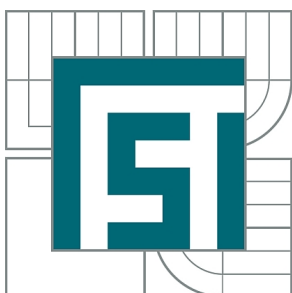




VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

OPTIMALIZACE TECHNOLOGIE VÝROBY PLASTOVÉHO UZÁVĚRU TUBY

OPTIMIZATION OF PRODUCTION TECHNOLOGY FOR PLASTIC CAP TUBE

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. ERIKA MAJERČÍKOVÁ

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. BOHUMIL KANDUS

BRNO 2014

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav strojírenské technologie
Akademický rok: 2013/2014

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

student(ka): Bc. Erika Majerčíková

který/která studuje v **magisterském navazujícím studijním programu**

obor: **Strojírenská technologie (2303T002)**

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma diplomové práce:

Optimalizace technologie výroby plastového uzávěru tuby

v anglickém jazyce:

Optimization of production technology for plastic cap tube

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Na základě stávající technologie výroby plastového dílce vypracovat rešerši na technologii vstřikování plastů do forem, uvést možnosti optimalizace technologických parametrů částečnou změnou konstrukčního řešení vstřikovací formy, provést návrh technologického postupu a změnu konstrukce vstřikovací formy včetně potřebných výpočtů.

Cíle diplomové práce:

Cílem práce je návrh technologie výroby na úrovni technologického postupu a konstrukční výkresové dokumentace nástroje na plastový uzávěr tuby při optimalizaci konstrukce stávající vstřikovací formy podložené technicko-ekonomickým zhodnocením.

Seznam odborné literatury:

- ŠTĚPEK, Jiří, Jiří ZELINGER a Antonín KUTA. Technologie zpracování a vlastnosti plastů. 1. vyd. Praha, Bratislava: SNTL, Alfa, 1989. 638 s. ISBN DT 678.5(075.8).
- SOVA, Miloš a Josef KREBS. Termoplasty v praxi. 1. vyd. Praha: Verlag Dashöfer, 2001. 2 sv. (580, 425 s.). ISBN 80-86229-15-7.
- ZEMAN, Lubomír. Vstřikování plastů. 1. vyd. Praha: Nakladatelství BEN, 2009. 248 s. ISBN 978-80-7300-250-3.
- MENGES, Georg and Paul MOHREN. How to Make Injection Molds. 2nd ed. München, Wien: Carl Hanser Verlag, 1993. 558 s. ISBN 1-56990-062-0.

Vedoucí diplomové práce: Ing. Bohumil Kandus

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2013/2014.

V Brně, dne 19.11.2013

L.S.

prof. Ing. Miroslav Píška, CSc.
Ředitel ústavu

prof. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc., dr. h. c.
Děkan fakulty

ABSTRAKT

MAJERČÍKOVÁ Erika: Optimalizace technologie výroby plastového uzávěru tuby.

Práce sa zaoberá optimalizáciou technológie výroby plastového uzávěru tuby vyrábaného vstrekováním. Veľkosť výrobnéj série je 5 000 000 kusov ročne a minimálna doba výroby je 5 rokov. V práci je spracovaná literárna štúdia technológie vstrekovania plastov do foriem s uvedením možností optimalizácie výroby zmenou konštrukcie nástroja. Praktická časť je venovaná optimalizácii existujúcej formy so studeným vtokovým systémom na výrobu uzávěru tuby, a to použitím horúceho vtokového systému dodaného spoločnosťou Synventive. Zmena konštrukcie nástroja spočíva v zmene trojdoskového typu formy na typ dvojdoskový. Ide o zmenu pevnej strany, do ktorej je zabudovaný horúci vtokový systém; na jej konštrukciu sú použité normalizované diely od firmy HASCO. Na základe technologických parametrov je zvolený vstrekovací stroj Krauss Maffei KM 80-380 CX. Na záver je prevedené technicko-ekonomické zhodnotenie optimalizácie výroby použitím horúceho vtokového systému.

Kľúčové slová: Vstrekovanie, vstrekovacia forma, horúci vtokový systém

ABSTRACT

MAJERČÍKOVÁ Erika: Optimization of production technology for plastic cap tube.

This thesis deals with the optimization of the production technology of the cap tube made by injection molding. Series production is set at 5 000 000 units per year; the minimum time of the production is 5 years. A literary study is developed, focusing on the technology of injection molding in molds including the possibilities of the optimization of the production by changing the structure of the mold. The practical part of the thesis is devoted to the optimization of existing mold with cold runner system for the production of the cap tube, using the hot runner system supplied by Synventive. The change of the structure of the mold involves changing the three plate mold to a two plate mold. It is about changing the fixed part of the mold in which the hot runner system is placed; it is composed of standards parts of the company HASCO. Based on the technological parameters the injection machine Krauss Maffei KM 80-380 CX is chosen. There is a technical-economical evaluation of the optimization of the production by using the hot runner system at the end of the thesis.

Keywords: Injection molding, injection mold, hot runner system

BIBLIOGRAFICKÁ CITÁCIA

MAJERČÍKOVÁ, Erika. *Optimalizace technologie výroby plastového uzávěru tuby*. Brno, 2014. 67s., 5 výkresov, rozpiska, 2 přílohy, CD. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství. Ústav strojírenské technologie, Odbor strojírenská technologie. Vedúci práce Ing. Bohumil Kandus.

ČESTNÉ PREHLÁSENIE

Týmto prehlasujem, že predkladanú diplomovú prácu som vypracovala samostatne, s využitím uvedenej literatúry a podkladov, na základe konzultácií a pod vedením vedúceho diplomovej práce.

V Brne dňa 26.5.2014

.....
Podpis

POĎAKOVANIE

Týmto ďakujem pánovi Ing. Bohumilovi Kandusovi za cenné pripomienky a rady týkajúce sa spracovania diplomovej práce.

Moje poďakovanie patrí taktiež firme ASC s.r.o., Žilina a firme Synventive, konkrétne pánovi Miloslavovi Fundovi, za odbornú pomoc pri vypracovávaní práce.

OBSAH

Zadanie	
Abstrakt	
Bibliografická citácia	
Čestné prehlásenie	
Poďakovanie	
Obsah	

ÚVOD	11
1 UZÁVER TUBY	12
1.1 Materiál dielca - polypropylén	13
2 VSTREKOVANIE TERMOPLASTOV	14
2.1 Vstrekovací cyklus	14
2.1.1 Plastikácia	15
2.1.2 Vstrekovanie taveniny do dutiny formy	15
2.1.3 Dotlak.....	15
2.1.4 Ochladzovanie	16
2.2 Optimalizácia technologických parametrov	16
2.2.1 Teplota formy	17
2.2.2 Teplota taveniny	17
2.2.3 Vstrekovacia rýchlosť a tlak	18
2.2.4 Doba vstrekovacieho cyklu.....	18
3 VSTREKOVACIA FORMA	19
3.1 Zásady konštrukcie	19
3.2 Postup pri konštrukcii	20
3.3 Jednotlivé časti formy	21
3.4 Vtokový systém	22
3.4.1 Studený vtokový systém.....	23
3.4.2 Horúci vtokový systém	25
3.5 Temperačný systém	27
3.6 Vyhadzovací systém	27
4 VSTREKOVACÍ STROJ	28
4.1 Vstrekovacia a plastikačná jednotka	28
4.1.1 Parametre vstrekovacej a plastikačnej jednotky	29
4.2 Uzatváracia jednotka	30
4.2.1 Parametre uzatváracej jednotky	30
5 FORMA SO STUDENÝM VTOKOVÝM SYSTÉMOM NA VÝROBU PLASTOVÉHO UZÁVERU TUBY	31
5.1 Pohyblivá strana formy	32
5.2 Pevná strana formy	34
5.2.1 Vtokový systém	35
5.2.2 Vtokový zvyšok	36
5.3 Technologické parametre	37
5.4 Vstrekovací stroj	40
6 FORMA S HORÚCIM VTOKOVÝM SYSTÉMOM NA VÝROBU PLASTOVÉHO UZÁVERU TUBY	41
6.1 Pohyblivá strana formy	42

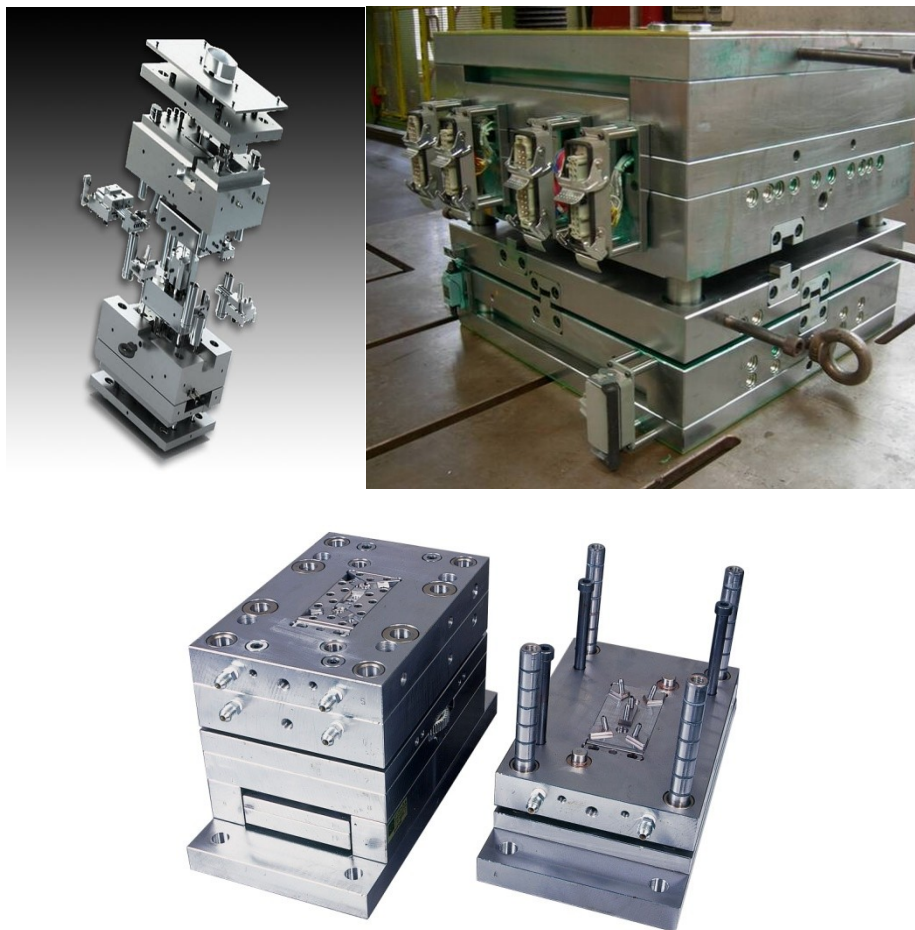
6.2 Pevná strana formy	42
6.2.1 Horúci vtokový systém Synventive	43
6.2.2 Zostava pevnej strany formy.....	44
6.2.3 Jednotlivé dielce	46
6.2.4 Temperácia.....	49
6.3 Technologické parametre	52
6.4 Voľba vstrekovacieho stroja	55
7 TECHNICKO – EKONOMICKÉ ZHODNOTENIE	57
8 ZÁVER	60
Zoznam použitých zdrojov	
Zoznam použitých symbolov a skratiek	
Zoznam príloh	
Zoznam výkresov	

ÚVOD [11], [21], [28], [31], [34]

História vstrekovania termoplastov siaha až do druhej polovice 19. storočia. Svoj najväčší rozvoj zaznamenala v druhej polovici 20. storočia. V dnešnej dobe je to technológia, ktorá má vo výrobe plastových dielcov nezastupiteľné miesto; umožňuje ekonomickú výrobu zložitých súčastí veľmi presných rozmerov a vysokej kvality.

Vstrekovanie termoplastov je proces, pri ktorom je príslušný granulát v plastikačnej jednotke roztavený, a následne v podobe taveniny pod vysokým tlakom vstreknutý do dutiny vstrekovacej formy. Ide o technológiu, ktorej výsledkom sú súčasti s veľkým rozsahom použitia, a to hlavne v automobilovom, elektrotechnickom, potravinárskom priemysle, a iné. Je to proces, ktorý je ovplyvnený rôznymi parametrami. Jedným z nich je nástroj, vstrekovacia forma (obr. 1). Formu je nevyhnutné navrhnuť tak, aby výsledný dieliec spĺňal všetky požiadavky; náklady na jej realizáciu boli čo najnižšie, avšak v prípade konštrukcie je potrebné brať do úvahy nielen počiatkové náklady na jej výrobu, ale aj konečnú cenu vstrekovanej súčasti. Vhodnou konštrukciou nástroja je možné dosiahnuť optimalizáciu výrobného procesu, napríklad aj použitím horúceho vtokového systému.

Horúci vtokový systém sa skladá zo sústavy vyhrievaných telies, zvyčajne z rozvážacej dosky a vyhrievaných trysiek. Ich použitím sa v porovnaní so studenými vtokovými sústavami skrátí doba vstrekovacieho cyklu a nedochádza ku vzniku odpadu v podobe vtokového zvyšku.

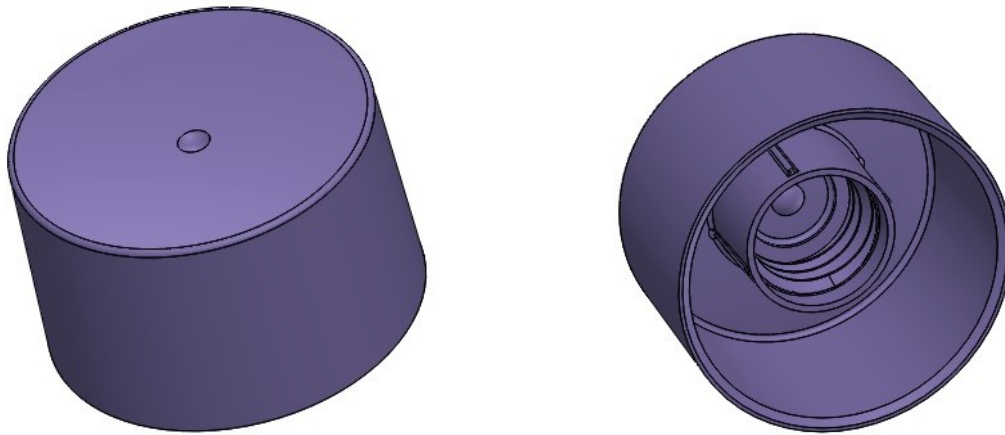


Obr. 1: Príklady vstrekovacích foriem [21], [28], [31]

1 UZÁVER TUBY

Úlohou diplomovej práce je optimalizácia konštrukcie už existujúcej vstrekovacej formy pre uzáver tuby (obr. 1.1). Je to súčasť, ktorá slúži na uzavretie tuby zubnej pasty. Nároky na jej mechanické a fyzikálne vlastnosti nie sú príliš vysoké; súčasť musí spĺňať funkciu utesnenia tuby a materiál, z ktorého je vyrobená musí byť zdravotne neškodný. Pre jej výrobu je vzhľadom na požadované vlastnosti a cenovú dostupnosť použitý polypropylén. Uzáver spĺňa nielen tesniacu funkciu, ale aj funkciu estetickú. Preto je dôležitý jeho vzhľad.

Diel je vyrábaný technológiou vstrekovania roztaveného plastu do dutiny formy. Je tvarovo jednoduchý so závitom, ktorý je nutné dostatočnou tekutosťou plastu pri jeho vstrekaní do dutiny vyplniť. Uzáver tuby má štyri rebrá, ktoré slúžia ako poistka proti pretočeniu celého dielca pri vytáčaní závitového jadra z dutiny formy. Objem a hmotnosť súčasti bola získaná pomocou programu SolidWorks.



Obr. 1.1: Uzáver tuby SolidWorks

Objem uzáveru tuby je:

$$V = 4,19 \text{ cm}^3,$$

kde: $V [\text{cm}^3]$ – objem uzáveru tuby.

Hmotnosť uzáveru tuby je:

$$m = 3,92 \text{ g},$$

kde: $m [\text{g}]$ – hmotnosť uzáveru tuby.

K dispozícii pri vypracovávaní diplomovej práce je vstrekovacia forma pre uzáver tuby, ktorej vtokový systém je riešený ako studený. Avšak vzhľadom na veľkosť série a vysoké výrobné náklady je cieľom práce optimalizovať výrobu zmenou konštrukcie formy. Optimalizácia je založená na zmene typu vtokového systému; existujúca vstrekovacia forma so studeným vtokovým systémom je konštruovaná ako trojdoskový typ. Zmenou vtokového systému je potrebné zmeniť typ formy na dvojdoskový.

Veľkosť výrobnjej série je daná počtom kusov vyrobených za rok, pritom výroba bude prebiehať počas niekoľkých rokov v závislosti od dopytu; požiadavkou je 5 000 000 kusov dielcov ročne, čo znamená, že nevyhnutný počet vstrekovacích cyklov pre danú veľkosť série pri šestnásťnásobnej forme je:

$$c = \frac{\text{veľkosť série}}{n} = 312\,500 \text{ cyklov}, \quad (1.1)$$

kde: c [-] – počet cyklov pre sériu 5 000 000 kusov,
 n [ks] – násobnosť formy,

$$c = \frac{5\,000\,000}{16} = 312\,500 \text{ cyklov}.$$

1.1 Materiál dielca - polypropylén [15], [19], [27], [29]

Uzáver tuby je vzhľadom na požadované vlastnosti vyrábaný z polypropylénu. Je to termoplastický polymér, ktorý je vďaka svojim vlastnostiam a priaznivej cene jedným z najpoužívanejších materiálov. Vyznačuje sa ľahkou spracovateľnosťou, dobrou chemickou a elektrickou odolnosťou pri vyšších teplotách, je húževnatý, stredne pevný a tuhý. Farbenie v tomto prípade nie je problém, avšak lepiť sa nedá. Polypropylén má hustotu 0,90 až 0,91 g·cm⁻³. Pre zvýšenie mechanických vlastností sa používajú rôzne typy plniva. Rozsah jeho zmrštenia [%] sa pre neplnené typy pohybuje od 1,1 do 1,9 a pre typy plnené je to rovnobežne 0,8 až 1,6 a kolmo 0,7 až 1,4. Pri vstrekaní je teplota vstrekovanej taveniny 200 – 280 °C, teplota formy 20 – 60 °C.

Polypropylén sa používa na výrobu zdravotníckych pomôcok, výrobkov pre domácnosť, v kozmetike, v potravinárskom priemysle, v automobilovom priemysle a mnoho iných. Pre výrobu uzáveru tuby je použitý materiál PP MOSTEN MT 230. Niektoré hodnoty a vlastnosti daného použitého materiálu sú uvedené v tabuľke 1.1.

Použitý materiál polypropylén MOSTEN MT 230 je dodávaný v prírodnej forme. Priemerná cena za jeden kilogram granulátu je 1,30 eur/kg. Pre daný dielec je použité farbivo, ktoré sa dávkuje do materiálu v hodnote 2 % hmotnosti granulátu plastu. Cena za kilogram farbiva je 2,45 eur. Celková cena materiálu je 1,35 eur/kg.

Tab. 1.1: Vlastnosti materiálu PP MOSTEN MT 230 [19], [34]

Vlastnosti	Symbol	Hodnoty	Jednotky
Všeobecné			
Hustota	ρ	0,9	g·cm ⁻³
Zmrštenie v smere toku	-	1,2	%
Zmrštenie kolmo na tok	-	1,3	%
Faktor navýšenia objemu	K_a	0,77	g·cm ⁻³
Teploty			
Teplota taveniny	T_M	270	°C
Teplota formy	T_W	50	°C
Teplota odformovania	T_E	80	°C
Efektívna teplotná vodivosť	a_{ff}	0,067	mm ² ·s ⁻¹
Tlaky			
Vstrekovací tlak	p_v	50 - 120	MPa
Dotlak	p_d	25 - 100	MPa

2 VSTREKOVANIE TERMOPLASTOV [1], [15], [18], [28]

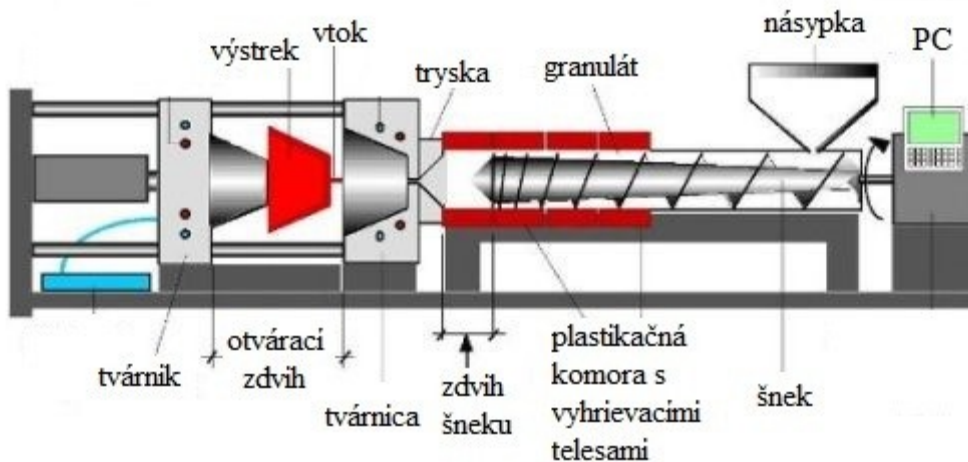


Obr. 2.1: Plastový granulát [28]

Vstrekovanie termoplastov je technologický proces, pri ktorom dochádza ku tvárneniu plastového granulátu (obr. 2.1), ktorý je v podobe taveniny vstreknutý pod vysokým tlakom do dutiny formy. Je to proces cyklický, zaručuje veľmi dobrú reprodukovateľnosť vlastností dielca. Vstrekovací cyklus tvorí niekoľko na seba nadväzujúcich úkonov, ktoré sú presne špecifikované, a to je uzavretie formy, plastikácia materiálu v taviacej komore stroja, vstreknutie taveniny do dutiny formy, dotlak, chladnutie hmoty vo forme a následne otvorenie formy a vyhodenie výstrekú z dutiny nástroja. Výsledkom tohto procesu sú výrobky, ktoré majú vysokú tvarovú a rozmerovú presnosť; je možné vyrábať súčasti zložitých tvarov. Veľkou výhodou technológie vstrekovania je krátky čas jedného cyklu, ktorý ovplyvňujú rôzne faktory, ako napríklad konštrukcia nástroja. Pri konštrukcii formy je dôležité zaručiť čo najlepšiu funkciu temperačného systému tak, aby hmota v dutine formy vychladla čo najrýchlejšie, tým pádom je čas vstrekovacieho cyklu kratší ako pri nedostatočnom temperačnom okruhu. Čas cyklu je možné skrátiť aj použitím horúceho vtokového systému, ktorého aplikácia pri veľkej výrobníe sérii znižuje cenu konečného výrobku a technológia sa stáva takmer bezodpadovou. V súčasnosti je vstrekovanie najrozšírenejšou technológiou v oblasti spracovania plastov, ako aj jednou z najpoužívanejších strojárnských technológií vôbec. Využíva sa v rôznych priemyselných odvetviach, ako v potravinárskom, automobilovom, kozmetickom priemysle, na výrobu výrobkov pre domácnosť, obalovú techniku a iné.

