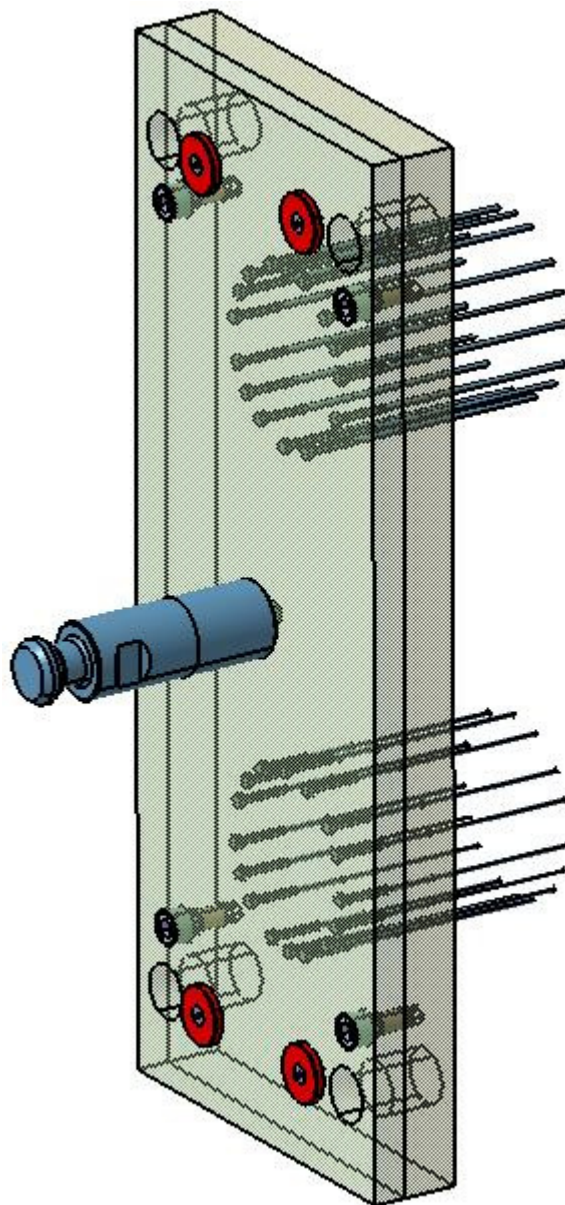
Obr. 16: Posuvná tvárnice 1



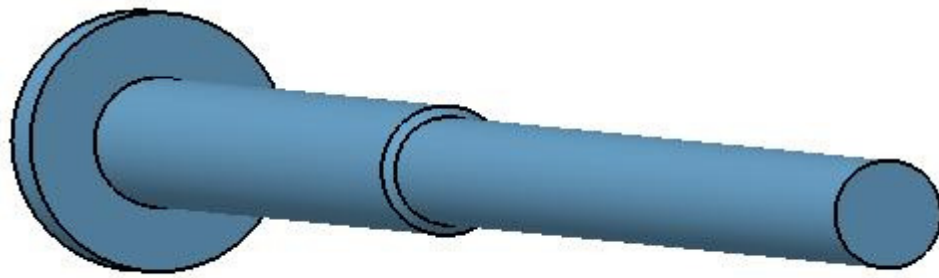
Obr. 17: Posuvná tvárnice 2 s viditelným jadrom

3.2.3 Vyhadzovací systém

Vyhodenie dostatočne ochladeného výrobku z dutiny formy (z tvárniku) je realizované prostredníctvom prizmatických vyhadzovačov. Tie sú uložené v opernej a kotevnej doske vyhadzovacieho systému formy a končia na stene tvárniku (dutiny). Po vyhodení zostanú na výrobku badateľné stopy, ktoré však nie sú prekážkou. Posuv vyhadzovacieho systému zabezpečuje hydraulický okruh stroja pomocou tiahla spojeného s opernou doskou závitom. Pre úspešné vyhodenie výrobku z tvárniku bude dostačujúci posuv vyhadzovačov o 100 mm, čo predíde vzpriecheniu sa výrobku.