2.1 Vstrekovací cyklus [1], [18]

Proces vstrekovania prebieha nasledujúcim spôsobom: vstrekovací stroj disponuje násypkou, do ktorej je nasypán granulát; z násypky je granulát odoberaný šnekom do taviacej komory, kde je trením a ohrievaním roztavený. Tavenina je vstrekaná do tvarovej dutiny formy; forma je v tomto štádiu uzatvorená; dutina je dokonale vyplnená a nastáva chladnutie a stuhnutie hmoty; výstrek je pomocou vyhadzovacieho systému vyhodnený z formy. Jednotlivé fázy vstrekovacieho cyklu, teda plastikácia, plnenie dutiny formy, dotlak a ochladzovanie hmoty v dutine formy sú podrobnejšie opísané v nasledujúcich podkapitolách. Na obrázku 2.2 je zobrazená schéma vstrekovacieho stroja so šnekovou plastikáciou [18].



Obr. 2.2: Schéma vstrekovacieho stroja so šnekovou plastikáciou [18]

2.1.1 Plastikácia [1], [15], [34]

Úlohou prvej fázy, plastikácie, je roztaviť vopred vysušený materiál vo forme granulátu a pripraviť ho na vstreknutie do uzatvorenej vstrekovacej formy. Je nutné zabezpečiť teplotnú a viskóznú homogenitu taveniny kvôli dokonalému naplneniu dutiny formy, a to správnym nastavením teplôt vyhrievacích telies plastikačnej komory, otáčkami šneku a spätným odporom na šneku. V prípade nedosiahnutia homogenity taveniny sa zníži kvalita povrchu výrobku.

Platikácia prebieha v taviacej komore stroja, v ktorej je pohyblivo uložený plastikačný šnek. Počas plastikačnej fázy sa šnek otáča a zároveň posúva; naberá plastový granulát a následne ho miesi. Granulát sa počas dopravovania smerom ku tryske stroja taví frikčným teplom vznikajúcim trením plastu pri miesení a ohrievaním taviacej komory. Doba plastikácie, teda čas potrebný na roztavenie granulátu, homogenizáciu taveniny a jej dopravenie pred čelo šneku závisí na veľkosti protitlaku, ktorý musí šnek prekonať pri ustupovaní vzad.

2.1.2 Vstrekovanie taveniny do dutiny formy [15]

V tejto fáze je roztavený materiál vstreknutý do tvarovej dutiny formy; cieľom je jej dokonalé vyplnenie. Šnek posuvom vpred vytlačí dávku taveniny cez trysku do formy. Táto fáza sa rozdeľuje na plnenie dutiny formy a stlačenie hmoty vo forme.

Plnenie dutiny formy musí prebehnúť čo najrýchlejšie z dôvodu zabránenia predčasného tuhnutia taveniny, a tým pádom vzniku nedostreknutého výrobku, to znamená, že doba plnenia musí byť čo najkratšia. Čo sa týka rýchlosti vstrekovania, je potrebné zaručiť jej plynulý nárast, kvôli vzniku veľkého vnútorného napätia, ako aj plynulý pokles, aby došlo k dobrému odvzdušneniu. Plnenie závisí okrem vstrekovacej rýchlosti aj na vstrekovacom tlaku, ktorý sa pohybuje v intervale od 50 do 120 MPa.

V momente, keď je dutina naplnená nastáva stlačovanie hmoty, stúpa tlak taveniny a klesá vstrekovacia rýchlosť. V momente pred dosiahnutím maximálneho tlaku vo forme je vstrekovací tlak znížený na dotlak, zabráni sa tým vzniku rôznych defektov výrobku, ako aj preplneniu dutiny formy, čo má za následok pružné stlačenie dielca a po vyhodení z formy jeho expandovanie.

2.1.3 Dotlak [14], [15], [34]

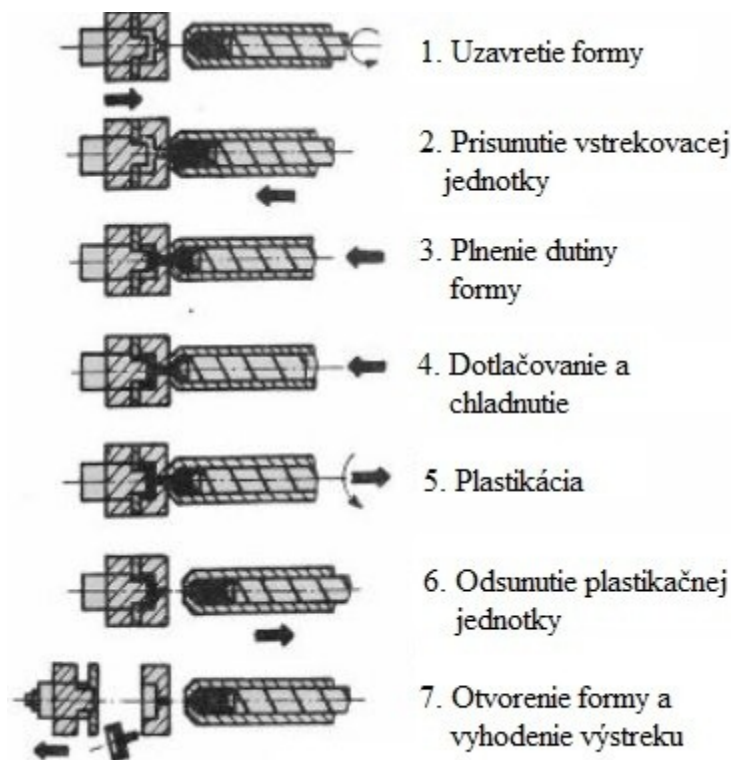
Pri výrobe súčasti vstrekaním plastu je potrebné brať do úvahy zmrštenie materiálu; zmrštenie je objemová zmena, úbytok, nastávajúci pri tuhnutí taveniny. Úbytok objemu je nahradený práve dotlakom; zabraňuje vzniku prepادلín a má veľký vplyv na štruktúru výrobku. Dotlaková fáza prebieha zároveň s fázou ochladzovania.

2.1.4 Ochladzovanie [15], [34]

Proces chladnutia sa začína už počas vstrekovania a pokračuje aj behom dotlaku. Hmota v dutine formy postupne tuhne a výrobok sa zmršťuje. Hodnota doby ochladzovania musí zaručiť bezproblémové vyhodenie výstrelu z formy bez akýchkoľvek deformácií; jej optimalizácia má veľký vplyv na celkový čas vstrekovacieho cyklu, teda aj na konečnú cenu výrobku, avšak čím je doba ochladzovania väčšia, tým je kvalita povrchu dielca vyššia.

Na kvalitatívne vlastnosti výstrelu má vplyv aj teplota formy. Čím je tento parameter ochladzovania vyšší, tým je dlhšia doba ochladzovania. Vyššie teploty formy majú pozitívny vplyv aj na povrchový lesk a kvalitu povrchu výrobku.

Na obrázku 2.3 sú zobrazené jednotlivé úkony, ku ktorým dochádza počas vstrekovacieho cyklu.



Obr. 2.3: Postup pri vstrekaní termoplastov [18]

2.2 Optimalizácia technologických parametrov

Optimalizácia technologických parametrov vstrekovacieho procesu je nesmierne dôležitá. Je nevyhnutné nájsť ich správnu kombináciu vzhľadom na požadované kvalitatívne aj kvantitatívne kritéria. Optimalizáciou výroby, teda najmä vhodnou konštrukciou formy je možné dosiahnuť kratšie vstrekovacie cykly, čo má za následok nižšie náklady na výrobu; je možné výrobu realizovať takmer bezodpadovo; zlepšiť kvalitatívne vlastnosti výstrelu atď. V nasledujúcich podkapitolách je podrobnejšie rozvedená optimalizácia určitých výrobných parametrov aj pomocou konštrukcie vstrekovacej formy.

2.2.1 Teplota formy [15], [34]

Teplota formy je veľmi dôležitý faktor čo sa týka vstrekovacieho procesu. Počas vstrekovania je z taveniny dodávané určité množstvo tepla do formy, to sa vedením šíri do upínacích dosiek stroja, sálaním do okolitého prostredia a určitá časť tepla je odvedená výstrekom v momente vyhadzovania. Z hľadiska odvodu tepla má najdôležitejšiu úlohu temperačný systém formy; jeho úlohou okrem vyhriatia formy na určitú teplotu je udržiavať túto teplotu konštantnú.

Teplota formy, konkrétne teplota steny dutiny formy, čo je teplota na povrchu tvarovej dutiny, má veľký vplyv na dobu cyklu; čím je táto teplota vyššia, tým je doba potrebná na ochladzovanie väčšia, avšak kvalita výstreku sa zvyšuje; zvyšuje sa rozmerová stabilita, kopírovateľnosť povrchu tvarovej dutiny, tuhosť, tvrdosť, odolnosť proti oteru, zlepšujú sa klzné vlastnosti. Dôležité je aj rozloženie teploty steny formy po celej ploche tvarovej dutiny, ktoré by malo byť homogénne, čo sa docieli vhodným a dostatočným návrhom temperačného systému. Pri jeho správnej konštrukcii by rozdiel temperačného média na vstupe a výstupe temperacie nemal presiahnuť hodnotu vyššiu ako 5 °C.

Keďže návrh temperačného systému ovplyvňuje dobu ochladzovania, teda aj celkovú dobu vstrekovacieho cyklu, ovplyvňuje taktiež celkové náklady na výrobu, a tým pádom aj náklady na výrobu jedného dielca. Vzhľadom na požadované kvalitatívne parametre výstreku je možné pomocou jeho vhodného návrhu dosiahnuť optimalizáciu výrobného procesu.

2.2.2 Teplota taveniny [15], [34]

Počas procesu vstrekovania je teplota taveniny v celej dávke v rôznych smeroch odlišná. Rozdiely môžu dosiahnuť hodnotu až 30 °C. Na teplotu taveniny majú vplyv rôzne faktory, napríklad: teploty jednotlivých vyhrievacích pásiem, otáčky šneku, spätný odpor na šneku, teplota steny formy a v prípade nástroja s horúcim vtokovým systémom je to teplota horúceho systému a čas, aký tavenina v ňom zotrúva. Teplota taveniny, rovnako ako teplota formy, ovplyvňuje vstrekovací proces. Zvyšujúca sa teplota taveniny znižuje vplyv studených spojov na akosť povrchu, znižuje tlakové straty v dutine. Má vplyv aj na dobu ochladzovania. Jej základné nastavenie by sa malo pohybovať v stredných hodnotách rozsahu doporučeného dodávateľom materiálu.

Teplota taveniny je ovplyvnená aj voľbou vtokového systému formy. Pri použití studeného vtokového systému hodnota teploty taveniny pri jej toku rozvážacími vtokovými kanálmi formy klesá, čo znamená, že v mieste ústia vtoku do dutiny formy je teplota taveniny nižšia ako teplota, ktorú dosahuje pri plastikácii v plastikačnej komore stroja. Tavenina, ktorá ostáva v rozvážacích kanáloch tuhne, a tak vzniká vtokový zvyšok, ktorý je nutné z formy spolu s výstrekom vyhodiť. Pri použití horúceho vtokového systému je teplota taveniny pri jej doprave z plastikačnej komory do dutiny formy udržiavaná na určitej hodnote, čo umožňuje výhodnejšie zaformovanie vhodným zvolením miesta ústia vtoku do dutiny formy; tavenina počas jej dopravy do dutiny formy netuhne, tým je dosiahnutý vstrekovací cyklus bez vtokového zvyšku, čo má vplyv na úsporu materiálu. V horúcom systéme dochádza ku tepelným stratám z dôvodu vedenia a sálania tepla do nástroja, táto strata je kompenzovaná nastavením vyššej teploty až o 20 °C ako je teplota ohrievacích telies v plastikačnej jednotke stroja.

2.2.3 Vstrekovacia rýchlosť a tlak [1], [15], [34]

Hlavnou úlohou vstrekovacej rýchlosti a vstrekovacieho tlaku je čo najefektívnejšie naplniť dutinu vstrekovacej formy pri čo najmenšom namáhaní nástroja; ich hodnoty by mali byť čo najnižšie vzhľadom na požadované vlastnosti výstrelu. Vstrekovací tlak je definovaný ako vstrekovacia sila vzťahujúca sa na jednotku plochy čela šneku stroja; tlak pred čelom šneku v okamihu, keď je tavenina uvedená do pohybu. Hodnotu vstrekovacieho tlaku je potrebné voliť nie príliš nízku, to môže spôsobiť poruchy výstrelu ako nedostreknutie, prepadliny, zvlnenie povrchu, ale ani príliš vysokú, v tom prípade môžu vzniknúť prestreky.

Rýchlosťou vstrekovania sa dá rozumieť rýchlosť prúdenia taveniny do dutiny formy za jednu sekundu. Pri jej nastavení treba brať do úvahy defekty, ktoré vznikajú pri jej nízkych a vysokých hodnotách; príliš nízka vstrekovacia rýchlosť môže spôsobiť ochladenie čela taveniny pri plnení, tzv. studený tok, a vznik prepادلín, studených spojov a tokových čiar; príliš vysoká rýchlosť spôsobuje prestreky, miestne spálenie materiálu v dôsledku kompresie vzduchu.

2.2.4 Doba vstrekovacieho cyklu [15], [18]

Celková doba vstrekovacieho cyklu je časový úsek začínajúci sa uzatvorením vstrekovacej formy až po vyhodenie výstrelu z formy; jednotlivé časové úseky úkonov vstrekovacieho cyklu sú rôzne veľké a ovplyvnené rôznymi faktormi, napríklad rozmermi výstrelu, technologickými parametrami, konštrukciou vstrekovacej formy a iné. Celková doba cyklu je tvorená strojnou dobou, dobou vstrekovania a chladnutia.

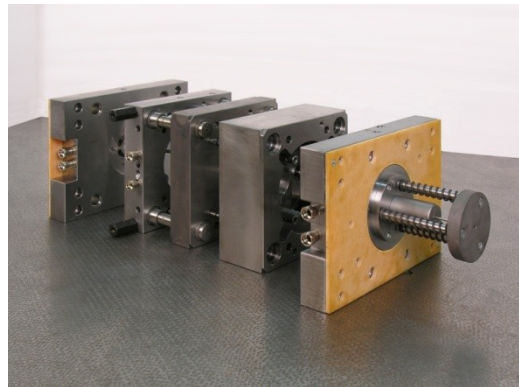
Strojná doba je doba potrebná na uzatvorenie a otvorenie formy; závisí na rýchlosti pohybu formy a na vzdialenosti, na akú sa musí forma otvoriť. Táto vzdialenosť musí byť dostatočná na bezpečné vyhodenie výstrelu z formy. Strojnú dobu je možné optimalizovať zvýšením rýchlosti pohybu formy.

Čas, za ktorý sa naplní dutina formy taveninou sa nazýva doba vstrekovania. Plnenie dutiny formy by malo prebehnúť v čo najkratšom čase; tavenina tuhne pri styku s formou, ktorá má niekoľkonásobne menšiu teplotu, stráca tekutosť, teda pri neprimerane dlhej dobe vstrekovania môže dôjsť k neúplnému naplneniu dutiny. Doba vstrekovania závisí najmä na rýchlosti vstrekovania, avšak závisí aj na teplote formy, tvare a objeme výstrelu a riešení vtokovej sústavy vo forme. Pri navrhovaní vtokovej sústavy je potrebné zaistiť naplnenie dutiny formy čo najkratšou cestou bez zásadných tepelných a tlakových strát v čo najkratšom čase a ak je to možné, tak dosiahnuť naplnenie všetkých dutín formy v rovnakom čase; čím je dlhšia vtoková dráha, tým je väčšia doba vstrekovania.

Doba chladnutia má najväčší podiel na celkovej dobe cyklu. Je to doba potrebná na stuhnutie taveniny v dutine formy. Závisí na druhu taveniny, jej teplote, teplote formy, hrúbke steny výstrelu a teplote výstrelu v okamihu jeho vyhodenia z formy. Úlohou je túto dobu minimalizovať a to vhodným a dostatočným návrhom temperačného systému a to najmä v miestach najpomalšieho chladnutia.

3 VSTREKOVACIA FORMA [1], [33]

Vstrekovacia forma (obr. 3.1) je nástroj na spracovanie plastov technológiou vstrekovania (existuje niekoľko typov foriem; v nasledujúcich kapitolách je rozoberaný takzvaný dvojdoskový typ), ktorý je upnutý na vstrekovací stroj. Počas vstrekovacieho cyklu sú jej dutiny naplnené plastom v podobe taveniny, tavenina stuhne a následne sa forma otvorí a je z nej vyhodnený výstrek požadovaného tvaru s danými vlastnosťami. Je zložená z dielov vymedzujúcich tvarovú dutinu, upínacích, strediacich a vodiacich dielcov, vtokového, temperačného a vyhadzovacieho systému; musia na seba nadväzovať a spĺňať svoju funkciu. Jednotlivé dielce formy sa dajú rozdeliť na dielce konštrukčné, ktoré zabezpečujú správnu funkciu formy a dielce funkčné, ktoré majú vplyv na vlastnosti a tvar výstrelu. Hlavnou úlohou konštruktéra vstrekovacích foriem je navrhnuť formu splňujúcu všetky funkčné a výrobné požiadavky s čo najnižšími nákladmi na jej výrobu a v neposlednom rade je potrebné brať do úvahy termín dodania.



Obr. 3.1: Vstrekovacia forma [33]

3.1 Zásady konštrukcie [18], [35]

Návrh vstrekovacej formy je náročný proces; požiadavky na jej konštrukciu sú vysoké. Forma počas svojej životnosti musí spĺňať rôzne kritéria; musí zaistiť požadovaný tvar a vlastnosti výstrelu, musí odolávať vysokým tlakom počas výrobného procesu, zaručiť jednoduché a bezproblémové vyhodnenie výstrelu, čo najjednoduchšiu výrobu. V priebehu konštrukcie formy je potrebné brať do úvahy nielen jej samotnú cenu, ale najmä konečné náklady na výrobu jedného výstrelu. Optimalizáciou vstrekovacej formy, aj v prípade vyššej ceny v porovnaní s jej konvenčným riešením je možné dosiahnuť nižšiu konečnú cenu výrobku; napríklad použitím rôznych špeciálnych zariadení, v prípade veľkej výrobnéj série použitím horúceho vtokového systému namiesto studeného, použitím kvalitnejšieho materiálu jednotlivých častí formy na zvýšenie jej životnosti a iné.



Obr. 3.2: Pevná a pohyblivá strana formy [24]

Vstrekovaciú formu je možné rozdeliť na dve časti, a to stranu pevnú a pohyblivú. Pevná strana formy, ktorej súčasťou je tvárnica, je upevnená na nepohyblivej časti stroja, zatiaľ čo pohyblivá strana s tvárnikom je upevnená na pohyblivej časti stroja. Na obrázku 3.2 je uvedený príklad konštrukcie vstrekovacej formy. V prípade konštrukcie dutiny formy je dôležité zaručiť vysokú presnosť a akosť jej plôch, ktoré sú v priamom kontakte so vstrekovaným materiálom. Tvar dutiny musí byť zväčšený o hodnotu zmrštenia daného materiálu vyrábanej súčasti a musí umožňovať vhodné zaformovanie.

Celková konštrukcia formy závisí na požiadavkách a účele, na ktorý je vyrábaná. Okrem vysokej presnosti a akosti dutiny musí forma spĺňať aj iné nároky. Tuhosť formy musí byť dostatočná z dôvodu odolávania vysokým tlakom počas vstrekovacieho cyklu. Jej životnosť je daná použitým materiálom a tepelným spracovaním funkčných častí. Druh materiálu jednotlivých častí sa volí s ohľadom na veľkosť a tvar vyrábanej súčasti, druh používaného plastu, veľkosť výrobných sérií atď. Ďalšími dôležitými konštrukčnými prvkami ovplyvňujúcimi kvalitu a presnosť výstrelu, celkový vstrekovací cyklus a mnoho iných je odvzdušnenie formy, vtokový, temperačný a vyhadzovací systém, ktoré sú podrobnejšie popísané v nasledujúcich kapitolách.

Násobnosť formy, teda počet vyrobených kusov na jeden vstrekovací cyklus, je ovplyvnená rôznymi faktormi. Dôležitý údaj pri rozhodovaní, akú násobnosť bude mať daná forma je veľkosť výrobných sérií a termín dodania. Čím je násobnosť formy vyššia, tým je presnosť a kvalita výstrelu horšia; v prípade vysokých nárokov na presnosť výstrekov je vhodné konštruovať formu s čo najnižšou násobnosťou.

V mnohých prípadoch je konštrukcia formy ovplyvnená požiadavkou na použitie určitého vstrekovacieho stroja, ktorý má zákazník k dispozícii. V tom prípade je nutné navrhnúť formu vyhovujúcu vlastnostiam stroja, a to dostatočná vstrekovacia kapacita, uzatváracia a pridržiavacia sila, vstrekovací tlak a usporiadanie stroja.

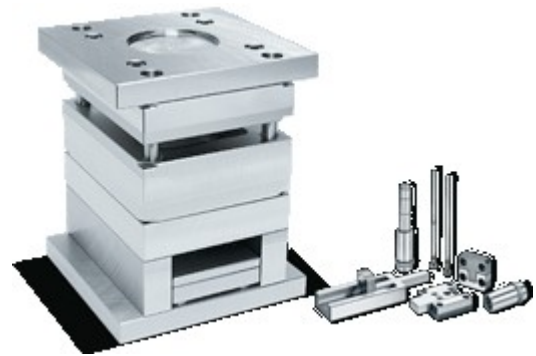
3.2 Postup pri konštrukcii [35]

Konštrukcia vstrekovacej formy je zložená z niekoľkých podstatných krokov, ktoré konštruktér musí zvážiť a riešiť. Tieto kroky sa odvíjajú od zadaných údajov a požiadaviek zákazníka. Postup pri samotnom riešení konštrukcie formy so zadanými údajmi, ako výkres súčasti, násobnosť, typ použitého stroja, je nasledovný:

- posúdenie možnosti zaformovania dielca, určenie miesta vtoku, deliacej krivky a deliacej roviny
- stanovenie rozmiestnenia dutín, určenie ich rozmerov vzhľadom na zmrštenie daného plastu; v prípade potreby použitie jadier
- výber vhodného vtokového systému, jeho návrh; v prípade horúceho vtokového systému – zabudovanie do formy
- návrh vyhadzovacieho systému a spôsobu odvzdušnenia
- návrh temperačného systému
- skladanie zostavy formy vrátane úprav jednotlivých dielcov a určenie ich materiálu
- zvolenie vhodného stredenia formy a jej upnutia na stroj
- posúdenie parametrov formy vzhľadom na zvolený vstrekovací stroj

3.3 Jednotlivé časti formy [1], [20], [22]

Forma ako celok sa skladá z rôznych dielcov, všetky majú svoju vlastnú funkciu; niektoré z nich, konkrétne tvárnik a tvárnica zaisťujú požadovaný tvar a vlastnosti výstreku, ďalšie slúžia na upínanie či stredenie formy a iné. Mnohé z nich je možné zakúpiť v podobe normalizovaných dielcov od rôznych výrobcov, čo má za následok ušetrenie času a najmä finančných prostriedkov potrebných na výrobu formy. Niektoré nakúpené súčasti, ako napríklad strediace elementy, už nepotrebujú ďalšiu úpravu.

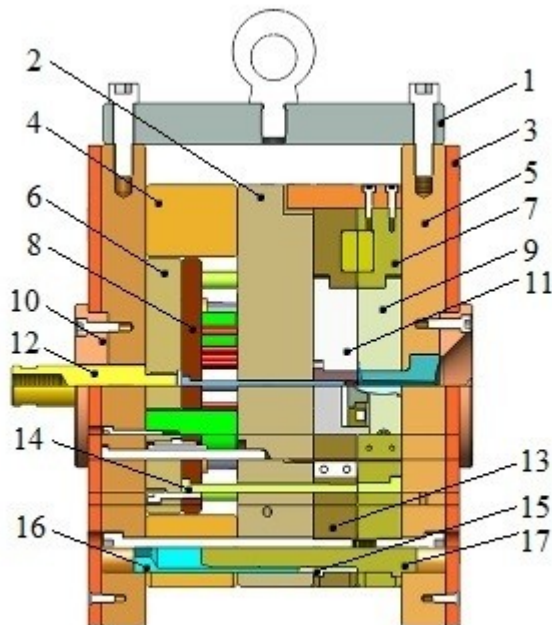


Obr. 3.3: Normalizované dielce [20]

Na obrázku 3.3 sú zobrazené dielce, ktoré sa vyrábajú ako normalizované. Súčasti sú dostupné v rôznych veľkostiach a prevedeniach. Obrázok 3.4 zobrazuje ukážku konštrukcie formy, kde je možné v jej priereze pre predstavu vidieť niektoré diely, z ktorých sa forma skladá. Funkčná časť formy, teda dutina je tvorená tvárnicom (9) a tvárnikom (11), vo väčšine prípadov sú jej súčasťou jadrá a to najmä kvôli zjednodušeniu jej výroby a z dôvodu jednoduchšej opravy v prípade poškodenia a opotrebovania časti dutiny. Diely tvoriace dutinu sú tepelne spracované, tým získajú vyššiu tvrdosť a odolnosť voči opotrebovaniu (pri plastoch s plnivom).

Na zabránenie prestupu tepla z formy do dosiek stroja sa používajú izolačné dosky (3); použitie izolačných dosiek umožňuje lepšiu reguláciu teploty vo forme, doba potrebná na jej vyhriatie je kratšia, zabraňujú tepelným stratám vo forme a tým pádom aj tepelnému opotrebovaniu dosiek stroja.

Pevná a pohyblivá časť formy je vystredená voči stroju pomocou strediacich krúžkov (10), ktoré sú priskrutkované na upínacie dosky formy (5). V upínacej doske pevnej strany je zabudovaná časť vtokového systému; v prípade studeného vtokového systému ide o vtokovú vložku, ktorá je v nej ukotvená, v mnohých konštrukciách foriem poistená proti pootočeniu z dôvodu správneho natočenia vtokových kanálov. Pri použití horúceho systému má vybratie na centrálnu trysku a podľa potreby vybratie na kabeláž. Vzájomné stredenie pevnej a pohyblivej strany formy je zabezpečené pomocou strediacich stĺpikov (17), strediacich puzdier (15). Na vzájomné vystredenie dosiek pevnej a pohyblivej strany formy slúžia strediace rúrky (16).



Obr. 4.3: Prierez formy [1]

Rámy foriem, ako celok, tvoria časť, ktorá je nosičom tvarových dutín, vtokových sústav, ktoré môžu byť vyrobené v rôznych vložkách alebo priamo v rámoch. V ráme pevnej strany formy (7) je uložená tvárnica; uloženie musí byť presné. Pre viacnásobné formy s horúcim

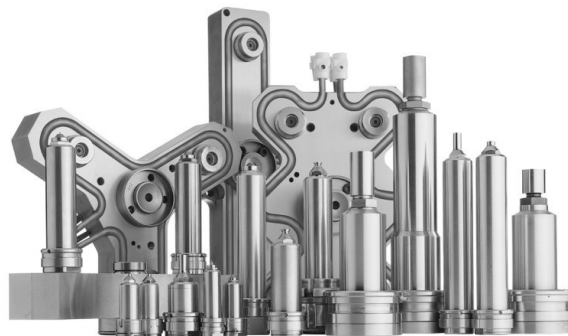
vtokovým systémom sa okrem rámu pevnej strany používa aj rám bloku, do ktorého, rovnako ako do rámu pevnej strany, je zabudovaná rozvádzacia doska s jednotlivými tryskami. V prípade formy so studeným vtokovým systémom je do rámu pevnej strany zabudovaná vtoková vložka. Do rámu pohyblivej strany formy (13) je osadený tvárnik.

Každá forma disponuje vyhadzovacím systémom. Mechanické vyhodenie výstrek z dutiny formy je zabezpečené pomocou vyhadzovačov, poprípade použitím stieracej dosky a stieracích krúžkov a rúrok. Vyhadzovače potrebného tvaru a dĺžky sú uložené v kotevnej doske (8); ich rozmiestnenie musí byť volené tak, aby spoľahlivo vyhodili výstrek a nezostali po nich výrazne stopy na výstreku, prípadne ho nedeformovali. Vyhadzovací systém stroja môže byť pevne spojený s vyhadzovacím systémom formy prostredníctvom trňa (12) a presne vedený pomocou vedenia vyhadzovania. Pohybom vyhadzovačov dopredu dochádza k vyhodeniu výstrek z formy; ich spätný pohyb je zaistený pomocou vratných kolíkov (14) alebo hydraulikou vyhadzovacieho systému stroja. V prípade foriem so studeným vtokovým systémom je nevyhnutné zaistiť vyhodenie vtokového zvyšku; hlavný kužeľový vtok je z vtokovej vložky vytrhnutý pomocou vytrhovača vtoku umiestneného v pohyblivej strane formy, v ktorom je vytvorený naliatok s podkosom a následne je celý vtokový zvyšok vyhodенý z formy vyhadzovačom. Použitím horúceho vtokového systému je výroba dielcov bezodpadová; odpadá povinnosť riešiť vyhodenie vtokového zvyšku. Súčasťou vyhadzovacieho systému je aj oporná doska (6) priskrutkovaná spolu s kotevnou doskou; opierajú sa o ňu čelá hlavičiek vyhadzovačov, a tým je zaistené ich pevné ukotvenie v kotevnej doske počas vyhadzovania výstrek z formy. Rozperné dosky (4) slúžia na zaistenie veľkosti zdvihu vyhadzovania, prenos uzatváracej sily a poskytujú celému vyhadzovaciemu systému priestor na bezproblémový dopredný a spätný pohyb.

Pre zaistenie dostatočnej tuhosti formy a zaistenia polohy jadier sa používajú pomocné dosky (2); v prípade dostatočne hrubého rámu nie sú potrebné. Pre manipuláciu s formou sa používa prenosný mostík (1) so závesnou skrutkou.

3.4 Vtokový systém [1], [8], [26], [32], [34]

Hlavnou úlohou vtokového systému je dopravenie taveniny plastu do tvarových dutín formy a ich bezproblémové vyplnenie, spája trysku stroja s dutinou formy; pri konštrukcii vtokového systému je potrebné dodržať určité pravidlá, a to, voliť vtokový systém, ktorý zaručí naplnenie dutiny formy čo najkratšou možnou cestou za čo najkratší časový úsek. Konštrukcia vtokového systému ovplyvňuje nielen prúdenie taveniny vo forme, ale aj kvalitatívne vlastnosti výstrek; pri nesprávnej konštrukcii môže dôjsť k vzniku studených spojov, mieste spálenie materiálu v dôsledku kompresie vzduchu, nedostreknutie výstrek, šmuhy, zmenu farby a veľa iných.

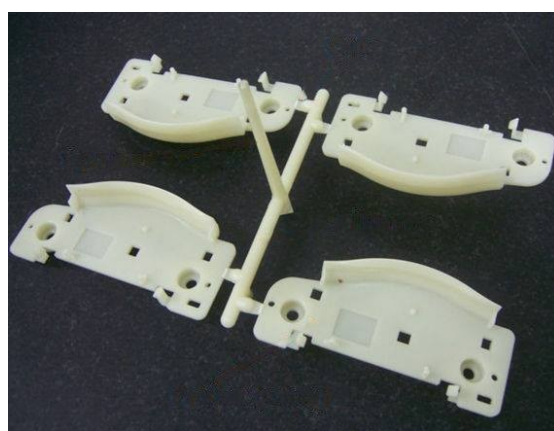


Obr. 3.5: Dielce horúceho vtokového systému [26]

Konštrukcia vtokovej sústavy je ovplyvnená najmä konštrukciou formy a počtom jej dutín, respektíve jej násobnosťou; pri viacnásobných formách musia byť dutiny foriem naplnené súčasne pri rovnakom tlaku a teplote taveniny z dôvodu zabránenia vzniku poškodenia výstrekov. K dispozícii sú dva základné typy vtokových systémov, teda studený vtokový systém a horúci vtokový systém; jeho voľba závisí na rôznych faktoroch, ako napríklad veľkosť výrobnéj série, zložitosť výstreku a nároky na jeho kvalitu, dostupné finančné prostriedky na výrobný proces, druh použitého materiálu finálneho výrobku a v neposlednom rade požiadavky zákazníka. Na obrázku 3.5 sú zobrazené dielce horúceho vtokového systému. V nasledujúcich podkapitolách sú uvedené základné informácie o typoch vtokových systémov, výhody a nevýhody ich použitia.

3.4.1 Studený vtokový systém [1], [11], [12], [32], [35]

Pojem studený vtokový systém hovorí o vtokovom systéme, ktorý nie je ohrievaný ohrievacími telesami a jeho teplota závisí na teplote formy. Systém, skrz ktorý prúdi tavenina, ktorá v ňom počas vstrekovacieho cyklu, počas doby ochladzovania, tuhne a výsledkom je vtokový zvyšok, ktorý je potrebné z formy každý vstrekovací cyklus vyhodiť. Následkom tohto problému je vysoká spotreba materiálu. Na obrázku 3.6 sú zobrazené štyri výstreky, vyhotovené v štvornásobnej forme, aj s vtokovým zvyškom; na obrázku je možné vidieť, akým spôsobom bol navrhnutý vtokový systém. Studený vtokový systém tvorí hlavný vtokový kanál, rozvádzacie vtokové kanály a ústia vtoku.



Obr. 3.6: Výstreky a vtokový zvyšok [11]

Hlavný vtokový kanál

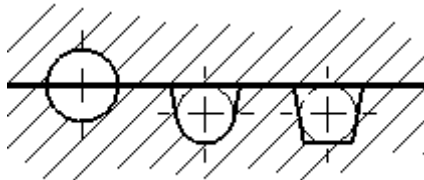
Hlavný vtokový kanál spája trysku stroja s rozvádzacími kanálmi; v prípade jednonásobnej formy spája trysku stroja priamo s dutinou. Najčastejšie používaný typ je kužeľový vtokový kanál vyrobený vo vtokovej vložke. Vstupný priemer d závisí na tryske stroja a hmotnosti výstreku (tab. 3.1) a je väčší ako priemer otvoru trysky stroja minimálne o 0,5 – 1 mm; vychádza zo sedla tvaru gule. Jeho najväčší priemer je väčší ako najväčšia hrúbka výstreku, a to minimálne o 1,5 mm alebo rovnaký ako šírka rozvádzacieho kanálu. Vrcholový uhol kužeľa je 2 - 3°; počas fázy vyhadzovania zaručuje bezproblémové vytrhnutie vtokového zvyšku z vtokovej vložky. Hlavný vtokový kanál je leštený s opracovaním $R_a - 0,2 \mu\text{m}$ z dôvodu hladkého toku taveniny.

Tab. 3.1: Priemer vtoku d v závislosti na hmotnosti výstreku [12]

HMOTNOSŤ VÝSTREKU m [g]	PRIEMER d [mm]
Do 10	3,5
10 - 20	4,5
20 - 40	5,5
40 - 150	6,5
150 - 300	7,5

Rozvádzacie vtokové kanály

Pri konštrukcii viacnásobných foriem treba zaručiť rozvedenie taveniny z hlavného vtokového kanálu do dutín formy, a to je prevedené pomocou rozvádzacích kanálov. Cez rozvádzacie vtokové kanály je tavenina dopravovaná k ústiam vtoku, a následne do jednotlivých dutín formy. Treba dbať na to, aby bola každá dutina vyplnená v rovnakom čase, to znamená, že rozvádzacie kanály musia byť identické, rovnakého priemeru a dĺžky. Veľkosť priemeru ka-



Obr. 3.7: Typy kanálov
SolidWorks

nálu závisí na rôznych faktoroch; hmotnosť a hrúbka stien výstreku, predpokladaná doba dotlaku, tepelné vlastnosti taveniny, vstrekovací tlak, rýchlosť a iné. Na obrázku 3.7 sú zobrazené prierezy funkčne najvýhodnejších a zároveň najpoužívanejších tvarov rozvádzacích kanálov; kruhový a dva typy lichobežníkového kanálu. Tieto konštrukcie kanálov zabezpečia nižšie hodnoty prietokového odporu a čo najmenšie teplotné a tlakové straty.

Ústie vtoku

Rozvádzacie vtokové kanály ústia do dutín formy v ich zúženej podobe, teda ústím vtoku; zúženie spôsobuje zvýšenie teploty taveniny a zníži sa množstvo odtrhávaných stuhnutých vrstiev z vtoku, tým pádom sa zníži aj riziko vzniku defektov. Umiestnenie ústia vtoku má vplyv na vlastnosti a kvalitu výstreku, náročnosť začistenia vtoku na výstreku, spotrebu plastu atď. Ústie vtoku sa umiestňuje do najhrubšieho miesta výstreku, stredu dutiny, do miest na výstreku, kde nemá stopa po vtoku vplyv na estetickú funkciu výrobku. Existuje niekoľko typov ústia vtoku:

- Plný kužeľový vtok:** Je vhodný pre hrubostenné a veľké výstreky. Tavenina tečie do dutín neúženým ústím vtoku; je potrebné dodatočné oddelenie vtokového zvyšku od výstreku.
- Bodový vtok:** Jeden z najpoužívanejších typov, výrobné jednoduchý; vtokový zvyšok je automaticky oddelený od výstreku iba v prípade trojdoskového typu formy.
- Tunelový vtok:** Typ bodového ústia vtoku, pomerne náročný na výrobu. Vytvorením ostrej hrany dochádza k automatickému oddeleniu vtokového zvyšku od výstreku počas otvárania formy alebo počas vyhodenia výstrekov.
- Štrbinový vtok:** Typ bočného vtoku. Používaný pre výstreky s vysokými nárokmi na kvalitu kruhových tvarov. Po vyhodení výstreku z formy je potrebné zabezpečiť následné oddelenie vtokového zvyšku od finálnych výrobkov.

Pri návrhu studeného vtokového systému do formy je potrebných niekoľko úprav v jednotlivých elementoch formy, najmä čo sa týka sústavy rámov a dosiek. Ide o zabudovanie vtokovej vložky s hlavným vtokovým kanálom a výrobu rozvádzacích kanálov a ústí vtokov priamo do dosiek a tvárnic formy. Pre zaistenie vyhodenia vtokového zvyšku z formy sa používa vytrhovač spolu s vyhadzovačom vtoku, ktoré sú zabudované v pohyblivej strane formy. V prípade studeného vtokového systému je dôležité upriamiť pozornosť na oddeľovanie vtokových zvyškov od výstreku priamo vo forme; dôvodom je automatizácia výrobného procesu a s tým spojené finančné náklady. Oddelenie je možné zaručiť vhodnou konštrukciou vtokového systému alebo prídavným mechanickým zariadením na to určeným.

3.4.2 Horúci vtokový systém [4], [9], [10], [23], [25], [35]

Horúce vtokové systémy boli zhotovené už v šesťdesiatych rokoch, avšak kvôli svojim vtedajším nevýhodám nebolo ich používanie bežnou záležitosťou; používať sa začali až v deväťdesiatych rokoch vďaka ich lepšiemu prepracovaniu a odstráneniu niektorých nevýhod. V dnešnej dobe sú na trhu dostupné a ich používanie je čím ďalej, tým populárnejšie, a to najmä kvôli výhodám, ktoré majú oproti klasickým studeným vtokom.

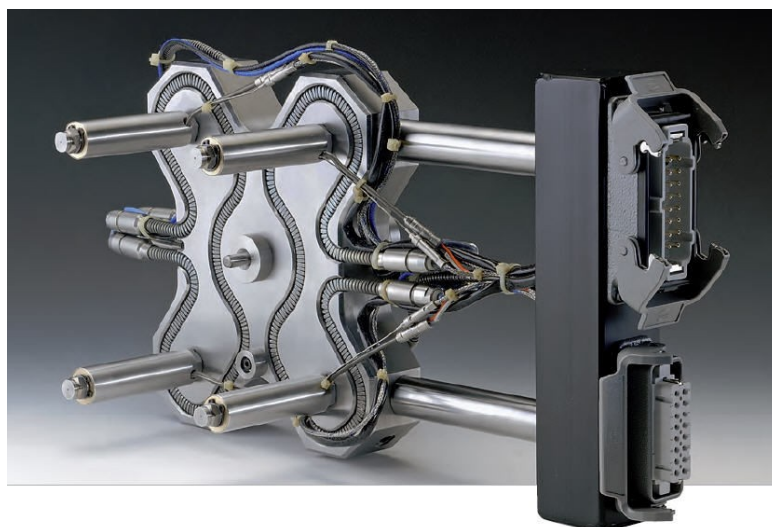
Výhody horúcich vtokových systémov:

- bezodpadová výroba – úspora materiálu,
- umožnenie automatizácie výroby,
- vyššia produktivita oproti studeným vtokovým systémom,
- skrátenie doby chladnutia, tým pádom celkového vstrekovacieho cyklu,
- priaznivé ovplyvnenie kvalitatívnych vlastností výstrelu,
- menšie celkové náklady na výrobu v porovnaní s formou so studenou vtokovou sústavou,
- odpadnutie nákladov na odstránenie vtokových zvyškov.