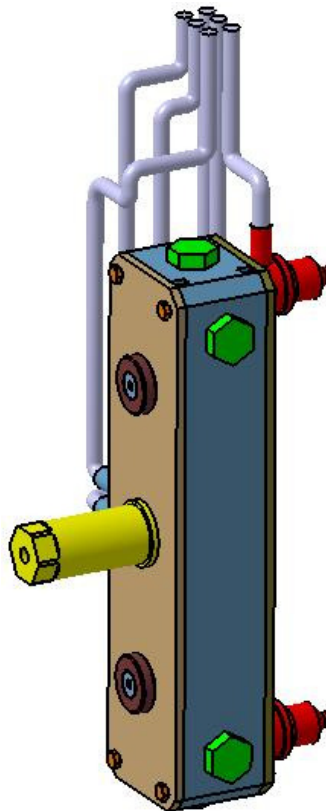
Obr. 18: Vyhadzovací systém



Obr. 19: Prizmatický vyhadzovač – detail

3.2.4 Vtokový systém

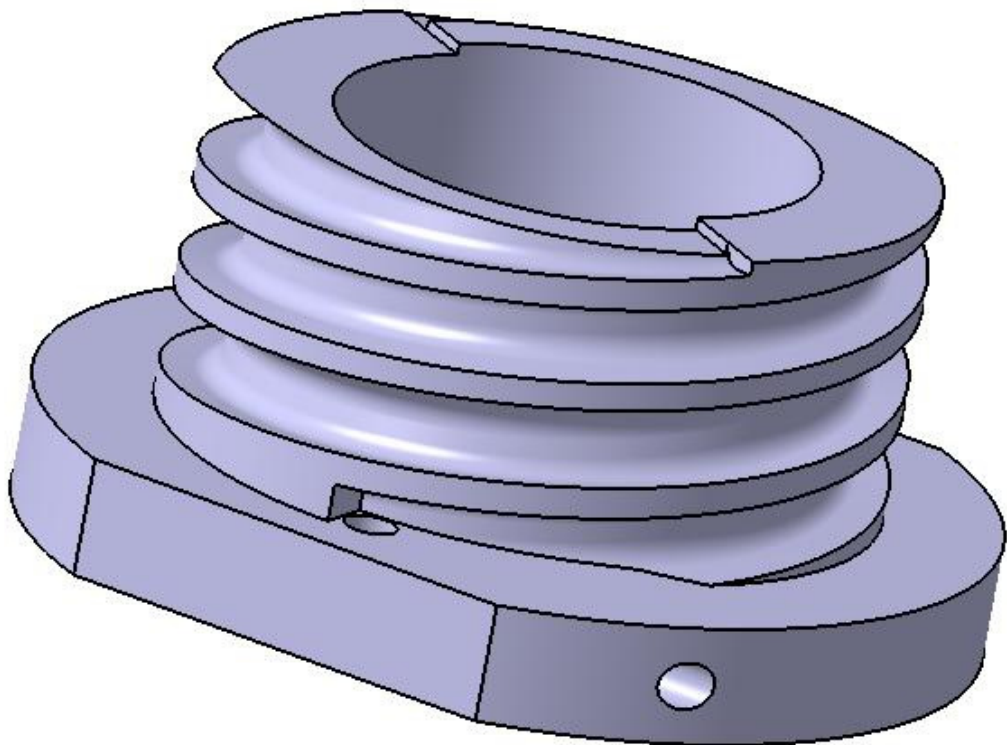
Pre tento výrobok bola zvolená vyhrievaná vtoková sústava, keďže pri veľkosti formy a jej zložitosti by pri použití studenej vtokovej sústavy vznikol neprimerane veľký vtokový zbytok. Taktiež by pri zvolenom zaformovaní bola potrebná dvojdosková konštrukcia formy pre odtrhnutie vtokového zbytku od výrobku. Z ekonomických i praktických dôvodov bola teda zvolená vyhrievaná vtoková sústava.