Avšak ako každá technológia, aj použitie horúcich vtokových systémov má svoje nevýhody:

- vysoká náročnosť a cena formy,
- zložitosť a náročné opravy horúcich systémov,
- náročnosť na výrobné zariadenia a technické znalosti pracovníkov,
- neefektívna výroba pri malej sériovosti.

Horúci vtokový systém (obr. 3.8) je sústavou vyhrievaných telies spájajúca trysku stroja s jednotlivými dutinami formy. Tavenina je do dutiny formy privádzaná cez vtokový systém, v ktorom je udržiavaná jej teplota na určitej hodnote; inak povedané, je to časť, v ktorej je plast udržiavaný v podobe taveniny počas celého výrobného procesu. Tavenina začína tuhnúť až v tvarovej dutine formy. Použitím horúcich vtokových systémov sa zvyšuje kvalita výstrekov; vyššia teplota taveniny zlepšuje jej zatekanie, znižuje tlakové straty v dutinách formy a znižuje vplyv studených spojov na mechanické vlastnosti a akosť povrchu.



Obr. 3.8: Horúci vtokový systém [5]

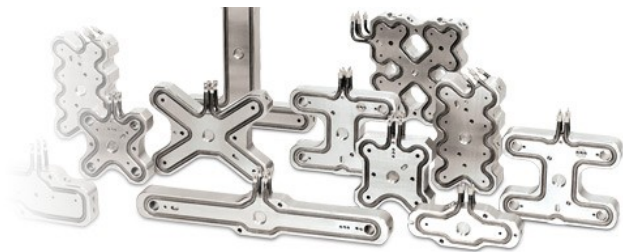
Z dôvodu udržiavania materiálu v horúcom vtokovom systéme v podobe taveniny nevzniká žiadny vtokový zvyšok. Táto skutočnosť má značný vplyv na celkovú výrobu a hlavne na výrobné náklady; umožňuje automatizáciu celého procesu, nie je potrebné riešiť dokončovacie práce na výstreku v podobe oddelenia vtokového zvyšku od hotového dielca, manipuláciu s ním a ďalšie spracovanie a recykláciu odpadového materiálu, a s tým spojené finančné náklady. Tým, že nevzniká vtokový zvyšok, je doba potrebná na jeho stuhnutie nulová, a to má vplyv na dobu ochladzovania, ktorá sa skrúti.

Použitie horúceho vtokového systému je vhodné pre veľkosériovú výrobu z dôvodu vysokej nákupnej ceny, ktorej návratnosť nastáva až pri väčšom množstve vstrekovaných dielcov. Systém dodávajú špecializované firmy; jeho náročnosť závisí na násobnosti formy a spôsobe jej konštrukcie, od čoho sa odvíja aj jeho cena. Forma s horúcim vtokovým systémom je viac mechanicky a tepelne namáhaná, čo vyžaduje väčšiu tuhosť oproti forme so studeným vtokovým systémom; zvyšuje sa jej cena.

Zložitosť a členitosť horúceho vtokového systému závisí najmä na násobnosti formy. Pri jednonásobnej forme sa skladá z jednej vyhrievanej trysky, ktorá prepája trysku stroja priamo s dutinou formy v jednej osi. Horúci vtokový systém viacnásobnej formy sa skladá z jednej centrálnej trysky, napojenej na trysku stroja, z rozvádzacej dosky a jednotlivých trysiek ústiach do dutín formy.

Rozvádzacia doska

Rozvádzacie dosky (obr. 3.9) sa používajú pri konštrukcii viacnásobných foriem. Pomocou nich je tavenina rozvádzaná do jednotlivých trysiek ústiach do dutín formy. Dodávateľ horúceho vtokového systému musí zaručiť jeho rovnomerné ohrievanie. Rozvádzacia doska je uložená v doske s dobrou tepelnou izoláciou a spolu s touto doskou zabudovaná do pevnej strany formy medzi upínaciu dosku a rám, v ktorom je uložená tvárnica. Existuje veľa rôznych tvarov rozvádzacích dosiek; tvar je daný rozmiestnením dutín a potrebnou polohou rozvádzacích kanálov. Vo forme je upevnená pomocou prítlačných podložiek a je stredená, a z dôvodu presného umiestnenia trysiek do dutín formy poistená proti pootočeniu.



Obr. 3.9: Rozvádzacie dosky [10]

Trysky

Na trhu je veľké množstvo špecializovaných firiem poskytujúcich horúce vtokové systémy, každá z nich má svoje vlastné konštrukcie trysiek, avšak všetky majú tú istú funkciu, a to dopravenie taveniny plastu do dutiny formy. Vyhrievané trysky (obr. 3.10) sú vyrábané v rôznych prevedeniach; existujú nepriamo a priamo vyhrievané trysky. K dispozícii je taktiež veľké množstvo typov trysiek; niektoré sú konštruované napríklad s otvoreným ústím, so špičkou, s uzatváracou ihlou a rôzne špeciálne tvarované trysky. Ich použitie je podmienené druhom vstrekovaného materiálu.



Obr. 3.10 Vyhrievané trysky [7]

3.5 Temperačný systém [1], [14], [32]

Funkciou temperačného systému je udržanie rovnomernej teploty formy počas vstrekovacieho cyklu a odvod tepla z dutiny naplnenej taveninou plastu; temperačný systém musí zaručiť čo najrýchlejšie stuhnutie taveniny v dutine formy. Správnym a dostatočným návrhom temperačného systému je možné optimalizovať vstrekovací proces, a to skrátenie doby chladnutia taveniny vo forme, teda celkovej doby vstrekovacieho cyklu. Celý systém je tvorený temperačnými kanálmi a dutinami vyrobenými v doskách a jadrách formy, ktorými prúdi zvolené temperačné médium. Každá strana formy, pevná aj pohyblivá, majú svoj vlastný temperačný okruh, ktorý je potrebné navrhnuť s ohľadom na riešenie formy, najmä vtokový systém. Vzdialenosť kanálov od dutiny musí byť optimálna, pričom tuhosť formy ostáva zachovaná. Okolo dutiny musia byť rozmiestnené v rovnakej vzdialenosti a je potrebné, aby ich rozmiestnenie bolo rovnomerné; miesta, kde je hrúbka výstrelu väčšia sa umiestňujú do menšej vzdialenosti od dutiny. V prípade použitia horúceho vtokového systému je nutné myslieť aj na chladenie dosiek formy, v ktorých je systém zabudovaný.

Pri návrhu temperačného systému platia určité pravidlá:

- umiestnenie temperačných kanálov do miest vtoku vo vhodnej vzdialenosti,
- v prípade horúceho vtokového systému navrhnuť aj jeho chladenie, teda chladenie centrálnej trysky a pri viacnásobnej forme aj chladenie jednotlivých trysiek,
- používať kruhový prierez temperačných kanálov priemeru minimálne 6 mm; menšie riziko upchávania kanálov a ich jednoduchá výroba,
- rozmiestnenie kanálov s ohľadom na tvar vstrekovateľného dielca,
- v prípade potreby používanie tesniacich gumičiek v miestach styku jednotlivých elementov formy.

Temperačný systém formy má veľký vplyv na vlastnosti výstrelu; ovplyvňuje zmrštenie vstrekovateľného dielca, jeho mechanické vlastnosti, kvalitu a aj samotný tvar výstrelu. Rovnomernosť ochladzovania taveniny v dutine formy nemá za následok vznik vnútorných napätí, výstrek sa počas chladenia nedeformuje. Jeho úlohou je taktiež udržiavanie konštantnej teploty formy; použitím horúceho vtokového systému môže dôjsť ku prehriatiu niektorých častí formy, a tým pádom aj k jej tepelnému opotrebovaniu, preto je nutné navrhnuť jeho chladenie.

3.6 Vyhadzovací systém [1], [14], [32]

Vyhodenie výstrelu z dutiny formy nastáva vo chvíli, keď je výstrek v dutine dostatočne tuhý na bezproblémové vyhodenie bez porušenia, čo je zaistené pomocou vyhadzovacieho systému. Používa sa niekoľko typov vyhadzovania, záleží na tvare dielca a možnostiach umiestnenia vyhadzovacích elementov z hľadiska estetickej funkcie výstrelu. Každý typ vyhadzovacieho systému musí vyhadzovať výstrek rovnomerne a nesmie ho akokoľvek zdeformovať. Formy so studeným vtokovým systémom majú zabezpečené aj vyhadzovanie vtokového zvyšku. Výstrek môže byť vyhodенý vyhadzovacími kolíkmi, stieracou doskou alebo krúžkom, pomocou trubkového vyhadzovača alebo stlačeným vzduchom.

4 VSTREKOVACÍ STROJ [3], [14], [30]

Vstrekovací stroj (obr. 4.1) je určený na spracovanie termoplastov technológiou vstrekovania do dutín foriem. Dnešné vstrekovacie stroje sú moderné; výroba prebieha čiastočne alebo plne automaticky, čo umožňuje dosiahnuť vysokú produktivitu výroby dielcov vstrekováním. Z toho dôvodu je táto technológia vhodná najmä pre veľkosériovú výrobu. Na trhu je niekoľko typov vstrekovacích strojov; delia sa podľa rôznych kritérií, či už napríklad podľa objemu vstrekovanej taveniny na malogramážne, stredogramážne a veľkogramážne, alebo podľa vzájomnej polohy vstrekovacej a uzatváracej jednotky na horizontálne, vertikálne a uhlové. Avšak každý vstrekovací stroj disponuje vstrekovacou a plastikačnou jednotkou, jednotkou uzatváracou a riadiacim systémom.

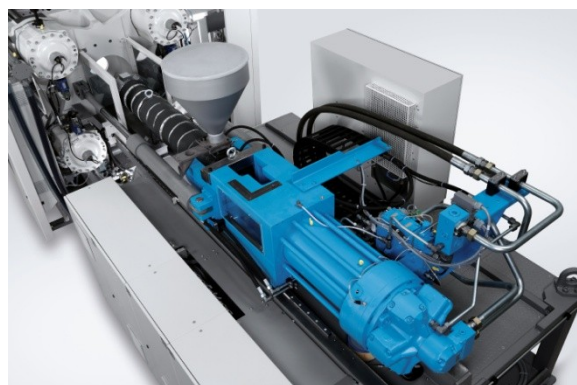
Voľba vhodného vstrekovacieho stroja je veľmi dôležitá; riadi sa najmä veľkosťou možnej vstrekovanej dávky počas jedného cyklu, teda kapacitou plastikačnej jednotky, veľkosťou uzatváracej sily, rozmermi pracovného priestoru. V nasledujúcich podkapitolách sú podrobnejšie opísané jednotlivé jednotky stroja.



Obr. 4.1: Vstrekovací stroj [3]

4.1 Vstrekovacia a plastikačná jednotka [1], [16], [18]

Vstrekovacia a plastikačná jednotka (obr. 4.2) stroja je tvorená násypkou, do ktorej je nasýpaný granulát plastu, dávkovacím a plastikačným zariadením, tryskou stroja, výhrevným systémom a pohonom s reguláciou. Ich úlohou je dávkovanie granulátu plastu, jeho plastikácia a následne jeho vstreknutie do dutiny formy. Dnešné vstrekovacie stroje využívajú plastikačný valec so šnekom, ktorý naberá granulát do plastikačnej jednotky, kde je tavený. Staršie stroje majú namiesto šneku piest; tieto stroje sa takmer už nepoužívajú, a to z dôvodu veľkých nevýhod v porovnaní so šnekovými strojmi.



Obr. 4.2: Vstrekovacia a plastikačná jednotka [16]

4.1.1 Parametre vstrekovacej a plastikačnej jednotky [1], [13], [14]

Základné parametre vstrekovacej a plastikačnej jednotky sú dôležité pri stanovení vhodného vstrekovacieho stroja pre výrobný proces daného výrobku. Tými najdôležitejšími sú:

Vstrekovací tlak a dotlak

Vstrekovací tlak je definovaný ako maximálny tlak v tavenine plastu nachádzajúcej sa pred šnekom v okamihu, keď sa dáva do pohybu. Pre dané materiály je možné získať doporučený vstrekovací tlak a dotlak z tabuliek materiálových hodnôt.

Vstrekovacia kapacita

Vstrekovaciú kapacitu je nutné chápať ako maximálne množstvo taveniny plastu, ktoré je možné dopraviť do dutiny formy počas jedného vstrekovacieho cyklu. Pre posúdenie vhodnosti vstrekovacieho stroja je stanovená minimálna požadovaná vstrekovacia kapacita stroja, ktorá musí byť nižšia ako jeho maximálna vstrekovacia kapacita a vypočítaná podľa vzťahu 4.1:

$$C_v \geq 1,1 \cdot [(n \cdot V) + V_{vt}] [\text{cm}^3], \quad (4.1)$$

kde: C_v [cm^3] – vstrekovacia kapacita stroja,
 n [ks] – násobnosť formy,
 V [cm^3] – objem plastového dielca,
 V_{vt} [cm^3] – objem vtokového zvyšku.

Plastikačná kapacita

Maximálne množstvo taveniny, ktoré je pripravené za jednu hodinu sa označuje ako plastikačná kapacita stroja. Vypočítaná minimálna potrebná plastikačná kapacita pre danú výrobu musí byť menšia ako plastikačná kapacita stroja. Minimálna plastikačná kapacita sa vypočíta podľa vzťahu 4.2:

$$C_p > \frac{4 \cdot \rho \cdot (n \cdot V + V_{vt})}{t_c} [\text{kg} \cdot \text{hod}^{-1}], \quad (4.2)$$

kde: C_p [$\text{kg} \cdot \text{hod}^{-1}$] – plastikačná kapacita stroja,
 n [ks] – násobnosť formy,
 ρ [$\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$] – hustota materiálu,
 V [cm^3] – objem plastového dielca,
 V_{vt} [cm^3] – objem vtokového zvyšku
 t_c [s] – celkový čas vstrekovacieho cyklu.

Parametre šneku

Medzi parametre šneku ovplyvňujúce voľbu vhodného vstrekovacieho stroja patria jeho priemer a dráha, ktoré ovplyvňujú priamo veľkosť vstrekovanej dávky. Dôležité sú aj otáčky šneku; pri vysokých otáčkach môže dôjsť ku degradácii materiálu, preto je vhodné zvoliť ich optimálnu hodnotu.

4.2 Uzatváracia jednotka [1], [14]

Uzatváraciu jednotku vstrekovacieho stroja tvorí uzatvárací, pridržiavací a vyhadzovací mechanizmus, každý z nich plní určitú funkciu. Funkciou uzatváracieho mechanizmu je otváranie a uzatváranie formy silou, ktorá sa nazýva uzatváracia. Pridržiavací mechanizmus zaisťuje zotrvanie formy v uzatvorenom stave pridržiavacou silou počas fázy vstrekovania a do tlaku. Úlohou vyhadzovacieho mechanizmu vstrekovacieho stroja, pevne spojeného s vyhadzovacím systémom formy, je spoľahlivo vyhodit' stuhnuté výstreky z dutín formy. Uzatváracie jednotky vstrekovacích strojov môžu byť rôzne konštruované, a to napríklad ako hydraulické, mechanické, hydraulicko-mechanické alebo ako elektrické systémy

4.2.1 Parametre uzatváracej jednotky [1], [13], [14]

Najdôležitejšie parametre pri určovaní vstrekovacieho stroja sú pridržovacia sila a sila uzatváracia, ktoré sú podrobnejšie uvedené v tejto podkapitole.

Pridržovacia sila

Maximálna sila, ktorú je schopný stroj vyvinúť medzi doskami stroja, pevnou a pohyblivou, je definovaná ako pridržovacia sila stroja. Veľkosť pridržovacej sily potrebnej počas vstrekovacieho cyklu daného dielca sa vypočíta podľa vzťahu 4.3:

$$F_p = (n \cdot S_v + S_{vt}) \cdot \frac{p_A + 100}{100} \text{ [kN]}, \quad (4.3)$$

kde: F_p [kN] – pridržovacia sila stroja,
 n [ks] – násobnosť formy,
 S_v [cm²] – plocha priemetu jedného výstrelu do deliacej roviny,
 S_{vt} [cm²] – plocha priemetu vtokového zvyšku do deliacej roviny,
 p_A [bar] – tlak v dutine formy.

Uzatváracia sila

Uzatváracia sila je sila, ktorá je potrebná na otvorenie a uzatvorenie formy. Jej veľkosť musí byť taká, aby bezpečne rozhybala pohyblivú dosku stroja spolu s pohyblivou stranou formy.

Vyhadzovacia sila

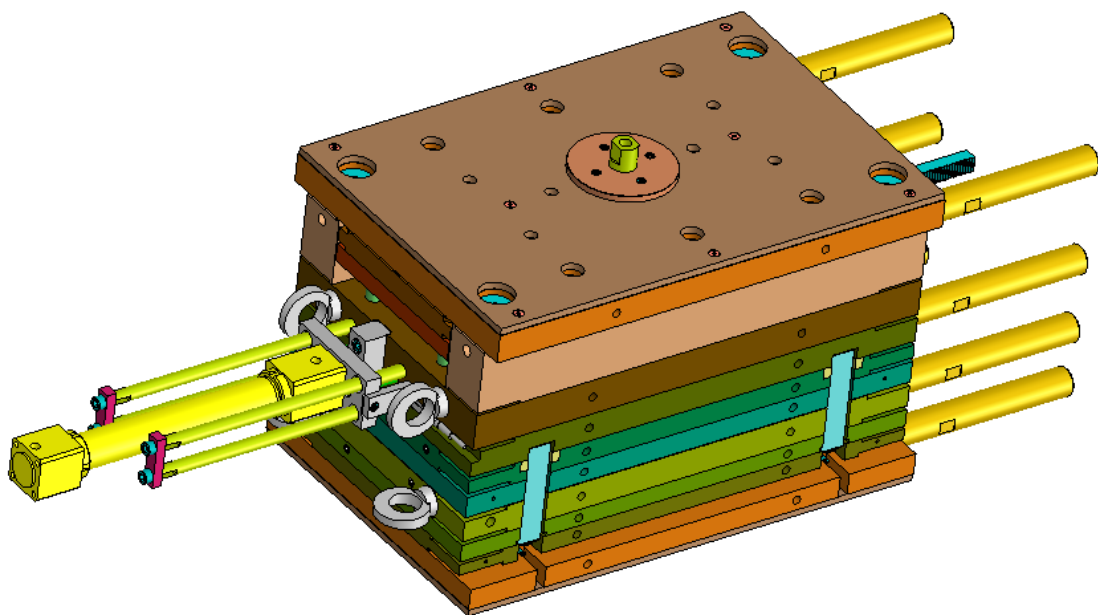
Vyhadzovacia sila je definovaná ako maximálna sila, ktorú je stroj schopný vyvinúť na vyhodenie výstrekov z dutín formy. Sila potrebná na vyhodenie daných výstrekov musí byť menšia ako maximálna vyhadzovacia sila stroja.

5 FORMA SO STUDENÝM VTOKOVÝM SYSTÉMOM NA VÝROBU PLASTOVÉHO UZÁVERU TUBY

Obsahom tejto kapitoly je objasnenie riešenia konštrukcie existujúcej vstrekovacej formy so studeným vtokovým systémom na výrobu plastového uzáveru. V nasledujúcich podkapitolách je uvedený konštrukčný návrh pohyblivej a pevnej strany formy, podrobnejšie riešenie vtokového systému, technologické parametre a výber vhodného vstrekovacieho stroja vzhľadom na uvedené riešenie vstrekovacej formy.

Forma (obr. 5.1) na výrobu uzáveru tuby je vzhľadom na požadovanú veľkosť série, termín dodania a rozmery vyrábaného dielca navrhnutá ako šestnásťnásobná. Keďže ide o formu so studeným vtokovým systémom, a vtok je umiestnený do jamky tvaru gule na čele výstreku, je nástroj konštrukčne prevedený ako trojdoskový typ formy využívajúci dve deliace roviny. V jej konštrukcii je použitá ďalšia doska, v porovnaní s dvojdoskovou konštrukciou, ktorá umožňuje využitie druhej deliacej roviny na vyhodenie vtokového zvyšku, čo znamená, že forma je otvorená v dvoch miestach, a to v mieste vyhodenia výstrekov z dutín formy a v mieste, kde je vyhodенý vtokový zvyšok. V čase otvárania formy ostáva vtokový zvyšok na stieracej doske umiestnenej vedľa upínacej dosky v pevnej strane formy; forma je najskôr otvorená v deliacej rovine určenej na vyhodenie vtokového zvyšku, počas jej otvárania sa súčasne pohybuje stieracia doska, ktorá zaisťuje vyhodenie vtokového zvyšku. Následne je forma plne otvorená v deliacej rovine výstrekov a dochádza k vyhodeniu stuhnutých dielcov z tvarových dutín.

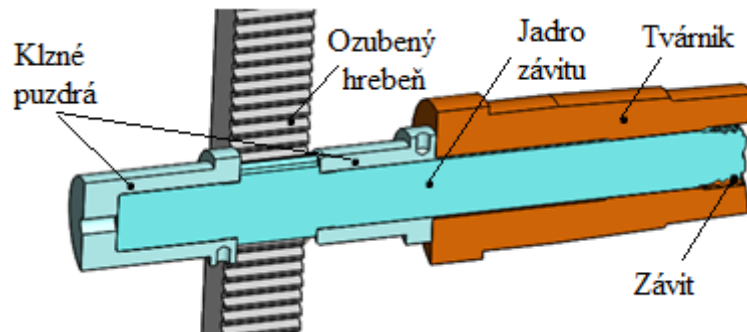
Trojdoskový typ formy má dve značné výhody oproti dvojdoskovému typu. Jednou z nich je možnosť umiestnenia ústia vtoku do dutiny na akomkoľvek mieste. Druhou výhodou je zabezpečenie automatického vyhodenia vtokového zvyšku, čo umožňuje vstrekovanie s plne automatickým cyklom.



Obr.5.1: Zostava formy na výrobu uzáveru tuby so studeným vtokovým systémom SolidWorks

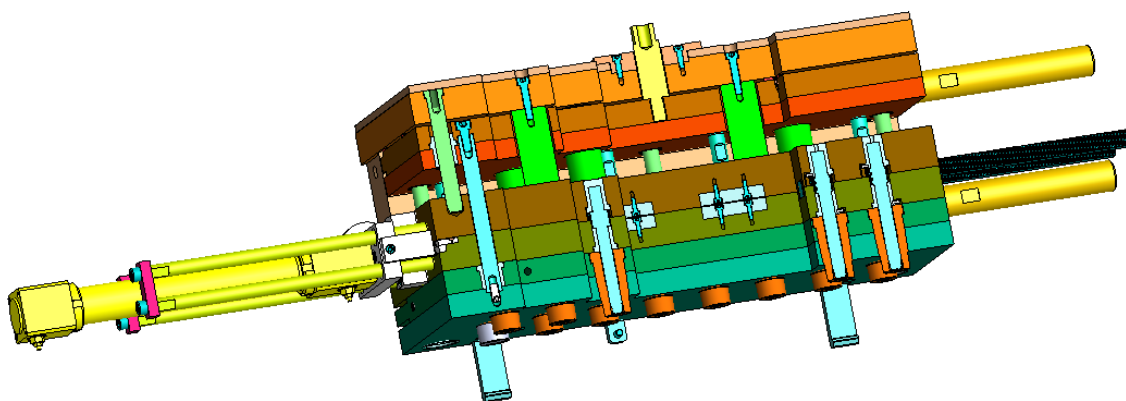
5.1 Pohyblivá strana formy

Pohyblivá strana formy (obr. 5.3) je upnutá na pohyblivú dosku stroja; je to časť, ktorej úlohou je zabezpečenie vyhodenia výstreku z dutín formy. Plastový uzáver tuby je dielec, pri ktorom je potrebné konštrukciou formy riešiť problém vyhodenia výstreku s ohľadom na závit, ktorý sa na súčasti nachádza; okrem samotného vyhodenia dielca je nevyhnutné navrhnuť vhodný mechanizmus zabezpečujúci vytočenie závitového jadra. Súčasťou dutiny formy, okrem tvárnikov, je šesťnásť jadier závitov klzne uložených v puzdrách, zobrazených na obrázku 5.2. Ich vytáčanie je realizované pomocou dvoch ozubených hrebeňov konajúcich priamočiary pohyb, ovládaných hydraulickým valcom.

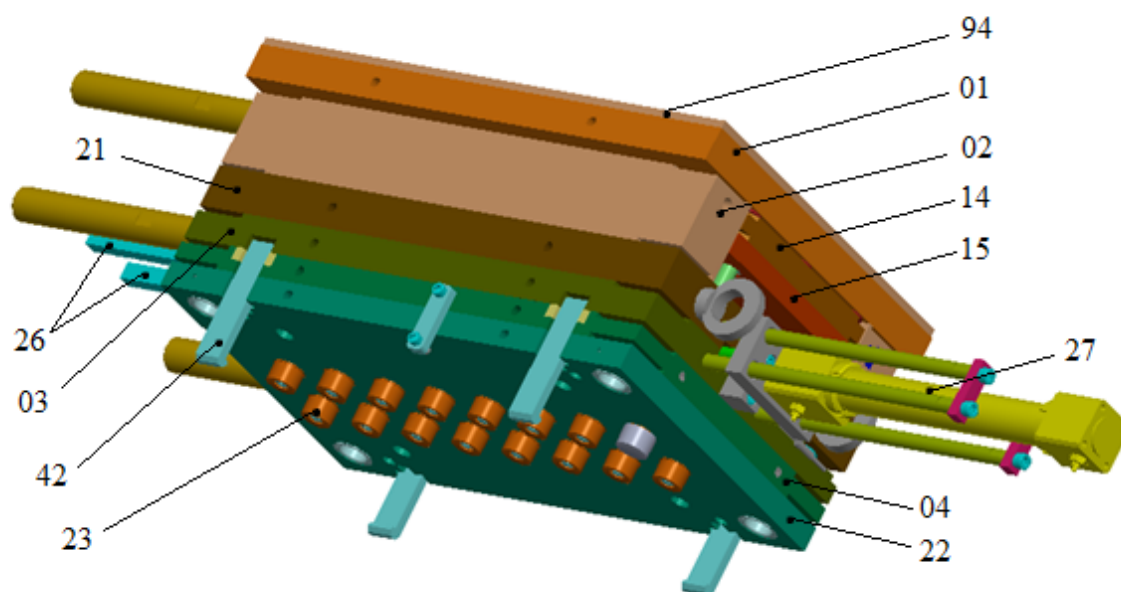


Obr. 5.2: Jadro závitov klzne uložené v puzdrách SolidWorks

Plastový uzáver tuby má na vonkajšom priemere vnútornej časti navrhnuté štyri rebrá, ktoré slúžia na zabránenie pootočeniu výstrekov v dutine formy počas ich vyhadzovania, teda počas vytáčania jadier závitov zo stuhnutého dielca, čiže je vyhadzovanie stuhnutých výstrekov zabezpečené otáčaním jadier závitov na mieste, a súčasne vysúvaním výstrekov z tvárnic po otvorení formy v deliacej rovine určenej na vyhodenie hotových výrobkov. Z dôvodu úplného a bezproblémového vyhodenia výstrekov z dutín formy bola pri konštrukcii použitá aj stieracia doska ako pomocný vyhadzovací element. Stieracia doska je pevne spojená s vyhadzovacím systémom formy. Jej úlohou je zabezpečenie vysunutia výstrekov uložených na tvárnikoch počas vytáčania.



Obr. 5.3: Rez pohyblivou stranou formy so studeným vtokovým systémom SolidWorks



Obr. 5.4: Pohyblivá strana formy so studeným vtokovým systémom SolidWorks

Na obrázku 5.4 je zobrazená pohyblivá strana formy so studeným vtokovým systémom, ktorú tvorí niekoľko k sebe priskrutkovaných dosiek. Jednou z nich je izolačná doska PO (poz. 94) slúžiaca na zabránenie prestupu tepla z formy do stroja, čím nedochádza k tepelnému opotrebovaniu upínacích dosiek stroja. Izolačná doska PO je priskrutkovaná na upínaciu dosku PO (poz. 01), ktorá má väčší rozmer ako ostatné dosky pohyblivej strany a cez ktorej presahy je forma upevnená pomocou úpiniek k stroju. Rozperné dosky (poz. 02) vymedzujú priestor pre zdvih vyhadzovania. V opornej doske (poz. 14), priskrutkovanej spolu s kotevnou doskou (poz. 15), sú uložené ovládacie trne, ktorých hlavnou funkciou je ovládanie stieracej dosky (poz. 22). V pohyblivej strane formy sú vložené tri rámy. V dvoch z nich, v ráme PO 1 (poz. 03) a ráme PO 2 (poz. 21) sú uložené dva ozubené hrebene (poz. 26) a na ne upevnený hydraulický valec (poz. 27), ktorý ich ovláda. V ráme pohyblivej strany (poz. 04) sú uložené jednotlivé tvárniky (poz. 23) a vybratia na systém potrebný pri otvorení formy, a to držiaky v ktorých sú upevnené tiahla (poz. 42). Ich úlohou je otvoriť formu v deliacej rovine určenej na vyhodenie vtokového zvyšku, a to ťahaním rámov pevnej strany formy počas jej otvárania.

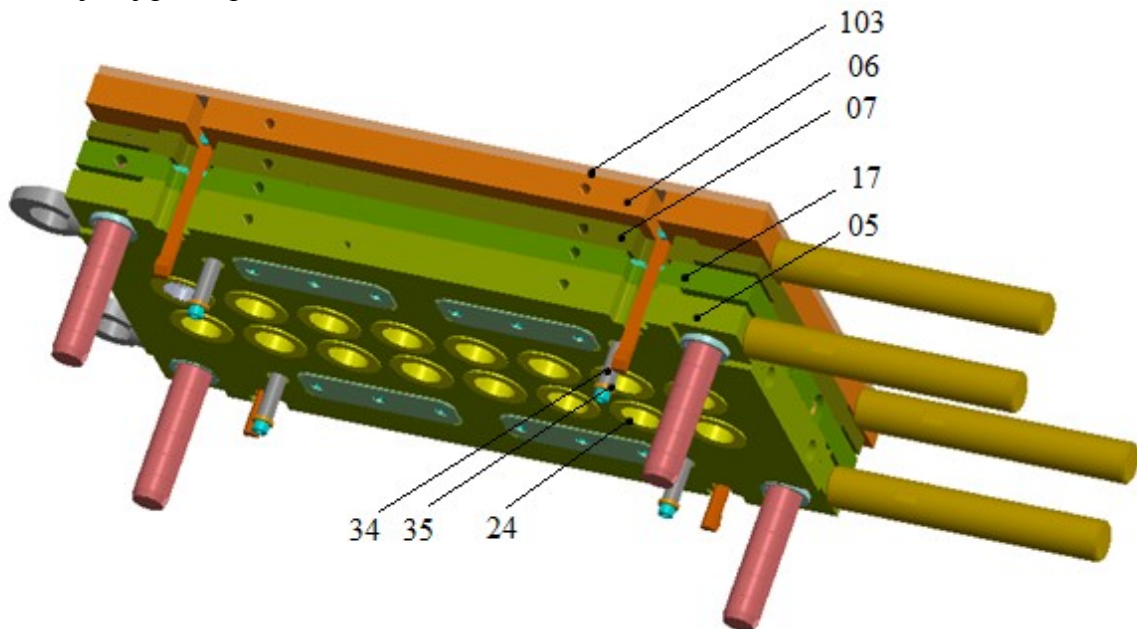
V tabuľke 5.1 sú uvedené niektoré z dielov, z ktorých je pohyblivá strana formy zostavená. Uvedená je ich pozícia v zostave, názov, rozmery alebo katalógové číslo v prípade normalizovaných dielcov, materiál a počet kusov. Niektoré súčasti sú nakupované ako normalizované dielce od firmy HASCO, ostatné potrebné vybratia a tvary sú dodatočne vyrábané, čo ušetrí čas a taktiež finančné prostriedky vynaložené na výrobu formy. Avšak niektoré súčasti nie sú k dispozícii ako normalizované, preto je potrebné ich kompletne vyrobiť.

Tab. 5.1: Diely pohyblivej strany formy

Poz.	Názov	Rozmer	Materiál	Kus
01	Upínacia doska PO	K10/346x596x36/1.1730	HASCO	1
02	Rozperná doska	K40/346x596x86/1.1730	HASCO	2
03	Rám PO 1	K30/346x596x46/1.1730	HASCO	1
04	Rám PO	K252/346x596x27/1.2312	HASCO	1
11	Strediaci krúžok PO	Ø125-20,5	1.1730	1
14	Oporná doska	K70/346x596x27/1.1730	HASCO	1
15	Kotevná doska	K60/346x596x22/1.2312	HASCO	1
21	Rám PO 2	K30/346x596x36/1.1730	HASCO	1
22	Stieracia doska	K252/346x596x27/1.2312	HASCO	1
23	Tvárnik	Ø40-75	1.2343	16
25	Jadro závitú	Z1550/15x140	HASCO	16
26	Ozubený hrebeň	Z1540/18x800/1.25	HASCO	2
27	Hydraulický valec	1294_13_320 +G1/4	ROMHELD	2
42	Tiahlo	22,5x30x134,4	1.2343	4
94	Izolačná doska PO	Z121/396 596/8,5/90	HASCO	1

5.2 Pevná strana formy

Pevná strana formy (obr. 5.5) je upevnená na pevnú dosku vstrekovacieho stroja. Ide o stranu, ktorej cieľom je dopraviť taveninu plastu do dutín formy vtokovým systémom, ktorý je v nej zabudovaný. V tomto prípade je to studený vtokový systém detailne uvedený v nasledujúcej podkapitole.



Obr. 5.5: Pevná strana formy so studeným vtokovým systémom SolidWorks

Pevná strana formy, rovnako ako pohyblivá, je zložená z niekoľkých dosiek v ktorých sú uložené potrebné elementy formy. Jej súčasťou je izolačná doska PN (poz. 103), taktiež slúžiaca na zamedzenie prestupu tepla do stroja. Upínacia doska PN (poz. 06) pevnej strany je rovnako úpinkami cez jej presahy pripevnená k doske vstrekovacieho stroja a je v nej ulo-

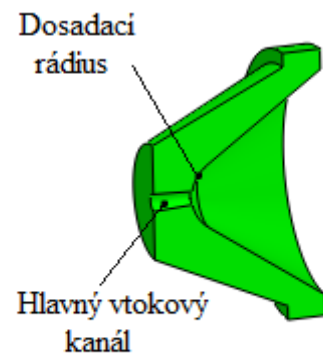
žená vtoková vložka. Forma je trojdoskového typu; vyhodenie vtokových zvyškov je zabezpečené pomocou stieracej dosky (poz. 07). Pri otváraní formy sa odtrhnú ústia vtokov od výstrekov, vtokový zvyšok je pridržiavaný na pevnej strane na stieracej doske. Rám pevnej strany (poz. 05) narazí na podložky (poz. 35) pripevné na dištančných rúrkach (po. 34), ktoré sú pevne spojené so stieracou doskou; tým sa začne ťahať aj stieracia doska a nastáva vyhodenie vtokového zvyšku. Stieracia doska sa dostáva do pohybu po otvorení formy v deliacej rovine určenej na vyhodenie vtokového zvyšku na vzdialenosť 74 mm.

Neoddeliteľnou súčasťou pevnej strany formy sú tvárnice (poz. 24) uložené v ráme pevnej strany. Systém rozvádzacích vtokových kanálov, ktorými prúdi tavenina plastu k jednotlivým dutinám je vyrobený v pomocnom ráme (poz. 17).

5.2.1 Vtokový systém

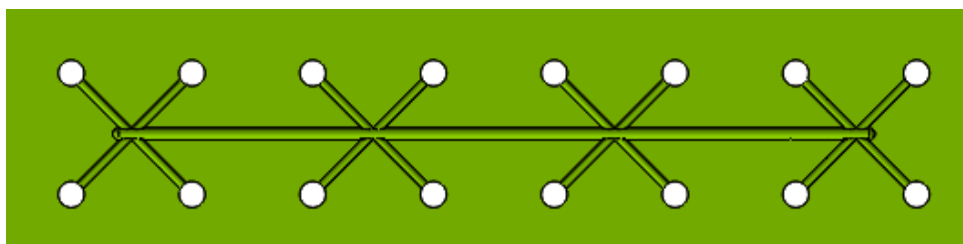
Súčasť má estetickú funkciu, je potrebné zabezpečiť, aby stopa po vtoku nevyčnievala, aby bola skrytá. To je dosiahnuté umiestnením vtoku do čela uzáveru tuby, konkrétne do jamky tvaru gule. Navrhnutý studený vtokový systém sa skladá z vtokovej vložky, rozvádzacích vtokových kanálov, šestnástich vložiek vtoku a ústí vtoku.

Vtoková vložka (obr. 5.6), slúžiaca pre centrálny vtok do formy je umiestnená v upínacej a stieracej doske a zapustená čo najhlbšie do formy z dôvodu skrátenia dráhy vtoku. Dosadací rádius na vtokovej vložke pre trysku stroja je 10 mm. Pre túto formu je použitá špeciálna tryska stroja vchádzajúca do formy do hĺbky 38,7 mm, ktorú mal zákazník k dispozícii. Hlavný vtokový kanál je kužeľový s vrcholovým uhlom 6°. Vstupný priemer má hodnotu 3,5 mm.



Obr. 5.6: Vtoková vložka SolidWorks

Systém vtokových kanálov, zobrazený na obrázku 5.7, rozvádza taveninu k jednotlivých dutinám, presnejšie do vložiek vtoku. Je vyrobený v pomocnom ráme pevnej strany formy. Kanále majú lichobežníkový tvar.

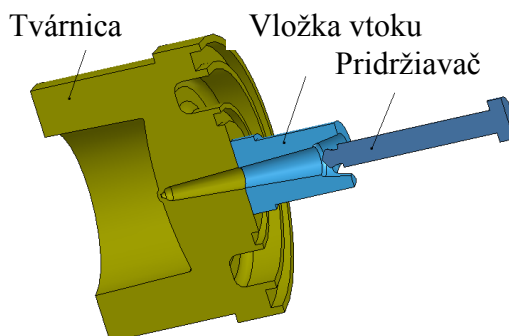


Obr.5.7: Systém rozvádzacích kanálov SolidWorks

Z rozvádzacích kanálov je tavenina dopravovaná do jednotlivých vložiek vtoku. Pri konštrukcii vtokového systému bolo potrebné zaručiť odtrhnutie vtokového zvyšku od výstrekov a jeho zotrvanie na stieracej doske pravej strany formy počas jej otvárania, čo sa dosiahlo použitím pridržovačov. Pridržovače sú vo vložkách vtoku obstreknuté taveninou plastu a vďaka svojmu tvaru odtrhnú vtokový zvyšok od výstrekov a tým zabezpečia jeho umiestnenie na stieracej doske. Vo vložkách vtoku sú vyrobené kužeľové kanále vedúce taveninu

do kanálov vyrobených v tvárniciach. Tie vedú taveninu priamo cez ústie vtoku do dutiny. Ústie vtoku je navrhnuté ako bodové, čo zaručí bezproblémové oddelenie zvyšku od stuhnutých súčastí.

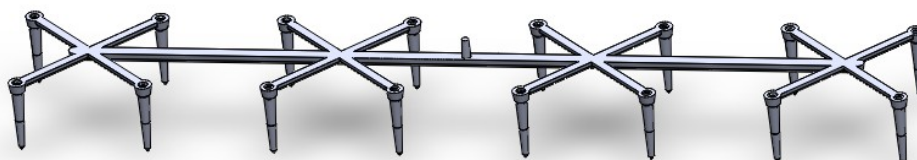
Na obrázku 5.8 je zobrazený prierez časti vtokového systému, a to prierez pridržiavača, vložky vtoku osadenej v pomocnom ráme a tvárnice umiestnenej do rámu pevnej strany formy. Tento návrh je identický pre všetky dutiny formy; dráha toku taveniny do každej dutiny je rovnaká.



Obr. 5.8: Časť vtokového systému SolidWorks

5.2.2 Vtokový zvyšok

Riešenie vstrekovacej formy na výrobu uzáveru tuby s aplikáciou studeného vtokového systému má niekoľko nevýhod. Jednou z nich, a to veľmi podstatnou je vznik odpadu v podobe vtokového zvyšku. Táto nevýhoda spôsobuje veľkú spotrebu materiálu, s čím sú spojené väčšie náklady na výrobu. Odpad je nutné recyklovať, čo opäť vyžaduje veľké finančné prostriedky. V prípade šestnásťnásobnej formy je na vtokový zvyšok (obr. 5.9) spotrebované veľké množstvo materiálu. Veľkosť výrobnéj série pre plastový uzáver tuby je 5 000 000 kusov ročne, čo predstavuje niekoľko stotisíc cyklov a rovnaký počet vtokových zvyškov.



Obr. 5.9: Vtokový zvyšok SolidWorks

Objem a hmotnosť taveniny potrebnej na vyplnenie vtokovej sústavy formy na výrobu uzáveru tuby, teda objem a hmotnosť vtokového zvyšku bola zistená pomocou programu SolidWorks. Objem vtokového zvyšku je:

$$V_{vt} = 33,32 \text{ cm}^3.$$

Hmotnosť vtokového zvyšku získaná z programu SolidWorks je:

$$m_{vt} = 30 \text{ g},$$

kde: m_{vt} [g] – hmotnosť vtokového zvyšku.

Hmotnosť vtokového zvyšku pre sériu 5 000 000 kusov je daná vzťahom 5.1:

$$m_{cvt} = c \cdot m_{vt} \text{ [g]}, \tag{5.1}$$

kde: m_{cvt} [g] – hmotnosť vtokového zvyšku pre sériu 5 000 000 kusov,

$$m_{cvt} = 312\,500 \cdot 30 = 9\,375\,000 \text{ g} = 9\,375 \text{ kg}.$$

5.3 Technologické parametre [1], [13], [14]

- Doba vstrekovania

Doba vstrekovania je stanovená z tabuliek, a to v závislosti na viskozite použitého plastu a celkovom vstrekovanom objeme počas jedného cyklu. Doba vstrekovania je:

$$t_v = 2,7 \text{ s,}$$

kde: t_v [s] – doba vstrekovania.