Obr. 20: Vyhrievaná vtoková sústava

3.2.5 Temperácia formy

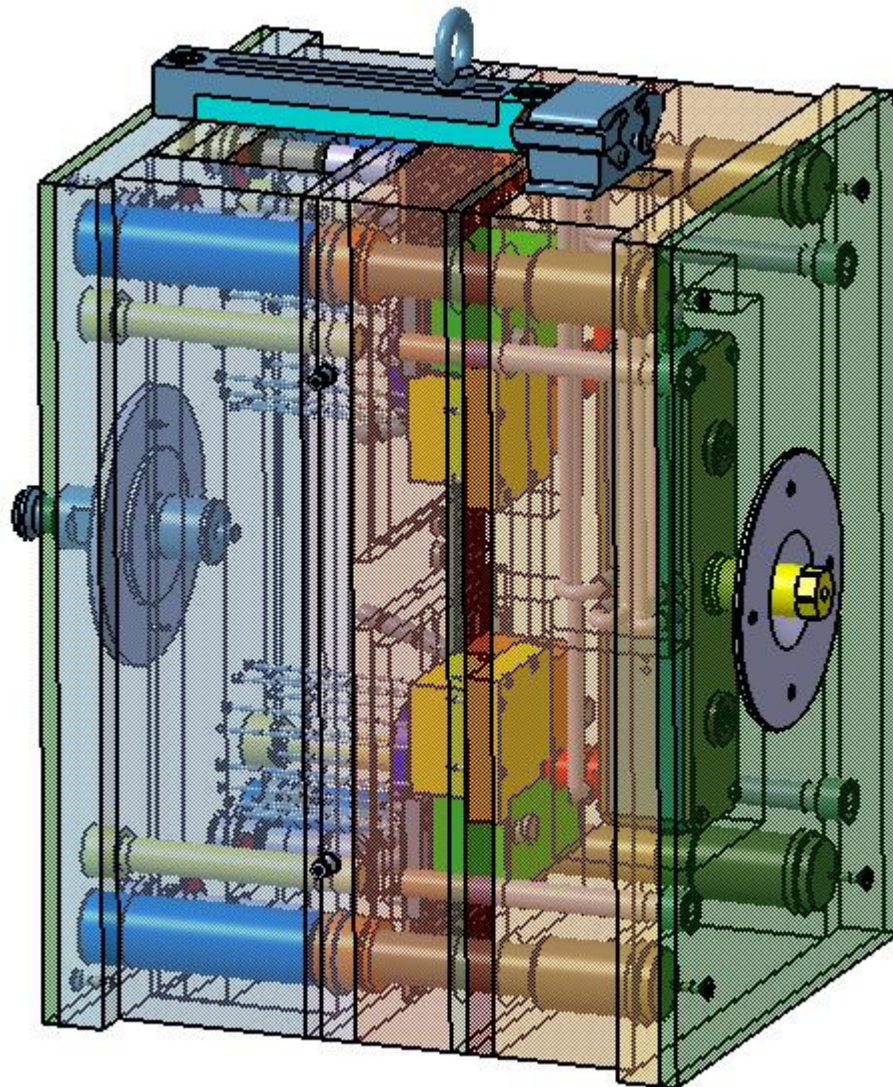
Z dôvodu zložitého zaformovania výrobku bolo zvolené chladenie iba jednej časti formy – tvárniku. Pre tento účel bolo použité špirálové jadro s dvoma závitmi. V každom z nich prúdi kvapalina iným smerom, čím je zaručený prívod i odvod chladiaceho média pod tvárnik. Spojenie oboch závitov je realizované pretokom v hornej časti vložky. Obidve chladiace vložky su napojené na jeden obvod.