- Doba chladenia

Doba chladenia výstrelu v dutine formy sa vypočíta podľa vzťahu 5.2:

$$t_k = \frac{s^2}{\pi^2 \cdot a_{ff}} \cdot \ln \left(\frac{8}{\pi^2} \cdot \frac{T_M - T_W}{T_E - T_W} \right) \text{ [s]}, \quad (5.2)$$

kde: t_k [s] – doba chladenia,
 s [mm] – redukovaná hrúbka súčasti,
 a_{ff} [$\text{mm}^2 \cdot \text{s}^{-1}$] – merná tepelná vodivosť plastu,
 T_M [$^{\circ}\text{C}$] – teplota taveniny plastu,
 T_W [$^{\circ}\text{C}$] – teplota formy,
 T_E [$^{\circ}\text{C}$] – teplota odformovania,

$$t_k = \frac{1,3^2}{\pi^2 \cdot 0,067} \cdot \ln \left(\frac{8}{\pi^2} \cdot \frac{270-50}{80-50} \right) = 4,56 \text{ s.}$$

- Doba vstrekovacieho cyklu

Celková doba vstrekovacieho cyklu je súčtom časových úsekov, ktoré jednotlivé fázy trvajú a vypočíta sa podľa vzťahu 5.3:

$$t_c = t_v + t_k + 4 \text{ až } 5 \text{ [s]}, \quad (5.3)$$

kde: t_c [s] – celkový čas vstrekovacieho cyklu,
 t_v [s] – doba vstrekovania,
 t_k [s] – doba chladenia.

$$t_c = 2,7 + 4,56 + 4,5 = 11,76 \cong 12 \text{ s.}$$

- Minimálna vstrekovacia kapacita stroja

Pre výpočet minimálnej vstrekovacej kapacity stroja je použitý vzťah 4.1:

$$C_v \geq 1,1 \cdot [(n \cdot V) + V_{vt}],$$
$$C_v \geq 1,1 \cdot [(16 \cdot 4,19) + 33,32] \geq 110,4 \text{ cm}^3$$

- Minimálna plastikačná kapacita stroja

Pre výpočet minimálnej potrebnej plastikačnej kapacity stroja je použitý vzťah 4.2:

$$C_p > \frac{4 \cdot \rho \cdot (n \cdot V + V_{vt})}{t_c},$$
$$C_p > \frac{4 \cdot 0,9 \cdot (16 \cdot 4,19 + 33,32)}{12} > 30,11 \text{ kg.hod}^{-1}.$$

- Vstrekovací tlak a dotlak

Pre polypropylén je doporučený vstrekovací tlak p_v 100 MPa a dotlak p_d 50 MPa.

- Objem dávky taveniny

Objem dávky taveniny vstreknutej počas jedného vstrekovacieho cyklu je daná vzťahom 5.4:

$$V_d = \frac{n \cdot m + m_{vt}}{K_a} [\text{cm}^3], \quad (5.4)$$

kde: V_d [cm^3] – objem dávky taveniny,
 K_a [$\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$] – faktor navýšenia objemu taveniny,

$$V_d = \frac{16 \cdot 3,92 + 30}{0,77} = 120,42 \text{ cm}^3.$$

- Vstrekovacia rýchlosť

Stanovenie vstrekovacej rýchlosti je možné pomocou vzorca 5.5:

$$v_s = \frac{V_d}{t_v} [\text{cm}^3 \cdot \text{s}^{-1}], \quad (5.5)$$

kde: v_s [$\text{cm}^3 \cdot \text{s}^{-1}$] – vstrekovacia rýchlosť,

$$v_s = \frac{120,42}{2,7} = 44,6 \text{ cm}^3 \cdot \text{s}^{-1}.$$

- Priemer šneku

Optimálny priemer šneku závisí na veľkosti vstrekovanej dávky taveniny počas jedného cyklu a je daný vzťahom 5.6:

$$7,5 \cdot \sqrt[3]{V_d} < D_s < 10,5 \cdot \sqrt[3]{V_d} [\text{mm}], \quad (5.6)$$

kde: D_s [mm] – priemer šneku,

$$7,5 \cdot \sqrt[3]{120,42} < D_s < 10,5 \cdot \sqrt[3]{120,42} = 37,04 < D_s < 51,85 \text{ mm}.$$

Zvolený optimálny priemer šneku stroja pre daný prípad je 45 mm.

- Dĺžka dráhy pohybu šneku

Dĺžka dráhy pohybu šneku sa vypočíta podľa vzťahu 5.7:

$$L_s = \frac{4 \cdot 10^3 \cdot V_d}{\pi \cdot D_s^2} [\text{mm}], \quad (5.7)$$

kde: L_s [mm] – dráha pohybu šneku,

$$L_s = \frac{4 \cdot 10^3 \cdot 120,42}{\pi \cdot 45^2} = 75,72 \text{ mm}.$$

- Maximálna obvodová rýchlosť šneku

Maximálna obvodová rýchlosť šneku je stanovená z tabuľky materiálových hodnôt pre polypropylén:

$$v = 0,3 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1},$$

kde: v [$\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$] – maximálna obvodová rýchlosť šneku pre daný materiál.

- Otáčky šneku

Otáčky šneku sa vypočítajú podľa vzťahu 5.8:

$$n_s = \frac{60 \cdot 10^3 \cdot v}{\pi \cdot D_s} \text{ [min}^{-1}\text{]}, \quad (5.8)$$

kde: n_s [min^{-1}] – otáčky šneku,

$$n_s = \frac{60 \cdot 10^3 \cdot 0,3}{\pi \cdot 45} = 127,32 \text{ min}^{-1}.$$

- Plocha priemetu výstreku a vtokového zvyšku do deliacej roviny

Plochy priemetu výstreku a vtokového zvyšku do deliacej roviny boli stanovené pomocou programu SolidWorks:

$$S_v = 9,19 \text{ cm}^2,$$

$$S_{vt} = 65,25 \text{ cm}^2.$$

- Tlak v dutine formy

Tlak v dutine formy bol stanovený z tabuľky (viz príloha 1) pre dĺžku toku taveniny 20 mm a hrúbku dielca 1,3 mm:

$$p_A = 360 \text{ bar}.$$

- Pridržovacia sila

Pridržovacia sila je stanovená pomocou vzťahu 4.3:

$$F_p = (n \cdot S_v + S_{vt}) \cdot \frac{p_A + 100}{100} = (16 \cdot 9,19 + 65,25) \cdot \frac{360 + 100}{100} = 976,53 \text{ kN}.$$

- Cena materiálu použitého na vtokový zvyšok pre sériu 5 000 000 kusov

Cena materiálu spotrebovaného na vtokový zvyšok pri ročnej výrobe 5 000 000 kusov, to znamená pri 312 500 cykloch je daná vzťahom 5.9:

$$c_{vt} = m_{vt} \cdot c_m \text{ [eur]}, \quad (5.9)$$

kde: c_{vt} [eur] – celková cena odpadového materiálu,

c_m [eur] – cena material za jeden kilogram,

$$c_{vt} = 9\,375 \cdot 1,35 = 12\,656,25 \text{ eur}.$$

- Veľkosť formy

Veľkosť formy je 346 x 596 mm; jej výška je 382,83 mm.

5.4 Vstrekovací stroj [5], [6]

Výroba uzáveru tuby pri ktorej je používaná vstrekovacia forma so studeným vtokovým systémom prebieha na vstrekovacom stroji, ktorý má zákazník k dispozícii, od spoločnosti Engel, konkrétne typ Victory 750/150. Tento typ stroja bol zvolený na základe parametrov vypočítaných a uvedených v predchádzajúcej kapitole, a to minimálna požadovaná plastikačná kapacita stroja $30,11 \text{ kg.hod}^{-1}$ a minimálna požadovaná vstrekovacia kapacita $110,4 \text{ cm}^3$, zvolený optimálny priemer šneku 45 mm , pridržovacia sila $976,53 \text{ kN}$, veľkosť nástroja a iné, parametre, ktorým uvedený stroj vyhovuje. Pre daný typ formy je používaná spomínaná špeciálna tryska stroja. Na obrázku 5.10 je zobrazený stroj Victory od spoločnosti Engel.



Obr. 5.10: Vstrekovací stroj Engel [5]

Niektoré z najdôležitejších parametrov používaného vstrekovacieho stroja Engel - Victory 750/150 na výrobu uzáveru tuby sú uvedené v tabuľke 5.2. Stroj má horizontálne usporiadanie so šnekovou plastikačnou jednotkou.

Tab. 5.2: Parametre stroja Engel – Victory 750/150 [6]

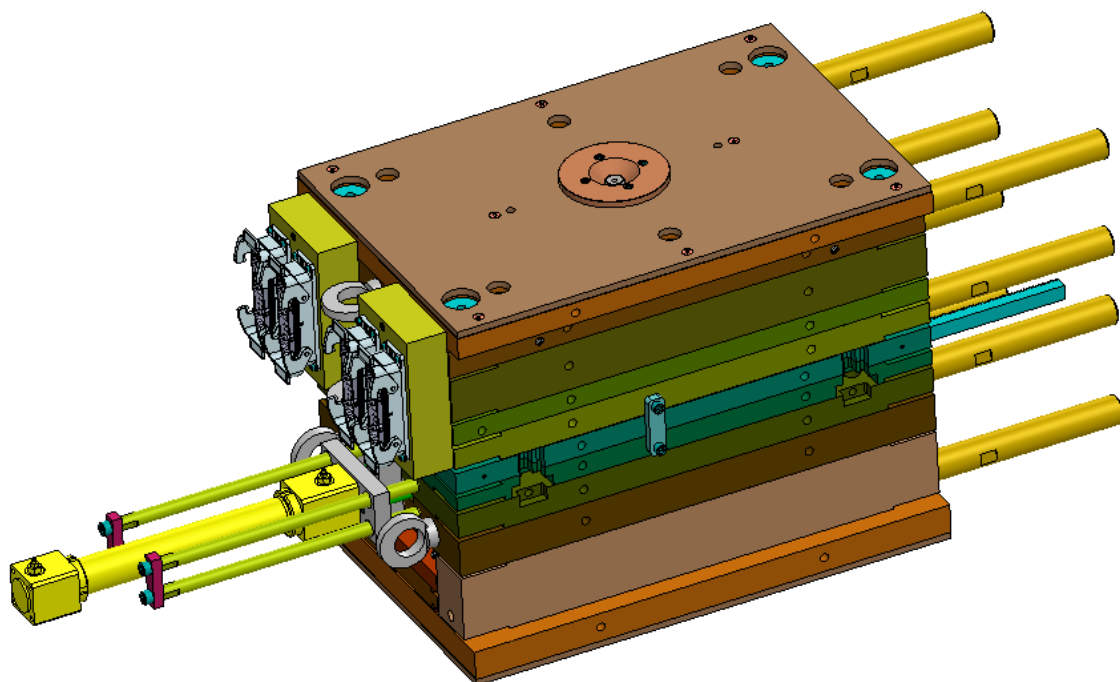
Technické parametre	Jednotky	Hodnoty
Uzatváracia sila	kN	1500
Priemer šneku	mm	45
Maximálny vstrekovací objem	cm^3	318
Plastikačný výkon	g.s^{-1}	34
Priemer strediaceho krúžku	mm	125
Max. vstrekovacia rýchlosť	$\text{cm}^3 \cdot \text{s}^{-1}$	230
Max. vstrekovací tlak	MPa	236

6 FORMA S HORÚCIM VTKOVÝM SYSTÉMOM NA VÝROBU PLASTOVÉHO UZÁVERU TUBY

Obsahom tejto kapitoly sú podrobnejšie informácie o spôsobe a riešení optimalizácie konštrukcie zadanej formy pre plastový uzáver tuby zmenou typu vtokového systému. Pôvodný studený vtokový systém je nahradený systémom horúcim. Táto zmena vyžaduje nielen úpravu dielcov formy, v ktorých je vtokový systém zabudovaný a vyrobený, ale aj zmenu jej typu. Pôvodná trojdosková forma má dve deliace roviny, z ktorých je jedna deliacou rovinou vtokového zvyšku. V prípade optimalizácie použitím horúceho vtokového systému sa nevytvára vtokový zvyšok, čo znamená, že konštruktér pri návrhu formy nerieši problémy spojené s jeho vznikom; druhá deliaca rovina je v tomto prípade nežiaduca. Trojdoskový typ nástroja je zmenený na dvojdoskový, ktorý využíva jednu deliacu rovinu. Cieľom zmeny konštrukcie formy je optimalizácia výroby, najmä zníženie prevádzkových nákladov a eliminovanie vzniku odpadového materiálu.

Optimalizácia konštrukcie formy spočíva v už spomínanej zmene vtokového systému. Cieľom konštrukcie bolo zabudovanie komplexu skladajúceho sa z centrálnej trysky, vyhrievanej rozvádzacej dosky a jednotlivých trysiek spolu s kabelážou a konektormi, ktorý bol dodaný nemeckou spoločnosťou špecializujúcou sa na horúce vtokové systémy, Synventive. Dôležitými parametrami potrebnými pri návrhu vhodného vyhrievaného systému, teda pri zadávaní požiadavky špecializovanej firme, sú násobnosť formy, rozmiestnenie dutín, materiál výstretku a jeho hmotnosť, umiestnenie vtoku a dĺžka trysky.

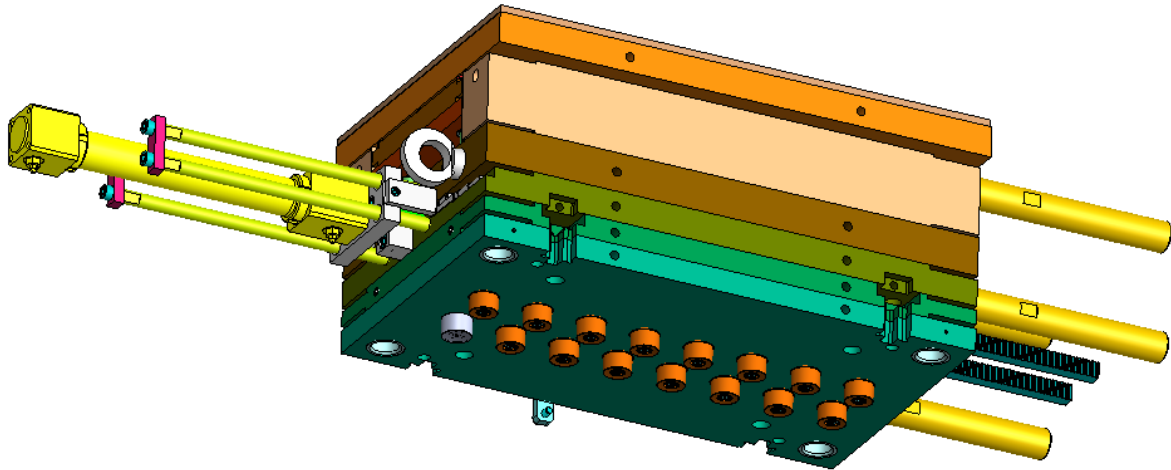
Na obrázku 6.1 je zostava formy s horúcim vtokovým systémom zložená z pohyblivej strany, ktorá ostáva bez zmien a pevnej strany, ktorá je kompletne prerobená okrem tvárnic, v ktorých je upravené iba vybratie na trysku. Z pohyblivej strany formy je odstránený mechanizmus otvárania nástroja a mechanizmus vyhodenia vtokového zvyšku.



Obr.6.1: Zostava formy na výrobu uzáveru tuby s horúcim vtokovým systémom SolidWorks

6.1 Pohyblivá strana formy

Zmena vtokového systému existujúcej formy pre výrobu uzáveru tuby nemá žiadny vplyv na konštrukciu pohyblivej strany nástroja (obr. 6.2); ostáva zachovaná, čo je výhodne najmä čo sa týka nákladov spojených s realizáciou optimalizácie výroby. Pri prechode na používanie formy s horúcim vtokovým systémom bude vyrábaná iba pevná strana, pohyblivá bude využitá z už existujúceho nástroja. Ako celok s novo vyrobenou pevnou stranou budú tvoriť typ dvojdoskovej formy, to znamená, že elementy potrebné na otváranie nástroja, teda tiahla a ich držiaky budú z pohyblivej strany odstránené.



Obr. 6.2: Pohyblivá strana formy s horúcim vtokovým systémom SolidWorks

6.2 Pevná strana formy

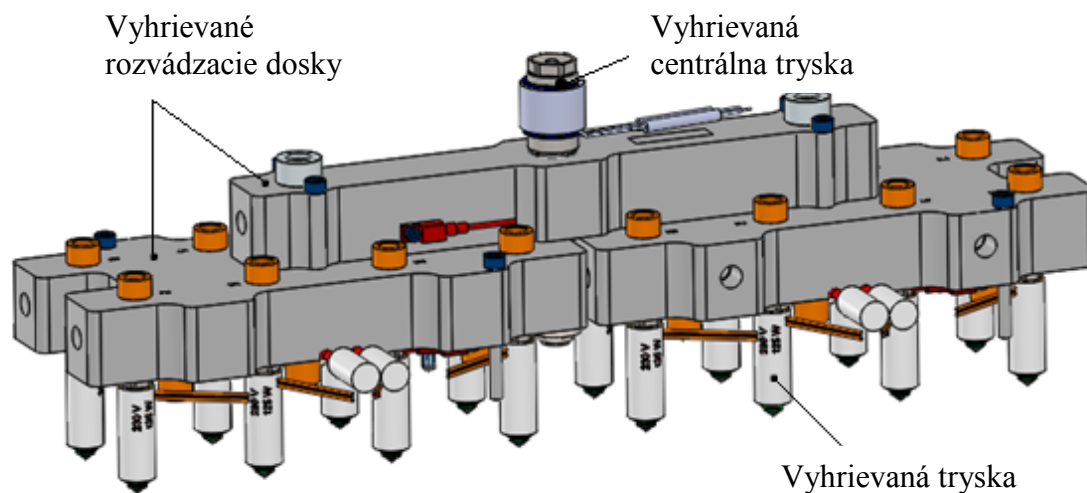
Optimalizácia konštrukcie vstrekovacej formy spočíva v kompletne novej konštrukcii pevnej strany formy, ktorú si použitie horúceho vtokového systému vyžaduje. Ako bolo už viac krát spomínané, ide o zmenu trojdoskového typu formy na dvojdoskový. V novom návrhu je z pôvodnej konštrukcie odstránená druhá deliaca rovina vtokového zvyšku spolu so stieracou doskou a mechanizmus otvárania formy. Studený vtokový systém, teda vtoková vložka, rozvádzacie kanále a vložky vtoku, je nahradený systémom vyhrievaným. Ten je tvorený zložitým komplexom rôznych súčastí od spoločnosti Synventive; jeho riešenie je podrobnejšie uvedené v nasledujúcej podkapitole.

Nový návrh pevnej strany má s pôvodným spoločných niekoľko prvkov. Jedným z nich je použitie izolačnej dosky na zabránenie prestupu tepla do stroja. Použitá je taktiež upínacia doska spolu so strediacim krúžkom, avšak s určitými úpravami; ide o úpravy týkajúce sa použitia vyhrievanej centrálnej trysky, teda vybratia potrebné na jej osadenie do dosky a temperačný okruh zabezpečujúci danú teplotu formy. Pevnú stranu tvorí niekoľko dosiek, rámov, v ktorých je zabudovaný horúci vtokový systém. Ide o rámy vyhrievanej rozvádzacej dosky, rám jednotlivých trysiek vedúcich taveninu priamo do dutiny formy a rám, v ktorom sú osadené tvárnice.

6.2.1 Horúci vtokový systém Synventive

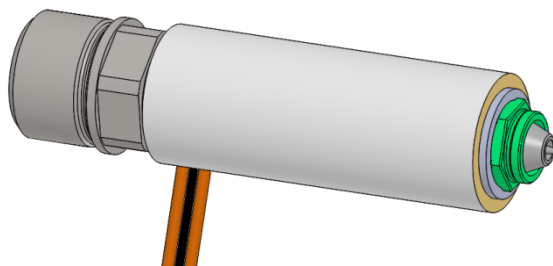
Dodávateľom horúceho systému pre formu na výrobu uzáveru krytu je spoločnosť Synventive. Na základe požiadavky, ktorá obsahovala informácie potrebné pri návrhu a voľbe rozvádzačieho bloku a jednotlivých trysiek, a to typ použitého materiálu, rozmiestnenie dutín, hmotnosť výstreku a iné, spoločnosť dodala kompletne riešený horúci vtokový systém vrátane 3D modelov, ktoré boli zabudované do formy pri návrhu jej konštrukcie. Nemecká firma Synventive je na celosvetovom trhu jedným z najvýznamnejších a najspoľahlivejších dodávateľov horúcich vtokových systémov s dlhoročným pôsobením.

Na obrázku 6.3 je zobrazené riešenie horúceho vtokového systému pre danú formu. Ide o systém zložený z viacerých elementov. Jedným z nich je vyhrievaná centrálna tryska napojená na trysku stroja. Jej úlohou je dopraviť taveninu z plastikačnej komory stroja do rozvádzačích kanálov vyrobených vo vyhrievaných rozvádzačích doskách. Z vtokových kanálov je tavenina dopravovaná do jednotlivých vyhrievaných trysiek.