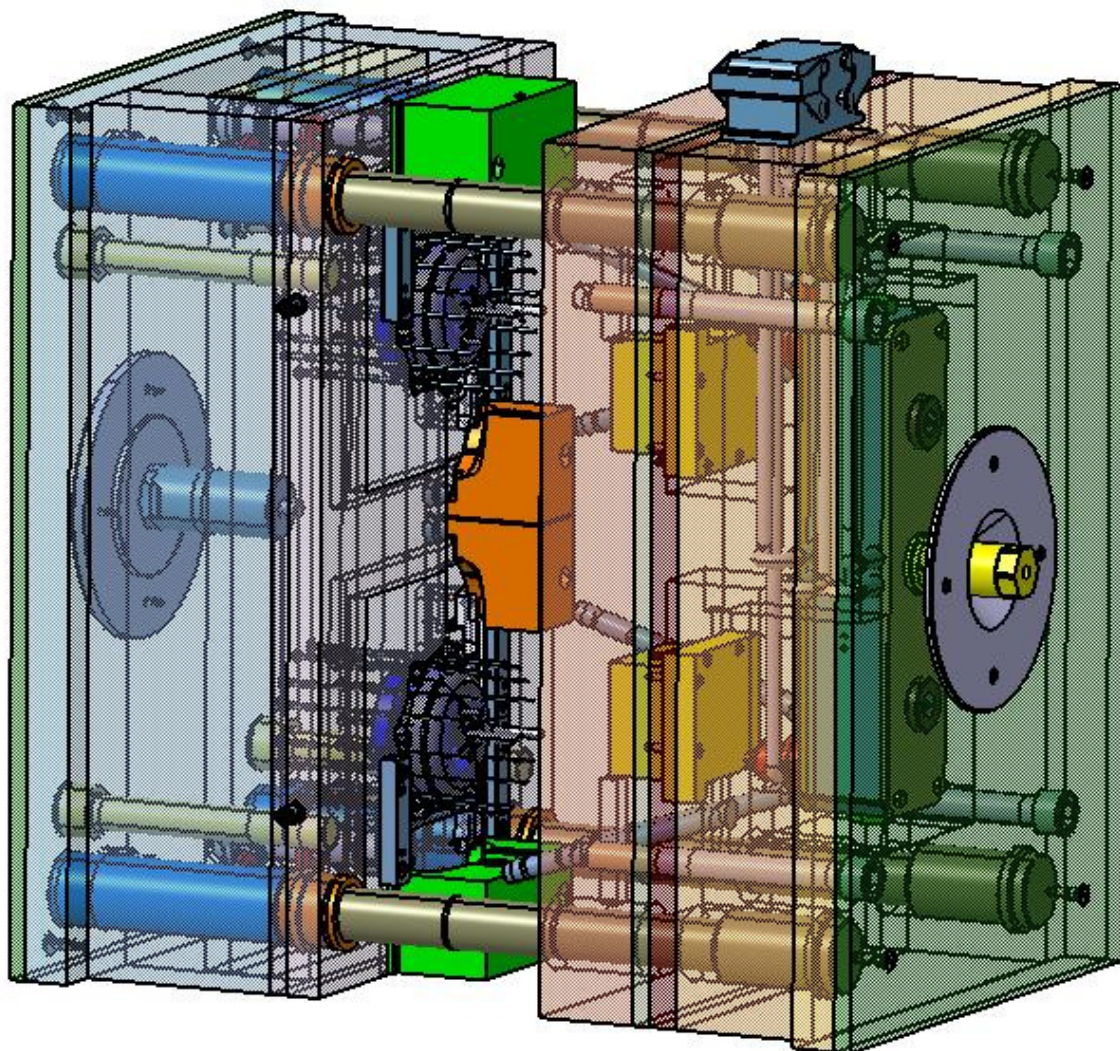
Obr. 21: Chladiaca vložka

3.2.6 Výsledná konstrukcia formy

S použitím všetkých uvedených konštrukčných prvkov bola vytvorená dvojnásobná forma pre vstrekovanie zadaného plastového dielu – tlakového veka. Forma obsahuje odformovanie pomocou jednej pevnej a dvoch posuvných tvárnic, vyhrievanú vtokovú sústavu, chladienie tvárnikovej časti a vyhadzovanie pomocou prizmatických vyhadzovačov.



Obr. 22: Forma (zatvorená)



Obr. 23: Forma (otvorená s vysunutými vyhadzovači)

3.2.7 Voľba vstrekovacieho stroja

Podľa rozmerov formy (496 mm x 296 mm) a potrebného vstrekovanej množstva polyméru bol zvolený vstrekovací stroj ARBURG 520 C 1500-350.



Obr. 24: Vstrekovací stroj ARBURG

Na tento stroj je možné upevniť formy maximálnych rozmerov 520 mm x 520 mm, uzatváracia sila je 1500 kN. Z možných priemerov šneku bol s ohľadom na potrebnú vstrekovajúcu hmotnosť polymérnej taveniny na dávku PA 66 GF30 cca. 105 g zvolený priemer 45 mm s maximálnym možným dopravovaným množstvom čistého PA 66 na dávku 209 g.

Machine model	520 C			
EUROMAP size indication ¹⁾	1500-350			
Clamping unit				
Clamping force	max. kN	1500		
Ejector force	max. kN	40		
Distance between tie bars	mm	520 x 520		
Injection unit	350			
Screw diameter	mm	35 / 40 / 45		
Maximum theoretical shot weights for the most important injection moulding materials (in grams)				
Injection units according to EUROMAP	350			
Screw diameter	mm	35	40	45
Polyamides	PA 6.6, PA 6 ¹⁾	127	165	209

Obr. 25: Vybrané vlastnosti stroja

ZÁVER

Pre zadaný výrobok bola zkonštruovaná vstrekovacia forma s použitím tvárnic pohyblivých na šikmých čapoch. Z ekonomických a konštrukčných dôvodov bolo navrhnuté použitie vyhrievanej vtokovej sústavy. Pri návrhu formy bolo prihliadané na zásady, ktorými sa konštrukcia foriem riadi. Nebola vypracovaná výpočtová kontrola mechanického namáhania jednotlivých častí formy, avšak diely boli navrhované a volené tak, aby boli zachované základné pravidlá konštrukcie. Celý projekt (3D model výrobku, formy, 2D výkresová dokumentácia) bol vypracovaný v programe CATIA V5R16 s použitím normalizovaných dielov ISO a HASCO.