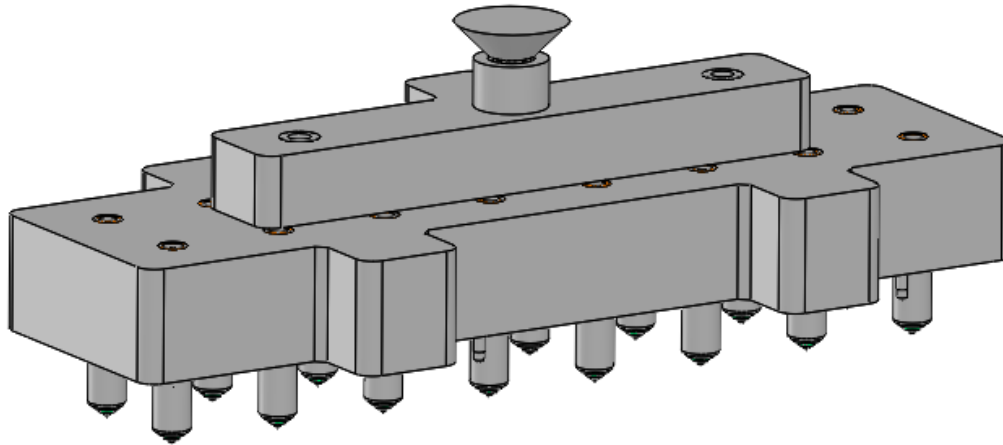
Obr. 6.3: Riešenie horúceho vtokového systému pre formu na výrobu uzáveru krytu SolidWorks

Vtokový systém disponuje šestnástimi vyhrievanými tryskami vedúcimi taveninu priamo do dutín formy, takpovediac priamo na výstrek. Vtok je umiestnený v jamke na čele uzáveru tuby. Pre daný typ vyrábaného dielca boli zvolené trysky so špičkou, ktorá je predĺžená, takzvané torpédo trysky (obr. 6.4) s priemerom vtokového kanálu 6 mm. Stopa po vtoku použitím danej trysky nie je výrazná, nemá žiadny vplyv na estetickú funkciu výstreku.



Obr.6.4: Vyhrievaná tryska SolidWorks

Celá zostava vyhrievaného vtokového systému je zabudovaná do formy, konkrétne do jednotlivých dosiek. Model zostavy bol dodaný spolu s prídavkom na vybratie vo forme; celá konštrukcia vtokového systému je v 3D podobe zväčšená o rozmery určujúce tvar vybratia, ktorý je potrebné v doskách a iných častiach formy vyrobiť. Na obrázku 6.5 je 3D model horúceho vtokového systému spolu s prídavkom na vybratie vo forme.



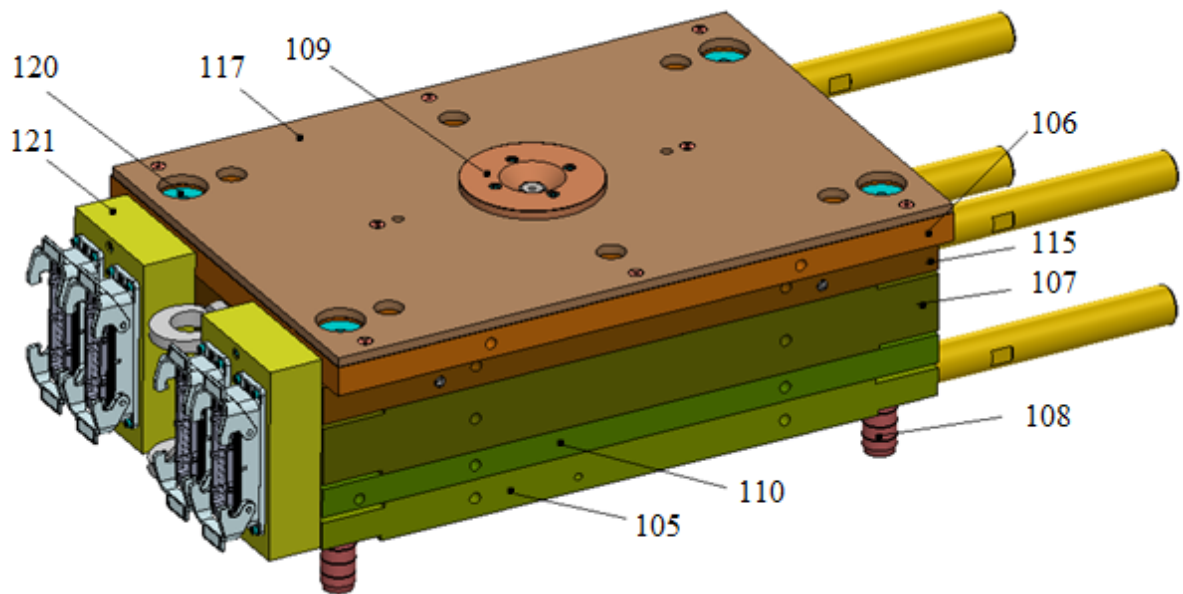
Obr. 6.5: Horúci vtokový systém s prídavkom na vybratie vo forme SolidWorks

6.2.2 Zostava pevnej strany formy

Na obrázku 6.6 je zobrazený 3D model riešenia pevnej strany formy s horúcim vtokovým systémom, ktorému je prispôsobená konštrukcia jednotlivých dielcov, z ktorých sa nástroj skladá. Forma je upnutá na dosku vstrekovacieho stroja pomocou úpiniek cez presahy upínacej dosky PN (poz. 106), na ktorú je pripevnená izolačná doska PN (poz. 117), obdobne ako pri pôvodnej konštrukcii. Vystredenie formy voči stroju je zaistené pomocou strediaceho krúžku (poz. 109) osadeného v upínacej doske. Stredenie pevnej a pohyblivej strany navzájom je dosiahnuté použitím strediacich stĺpikov (poz. 108) spolu so strediacimi puzdrami, ktoré sú súčasťou pohyblivej strany formy. Stredenie niektorých dosiek je zaistené použitím strediacich rúrok (poz. 120).

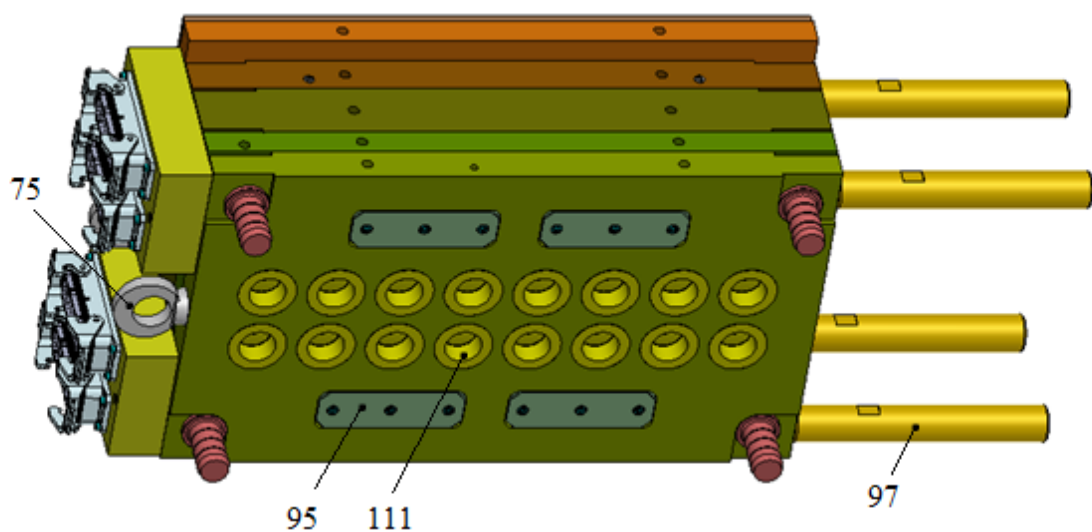
Pevná strana formy je zložená z niekoľkých dosiek; okrem izolačnej a upínacej dosky sú použité dva rámy, rám bloku 1 (poz. 107) a rám bloku 2 (poz. 115), v ktorých sú umiestnené rozvádzacie dosky vtokového systému. V ráme bloku 2 je riešený temperačný okruh udržiavajúci teplotu formy, a to z dôvodu prítomnosti vyhrievanej rozvádzacej dosky. V ráme PN 2 (poz. 110) sú vyrobené vybratia na trysky, ktoré sa v ňom nachádzajú, čo znamená, že aj táto doska má svoj temperačný okruh. Súčasťou pevnej strany formy je aj rám PN 1 (poz. 105).

Neoddeliteľnou časťou horúceho vtokového systému sú aj konektory dodané firmou Synventive, ktoré je nutné pripevniť na pevnú stranu formy. Z tohto dôvodu sú navrhnuté dve podložky konektorov (poz. 121) upevnené pomocou skrutiek na dosky formy.



Obr. 6.6: Pevná strana formy s horúcim vtokovým systémom SolidWorks

Rám PN 1 je v styku s pohyblivou stranou; pri uzatvorení formy stieracia doska pohyblivej strany dosadá na rám PN 1. Z tohto dôvodu sú použité oporné lišty (poz. 95), ktorými na seba dosadajú pevná strana formy (obr. 6.7) s pohyblivou. V ráme PN 1 je osadených šestnásť tvárnic (poz. 111) poistených proti pootočeniu kolíkom, do ktorých sú vložené jednotlivé vyhrievané trysky vtokového systému. Aj to je dôvodom riešenia temperačného okruhu rámu PN 1. Manipulácia s formou je uskutočňovaná pomocou závesných skrutiek (poz. 75) pripevnených na doskách pevnej strany nástroja. Pri konštrukcii boli použité aj podpory, takzvané nohy (poz. 97), na ktoré je možné formu položiť z dôvodu zabránenia poškodenia vyčnievajúcich ozubených hrebeňov.



Obr. 6.7: Pevná strana formy s horúcim vtokovým systémom SolidWorks

Niektoré z použitých dielov pevnej strany formy sú zakúpené od firmy HASCO v podobe normalizovaných súčastí, čo zníži náklady na výrobu nástroja. V tabuľke 6.1 sú uvedené niektoré z dielov pevnej strany formy s horúcim vtokovým systémom.

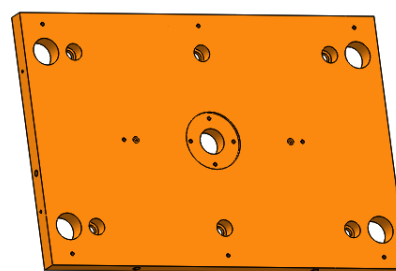
Tab. 6.1: Niektoré z dielov pevnej strany formy

Poz.	Názov	Rozmer	Materiál	Kus
95	Oporná lišta	10,1x45x140	1.2767	4
97	Noha	Ø35-255	1.1730	4
104	Horúci vtokový systém		SYNVENTIVE	1
105	Rám PN 1	K252/346x596x36/1.2312	HASCO	1
106	Upínacia doska PN	P/396x596x27/1.2312	HASCO	1
107	Rám bloku 1	K252/346x596x66/1.1730	HASCO	1
108	Strediaci stĺpik	Z00/36/32(30)x55	HASCO	3+1
109	Strediaci krúžok PN	Ø125-20,5	1.1730	1
110	Rám PN 2	P/346x596x27/1.1730	HASCO	1
111	Tvárnica	Ø59-37	1.2343	16
115	Rám bloku 2	K30/346x596x46/1.1730	HASCO	1
117	Izolačná doska PN	Z121/396 596/8,5/90	HASCO	1
120	Strediacia rúrka	Z20/42x140	HASCO	4
121	Podložka konektorov	50x120x180	Al	2

6.2.3 Jednotlivé dielce

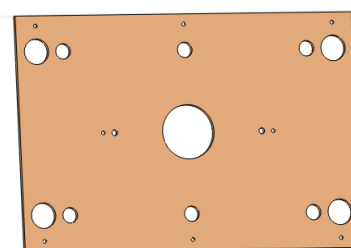
Táto podkapitola je venovaná podrobnejšiemu opisu konštrukcie niektorých dielov, z ktorých je pevná strana formy zložená. Ide o dosky, v ktorých boli nutné rozsiahlejšie konštrukčné úpravy, tvárnice a iné vyrábané dielce.

- **Upínacia doska PN** (obr. 6.8) má o niečo väčšie rozmery ako rámy pevnej strany; cez jej presahujúce rozmery je forma upevnená na dosky stroja. V upínacej doske sú vyrobené štyri diery na strediacie rúrky, diery na skrutky sťahujúce formu a niekoľko závitových dier na priskrutkovanie izolačnej dosky. Strediaci krúžok je priskrutkovaný priamo strede dosky.



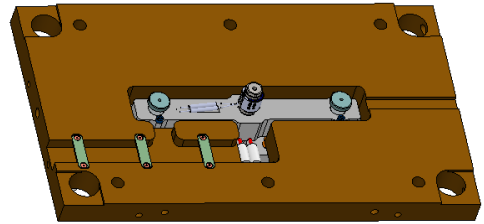
Obr. 6.8: Upínacia doska PN
SolidWorks

- **Izolačná doska PN** (obr. 6.9) je v priamom styku s upínacou doskou stroja a priskrutkovaná na upínaciu dosku PN ôsmimi skrutkami. Jej úlohou je zamedzenie prestupu tepla z formy do vstrekovacieho stroja. V strede izolačnej dosky je diera na strediaci krúžok PN. Ostané diery slúžia na lepší prístup k napríklad strediacim rúrkam pri manipulácii s nimi.



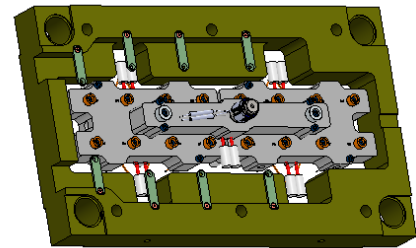
Obr. 6.9: Izolačná doska PN
SolidWorks

- **Rám bloku 2** (obr. 6.10) je dielec, v ktorom je nutná výroba vybratia na vyhrievanú rozvážiaciu dosku a kabeláž. Z dôvodu lepšej organizovanosti umiestnenia káblov vedúcich z horúceho systému sú na rám bloku 2 priskrutkované tri držiaky káblov. V dieleci sú presné diery na strediacu rúrku a diery na skrutky sťahujúce dosky pevnej strany.



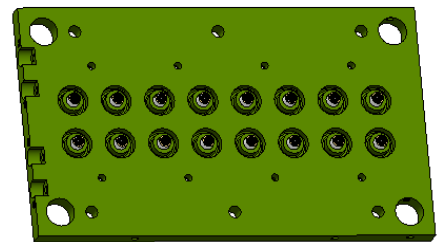
Obr. 6.10: Rám bloku 2 SolidWorks

- **Rám bloku 1** (obr. 6.11) má rovnako ako aj rám bloku 2 vyfrézované rôzne vybratia na vyhrievanú rozvážiaciu dosku a kabeláž z nej vedúcu. Je naň taktiež priskrutkovaných osem držiakov káblov. V rohoch sú štyri diery na strediacu rúrku a rám bloku 1 má spolu s rámom bloku 2 spoločné aj diery na skrutky sťahujúce dosky.



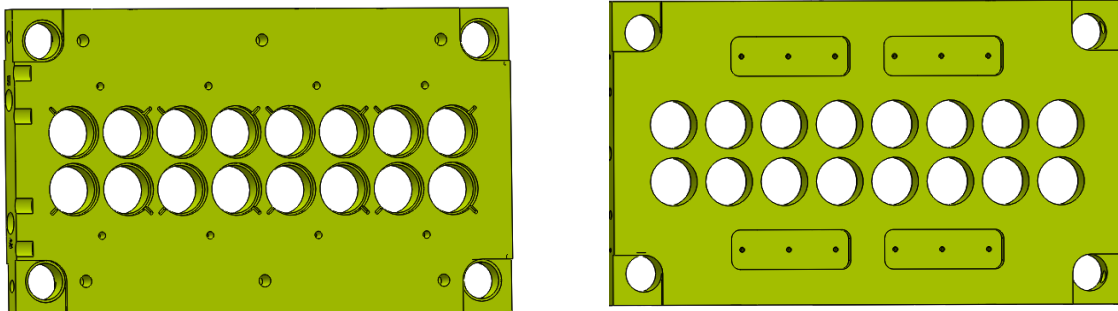
Obr. 6.11: Rám bloku 1 SolidWorks

- **Rám PN 2** (obr. 6.12) je spolu s ostatnými doskami pevnej strany formy stiahnutý šiestimi skrutkami; spolu s rámom PN 1 sú navzájom priskrutkované. V ráme PN 2 sú štyri diery, v ktorých sú umiestnené ako strediacu rúrku, tak aj strediacu stĺpiku. Dôležité sú taktiež vybratia na vyhrievané trysky, ktorých je šesťnásť. Na obrázku je možné vidieť aj časť temperačného okruhu, ten však bude podrobnejšie opísaný v nasledujúcej podkapitole.



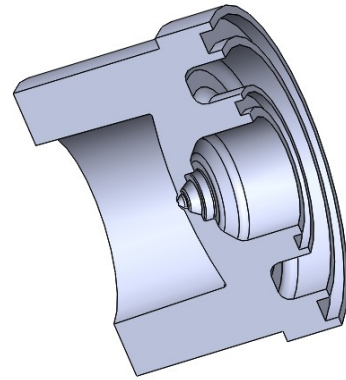
Obr. 6.12: Rám PN 2 SolidWorks

- **Rám PN 1** (obr. 6.13) je priskrutkovaný na rám PN 2. Sú v ňom osadené štyri strediacu stĺpiky slúžiace na vystredenie pevnej a pohyblivej strany formy navzájom. V ráme PN 1 je vyrobených šesťnásť presných vybratí spolu so šesťnástimi drážkami, v ktorých sú vložené tvárnice a v drážkach kolíky použité z dôvodu poistenia polohy tvárnic. Na strane, ktorá je v styku s pohyblivou stranou formy sú vyrobené štyri vybratia na oporné lišty, ktoré sú k rámu PN 1 priskrutkované.



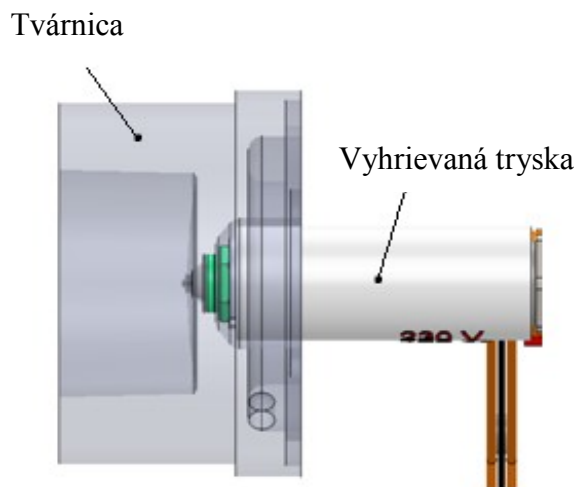
Obr. 6.13: Rám PN 1 SolidWorks

- **Tvárnica** (obr. 6.14) spolu s tvárnikom tvoria dutinu formy. V tvárnici je vyrobené vybratie, ktoré kopíruje tvar uzáveru tuby a do ktorého je vstrekovaná tavenina plastu. Je osadená v ráme PN 1 a poistená proti pootočeniu kolíkom vloženým do presnej diery v nej vyrobenej. Všetky tvárnice majú navrhnutý temperačný okruh, ktorý je zobrazený v nasledujúcej kapitole. Materiál z ktorého je vyrobená je 1.2343, čiže nástrojová oceľ s dobrými mechanickými vlastnosťami, najmä čo sa týka pevnostných vlastností za tepla. Tvárnica je kalená a to z dôvodu zvýšenia jej tvrdosti a odolnosti voči opotrebovaniu, čo má vplyv na jej životnosť.



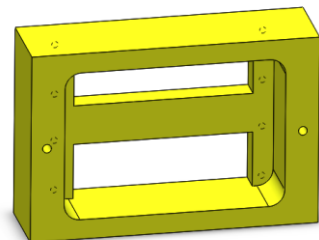
Obr. 6.14: Prierez tvárnicom
SolidWorks

Forma na výrobu uzáveru tuby je šestnásťnásobná so šestnástimi tvárniciami. Z dôvodu čo najnižších nákladov na výrobu optimalizovanej pevnej strany nástroja je navrhnuté použitie pôvodných tvární s dorobením vybratia na vyhrievanú trysku. Na obrázku 6.15 je zobrazená tvárnica spolu s tryskou, ktorá je do nej zapustená a ktorá dopravuje taveninu plastu priamo do dutiny; priemer vtokového ústia v tvárnici je navrhnutý 0,8 mm a po odskúšaní formy je ho možné dodatočne upraviť.



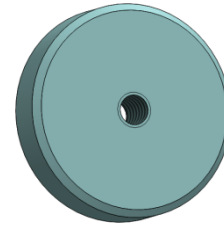
Obr. 6.15: Tvárnica SolidWorks

- **Podložka konektorov** (obr. 6.16) je pripevnená na upínaciu dosku PN a rám PN 1. Vo forme sa nachádzajú dva kusy podložiek konektorov a na ne sú priskrutkované štyri dvadsaťštyripinové konektory od spoločnosti Harting dodané spolu s horúcim vtokovým systémom. Podložky konektorov taktiež slúžia na ukrytie káblov.