Pre navrhnutú formu bol zvolený vstrekovací stroj podľa rozmerov formy a potrebnej dávky polyméru na jedno vstreknutie. Keďže nebol prevedený kontrolný výpočet tlakov a síl, nebolo možné posúdiť uzatváraciu silu a teda vhodnosť stroja pre vstrekovanie daného výrobku do navrhutej formy na zvolenom stroji.

ZOZNAM POUŽITEJ LITERATURY

- [2] BOBČÍK, Ladislav. a Kol. Formy pro zpracování plastů, Díl I a II, Brno:UNIPLAST, 1999
- [2] TOMIS, František., HELŠTÝN, Josef. Formy a přípravky. Brno:VUT, 1985. 278 s
- [3] KOLOUCH, Jan. Strojírenské výrobky z plastů vyráběné vstřikováním. 1. vyd. Praha: SNTL, 1986. 229 s.
- [4] MENGES, Georg., MICHAELLI, Walter., MOHREN, Paul. How to Make Injection Molds. 3rd ed. Munich: Hanser Publisher, 2001. 612 s. ISBN 3-446-21256-6.
- [5] REES, H. Mold engineering. Munich: Hanser Publishers, 1995. 612 s. ISBN 3-446-17729-9.
- [6] Firemný katalóg normálií HASCO
- [7] Internetové stránky: <http://www.iplas.com> - 19.1.2007, preložil autor
- http://en.wikipedia.org/wiki/Injection_molding - 19.1.2007, preložil autor
- <http://en.wikipedia.org/wiki/Thermoplastics> - 19.1.2007, preložil autor
- http://en.wikipedia.org/wiki/Glass_transition_temperature - 19.1.2007, preložil autor
- http://en.wikipedia.org/wiki/Computer-aided_manufacturing - 20.1.2007, preložil autor
- <http://www.omnexus.com/tc/pa66/> - 24.5.2007, preložil autor
- www.bayplastics.co.uk - 24.5.2007, preložil autor

<http://www.arburg.com>

-28.5.2007,
preložil autor

ZOZNAM POUŽITÝCH SYMBOLOV A SKRATIEK

PA 66 GF30	Polyamid 66 s 30% plnením sklenenými vláknami
T _m	Teplota tavenia
T _g	Teplota skelného prechodu
UV	Ultrafialové (žiarenie)
CAD	Počítačom podporovaná konštrukcia (computer aided design)
CAM	Počítačom podporovaná výroba (computer aided manufacturing)
CNC	Počítačové číslicová riadenie (computer numerical control)
VVS	Vyhrievaná vtoková sústava

ZOZNAM OBRÁZKOV

Obr.1	Oblasti použitia u amorfných a semikryštalických termoplastov.....	11
Obr.2	Schéma vstrekovacieho stroja (zobrazená zrkadlovo).....	16
Obr.3	Plný kužeľový vtok.....	23
Obr.4	Bodový vtok.....	24
Obr.5	Tunelový vtok.....	24
Obr.6	Bočný vtok.....	25
Obr.7	Filmový (štrbinový) vtok.....	25
Obr.8	Vyhrievaná tryska s vonkajším (a) a vnútorným (b) vyhrievaním.....	27
Obr.9	Valcový vyhadzovač.....	32
Obr.10	Tvarový prizmatický vyhadzovač.....	33
Obr.11	Prizmatický vyhadzovač.....	33
Obr.12	Trubkový vyhadzovač.....	33
Obr.13	Zadaný výrobok (tlakové veko).....	39
Obr.14	Tvárník s viditeľnou hlavnou deliacou rovinou jadrom.....	41
Obr.15	Tvárnica.....	41
Obr.16	Posuvná tvárnica 1.....	42
Obr.17	Posuvná tvárnica 2 s viditeľným jadrom.....	42
Obr.18	Vyhadzovací systém.....	43
Obr.19	Prizmatický vyhadzovač – detail.....	44
Obr.20	Vyhrievaná vtoková sústava.....	44
Obr.21	Chladiaca vložka.....	45
Obr.22	Forma (zatvorená).....	46
Obr.23	Forma (otvorená s vysunutými vyhadzovačmi).....	47
Obr.24	Vstrekovací stroj ARBURG.....	48

Obr.25 Vybrané vlastnosti stroja.....48

ZOZNAM PRÍLOH

P1 : Pohľad do pravej strany deliacej roviny

P2 : Pohľad do ľavej strany deliacej roviny

P3 : Rez formou

P4 : Kusovník

P5 : CD disk obsahujúci :

- Model formy a výkresovú dokumentáciu v programe CATIA V5R16
- Textovú časť bakalárskej práce