Obr. 6.16: Podložka konektorov
SolidWorks

- **Podložka bloku** (obr. 6.17) je umiestnená vo vybratí vyrobenom v upínacej doske. Slúži ako podpora vyhrievanej rozvádzacej dosky, teda celého horúceho vtokového systému. Pri konštrukcii vstrekovacej formy s vyhrievaným vtokovým systémom boli použité dve podložky bloku. Ich hrúbka je o niečo väčšia, ako priestor v ktorom sú uložené, čo poskytuje možnosť doladenia umiestnenia rozvádzacej dosky vtokového systému. Podložky bloku sú kalené, a to z dôvodu zvýšenia ich tvrdosti



Obr. 6.17: Podložka bloku
SolidWorks

6.2.4 Temperácia

Z dôvodu použitia horúceho vtokového systému je veľmi dôležité dôkladne vyriešiť temperáciu pevnej strany formy. Teplota centrálnej trysky, rozvádzacej dosky a jednotlivých trysiek je udržiavaná na takej hodnote, aby plast, ktorý sa v nich nachádza ostal v roztavenom stave; teplota taveniny plastu v horúcom vtokovom systéme je podobná teplote taveniny v plastikačnej komore stroja, keďže ide o jej takzvané predĺženie. Časti vyhrievaného vtokového systému ohrievajú nielen taveninu nachádzajúcu sa priamo v nich, ale aj okolie, to znamená formu samotnú, čo ovplyvňuje chladnutie výstrelu v dutine nástroja. Úlohou temperačného systému je nielen udržanie konštantnej teploty formy, ale aj zabezpečenie optimálneho tuhnutia taveniny v dutinách v čo najkratšom časovom úseku, čím je taktiež optimalizovaný čas vstrekovacieho cyklu.

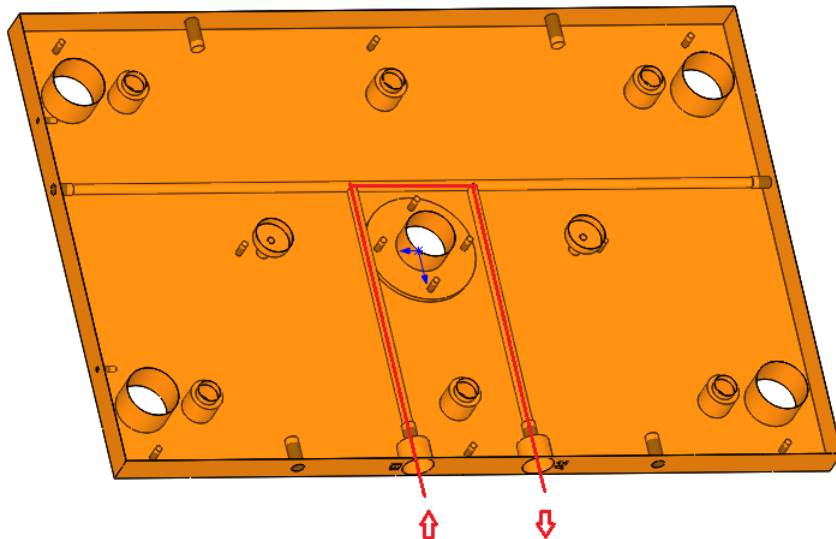
Temperácia formy na výrobu uzáveru krytu je navrhnutá nielen čo sa týka tvárnice, ale aj dielcov nástroja, v ktorých sú uložené jednotlivé časti horúceho vtokového systému. Ide o dosky formy, a to o upínaciu dosku, ktorá je ohrievaná centrálnou tryskou, rám bloku 2 ohrievaný rozvádzacou doskou, rám PN 2, v ktorom sú uložené jednotlivé trysky a osadené tvárnice a rám PN 1 spolu s tvárniciami, do ktorých je vstrekovaná tavenina plastu. Teplota formy pre daný prípad konštrukcie a druh použitého materiálu je udržiavaná na hodnote 50 °C, čo umožňuje použitie vody ako temperačného média.

Temperačné okruhy pevnej strany formy s horúcim vtokovým systémom tvoria chladiace kanáliky a vybratia, normalizované nátrubky od firmy HASCO, konkrétne Z 81/13/R1/4, taktiež normalizované záslepky od firmy HASCO, Z 94/10x1, a vyrábané priečky prerušujúce vybratia v tvárniciach, ktorými prúdi chladiace médium. Kanále majú kruhový prierez, čo umožňuje bezproblémové tečenie použitého chladiaceho média, teda vody. Ich priemer má hodnotu 8 mm.

Podrobné riešenie temperácie pevnej strany formy s použitím horúceho vtokového systému, teda chladienia tvárnice a jednotlivých dosiek formy, v ktorých je temperácia navrhnutá je následne uvedené spolu s grafickým znázornením toku chladiacej kvapaliny temperačnými kanálikmi.

Upínacia doska PN

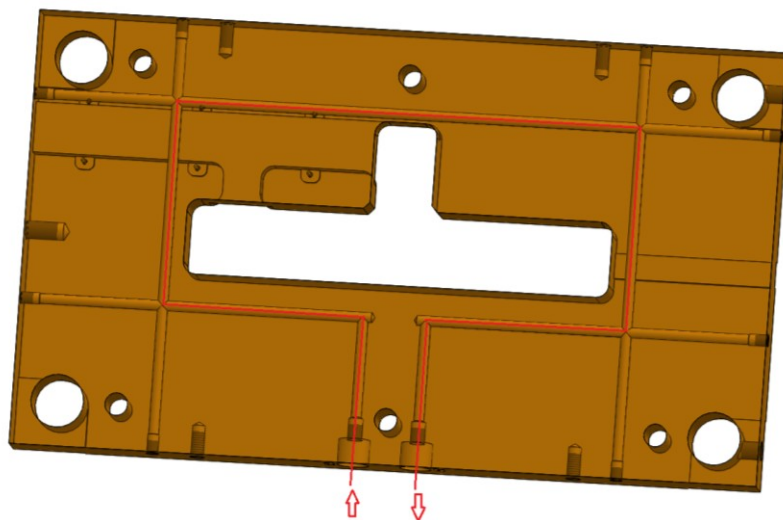
Okolie centrálnej trysky je chladené pomocou jedného temperačného okruhu vyrobeného v upínacej doske PN. Na obrázku 6.18 je zobrazené riešenie temperácie v upínacej doske PN; temperácia má prívod a vývod vody zaistený pomocou nátrubkov vyvedených smerom k zadnému krytu stroja. Temperačné kanále majú priemer 8 mm. V tomto prípade sú použité dve záslepky uzatvárajúce kanál.



Obr. 6.18: Temperácia upínacej dosky SolidWorks

Rám bloku 2

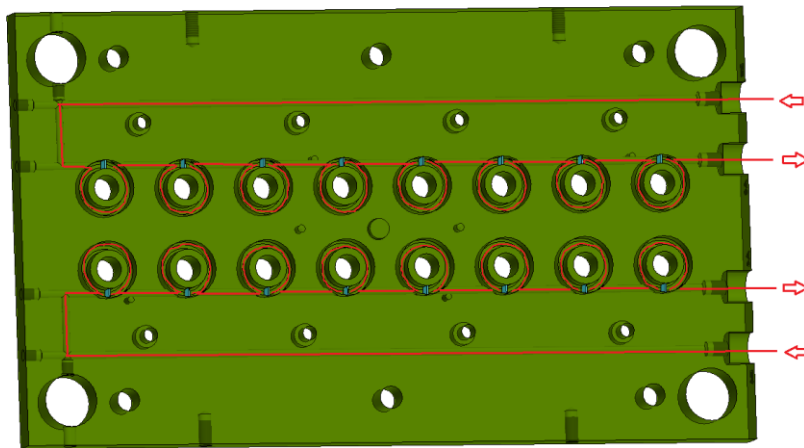
Dve rozvážacie dosky horúceho systému sú umiestnené v ráme bloku 1 a ráme bloku 2. Ich temperácia je riešená v ráme bloku 2 (obr. 6.19), v ktorom je navrhnutý jeden temperačný okruh s použitím nátrubkov pre prívod a vývod temperačného média. V ráme bloku 2 sú vyrobené kanáliky priemeru 8 mm a použitých niekoľko kusov záslepiek.



Obr. 6.19: Temperácia rámu bloku 2 SolidWorks

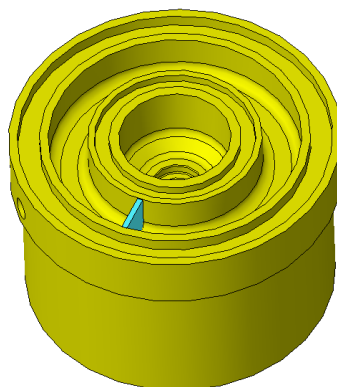
Rám PN 2 spolu s tvárniciami

V ráme PN 2 je vyriešená temperácia okolia vyhrievaných trysiek, ktoré sú v ňom umiestené spolu s osadenými tvárniciami. Dva temperačné okruhy sú systémom viacerých kanálov prepojených s temperáciou tvárníc. Ich priemer je taktiež 8 mm. Počet použitých nátrubkov pre temperačný okruh rámu PN 2 je štyri, dva nátrubky na prívod a dva na vývod chladiacej tekutiny. Na obrázku 6.20 je zobrazený temperačný okruh rámu PN 2 s vyznačením prúdenia chladiaceho média. Jednotlivé temperačné vybratia okolo vyhrievaných trysiek sú prerušené priečkami z dôvodu usmernenia toku temperačného média.



Obr. 6.20: Temperácia rámu PN 2 SolidWorks

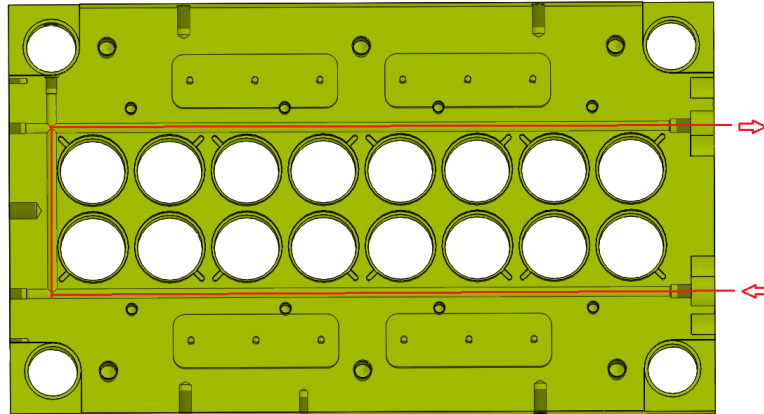
Podobne ako v ráme PN 2 sú na každej tvárnici temperačné vybratia prerušené priečkami, ktorých poloha zodpovedá polohe priečok v ráme. Jednotlivé súvisiace temperačné vybratia v tvárniciach a ráme PN 2 tvoria spoločné okruhy. Zabezpečenie dokonalého tesnenia je zaisťované použitím tesniacich krúžkov uložených v drážkach každej tvárnice. Na obrázku 6.21 je zobrazený temperačný okruh tvárnice prerušený priečkou.



Obr. 6.21: Temperácia tvárnice SolidWorks

Rám PN 1

V ráme PN 1 sú osadené tvárnice, ktoré majú svoj temperačný okruh. Aj napriek tomu je riešená aj v ráme PN 1 (obr. 6.22) sústavou troch temperačných kanálov priemeru 8 mm, ktoré sú zaslepené tromi záslepkami. Prívod a vývod temperačného média je podobne, ako u predchádzajúcich dosiek zabezpečený dvoma nátrubkami.



Obr. 6.22: Temperácia rámu PN 1 SolidWorks

6.3 Technologické parametre [1], [13], [14]

V tejto kapitole sú uvedené a vypočítané niektoré z technologických parametrov dôležitých najmä pre výber vstrekovacieho stroja a pre stanovenie technologického postupu. Ide o parametre ako: doba vstrekovacieho cyklu, vstrekovací tlak a dotlak, vstrekovacia rýchlosť, minimálna plastikačná a minimálna vstrekovacia kapacita stroja, priemer, otáčky a dráha šneku a pridržovacia sila.

- Doba vstrekovania

Doba vstrekovania pre formu s horúcim vtokovým systémom je taktiež stanovená z tabuliek, a to v závislosti na viskozite použitého plastu a celkovom vstrekovanom objeme počas jedného cyklu. Doba vstrekovania je:

$$t_v = 1,8 \text{ s.}$$

- Doba chladenia

Doba chladenia výstreku v dutine formy sa vypočíta podľa vzťahu 5.2:

$$t_k = \frac{s^2}{\pi^2 \cdot a_{ff}} \cdot \ln \left(\frac{8}{\pi^2} \cdot \frac{T_M - T_W}{T_E - T_W} \right) = \frac{1,3^2}{\pi^2 \cdot 0,067} \cdot \ln \left(\frac{8}{\pi^2} \cdot \frac{270-50}{80-50} \right) = 4,56 \text{ s.}$$

- Doba vstrekovacieho cyklu

Celková doba jedného vstrekovacieho cyklu pre výrobu uzáveru tuby je stanovená na základe vzťahu 5.3:

$$t_c = t_v + t_k + 4 \text{ až } 5 = 1,8 + 4,56 + 4,5 = 10,86 \cong 11 \text{ s}$$

- Minimálna vstrekovacia kapacita stroja

Pre výpočet minimálnej vstrekovacej kapacity stroja je použitý vzťah 4.1, pričom objem vtokového zvyšku pri použití horúceho vtokového systému je nulový. Minimálna vstrekovacia kapacita stroja je:

$$C_v \geq 1,1 \cdot n \cdot V,$$
$$C_v \geq 1,1 \cdot 16 \cdot 4,19 \geq 73,74 \text{ cm}^3$$

- Minimálna plastikačná kapacita stroja

Pre výpočet minimálnej potrebnej plastikačnej kapacity stroja je použitý vzťah 4.2. Objem vtokového zvyšku má nulovú hodnotu. Minimálna požadovaná plastikačná kapacita stroja sa vypočíta:

$$C_p > \frac{4 \cdot n \cdot \rho \cdot V}{t_c},$$
$$C_p > \frac{4 \cdot 16 \cdot 0,9 \cdot 4,19}{11} > 21,94 \text{ kg.hod}^{-1} \cong 22 \text{ kg.hod}^{-1}.$$

- Vstrekovací tlak a dotlak

Rovnako, ako aj pri forme so studeným vtokovým systémom platí, že pre polypropylén je doporučený vstrekovací tlak p_v 100 MPa a doporučený dotlak p_d 50 MPa.

- Objem dávky taveniny

Dávka taveniny vstreknutej počas jedného vstrekovacieho cyklu je daná vzťahom 5.4, avšak hmotnosť vtokového zvyšku je nulová. Veľkosť dávky taveniny sa v tomto prípade vypočíta:

$$V_d = \frac{n \cdot m}{K_a} = \frac{16 \cdot 3,92}{0,77} = 81,46 \text{ cm}^3.$$

- Vstrekovacia rýchlosť

Vstrekovacia rýchlosť je daná pomerom veľkosti vstrekovanej dávky taveniny a doby chladnutia, podľa vzťahu 5.5. Veľkosť vstrekovacej rýchlosti pre vstrekovanie do formy s horúcim vtokovým systémom je:

$$v_s = \frac{V_d}{t_v} = \frac{81,46}{1,8} = 45,26 \text{ cm}^3 \cdot \text{s}^{-1}.$$

- Priemer šneku

Optimálny priemer šneku je stanový z intervalu z daného vzťahu 5.6:

$$7,5 \cdot \sqrt[3]{V_d} < D_s < 10,5 \cdot \sqrt[3]{V_d} \text{ [mm]},$$
$$7,5 \cdot \sqrt[3]{81,46} < D_s < 10,5 \cdot \sqrt[3]{81,46} = 32,51 < D_s < 45,52 \text{ mm.}$$

Zvolený optimálny priemer šneku stroja pre formu s horúcim vtokovým systémom je 40 mm.

- Dĺžka dráhy pohybu šneku

Dĺžka dráhy pohybu šneku sa vypočíta podľa vzťahu 5.7:

$$L_s = \frac{4 \cdot 10^3 \cdot V_d}{\pi \cdot D_s^2} = \frac{4 \cdot 10^3 \cdot 81,46}{\pi \cdot 40^2} = 64,82 \text{ mm.}$$

- Otáčky šneku

Otáčky šneku sa vypočítajú podľa vzťahu 5.8:

$$n_s = \frac{60 \cdot 10^3 \cdot v}{\pi \cdot D_s} = \frac{60 \cdot 10^3 \cdot 0,3}{\pi \cdot 40} = 143,24 \text{ min}^{-1}.$$

- Plocha priemetu výstreku do deliacej roviny

Plocha priemetu jedného výstreku do deliacej roviny bola stanovená pomocou programu SolidWorks:

$$S_v = 9,19 \text{ cm}^2.$$

- Tlak v dutine formy

Tlak v dutine formy bol stanovený z tabuľky (viz príloha 1) pre dĺžku toku taveniny 20 mm a hrúbku dielca 1,3 mm:

$$p_A = 360 \text{ bar.}$$

- Pridržovacia sila

Pridržovacia sila je stanovená pomocou vzťahu 4.3:

$$F_p = (16 \cdot S_v) \cdot \frac{p_A + 100}{100} = (16 \cdot 9,19) \cdot \frac{360 + 100}{100} = 676,38 \text{ kN.}$$

- Cena horúceho vtokového systému

Riešenie horúceho systému je dodané spoločnosťou Synventive, ktorá na základe jeho zložitosti stanovila cenovú ponuku. Cena horúceho vtokového systému je 16 876 eur.

- Cena výroby formy s horúcim vtokovým systémom

Po odbornej konzultácii s nástrojárnou bola stanovená približná cena formy s horúcim vtokovým systémom, to znamená nákup normalizovaných dielcov, materiálu a výroba pevnej strany formy na približnú sumu 8 050 eur.

- Veľkosť formy

Veľkosť formy je 346 x 596 mm; jej výška je 466,83 mm.

6.4 Voľba vstrekovacieho stroja [17]

Na základe vypočítaných technologických parametrov, ako minimálna plastikačná a minimálna vstrekovacia kapacita, ktoré musia byť menšie, poprípade rovné maximálnej plastikačnej a vstrekovacej kapacite použitého stroja, ďalej zvolený optimálny priemer šneku, vstrekovacia rýchlosť a vstrekovací tlak, veľkosť pracovného priestoru medzi upínacími doskami stroja, bol zvolený vhodný typ vstrekovacieho stroja vyhovujúci všetkým technologickým požiadavkám.

V porovnaní s používaným strojom Engel Victory 750/150 pre výrobu uzáveru tuby vo forme so studenou vtokovou sústavou je možné pre formu s horúcou vtokovou sústavou použiť stroj s menšou uzatváracou silou, avšak vzhľadom na požadované parametre je možné použiť aj ten istý stroj, Engel Victory 750/150.

Minimálna požadovaná vstrekovacia kapacita je $73,74 \text{ cm}^3$ a minimálny požadovaný plastikačný výkon má hodnotu $22 \text{ kg}\cdot\text{hod}^{-1}$. Zvolený optimálny priemer šneku stroja, ktorý má zvolený vstrekovací stroj, a ktorý vyhovuje riešeniu nástroja s horúcim vtokovým systémom je 40 mm, vstrekovacia rýchlosť má hodnotu $45,26 \text{ cm}^3\cdot\text{s}^{-1}$ a veľkosť pridržovacej sily (uzatváracej) je 676,38 kN.



Obr. 6.23: Vstrekovací stroj Krauss Maffei [17]

Zvolený stroj pre výrobu uzáveru tuby vstrekováním do navrhutej formy s horúcim vtokovým systémom je od firmy Krauss Maffei. Tento stroj má zákazník k dispozícii. Ide o vstrekovací stroj rady CX, moderný plne hydraulický stroj so šnekovou plastikačnou jednotkou a jeho usporiadanie je horizontálne. Presné označenie je Krauss Maffei KM 80-380 CX.

V tabuľke 6.2 sú uvedené niektoré z parametrov zvoleného vstrekovacieho stroja od spoločnosti Krauss Maffei KM 80-380 CX. Ide najmä o hodnoty, podľa ktorých sa jeho výber riadil.

Tab. 6.2: Parametre vstrekovacieho stroja Krauss Maffei KM 80-380 CX [17]

Technické parametre	Jednotky	Hodnoty
Uzatváracia sila	kN	800
Priemer šneku	mm	40
Max. otáčky šneku	min ⁻¹	477
Maximálny vstrekovací objem	cm ³	374
Plastikačný výkon	g.s ⁻¹	35,3
Zdvih vyhadzovačov	mm	150
Vzdialenosť medzi vodiacimi stĺpmi	mm	420x420
Veľkosť upínacej dosky	mm	670x670
Max. otvorenie stroja	mm	750/150
Min. výška formy	mm	250
Max. vstrekovacia rýchlosť	cm ³ .s ⁻¹	377
Max. vstrekovací tlak	MPa	202

7 TECHNICKO – EKONOMICKÉ ZHODNOTENIE

Cieľom zmeny konštrukcie pôvodnej formy so studeným vtokovým systémom na výrobu uzáveru tuby je optimalizácia výroby; ide o zníženie celkových nákladov, s tým súvisiace najmä zníženie spotreby materiálu, keďže množstvo odpadu, ktorý vzniká v podobe vtokového zvyšku, je príliš vysoké. Odpadový materiál je následne nutné recyklovať, čo zvyšuje náklady daného podniku, ktorý súčasť, uzáver tuby, vstrekuje do formy použitím vstrekovacieho stroja. Zmena konštrukcie formy spočíva v aplikácii horúceho vtokového systému do pevnej strany namiesto studeného. V danom prípade ide o kompletnú zmenu pevnej strany nástroja, z trojdoskového typu využívajúceho dve deliace roviny (jednu na vyhodenie výstrekov z dutín a druhú na vyhodenie vtokového zvyšku) na typ dvojdoskový. Použitím horúceho vtokového systému je docielená takmer bezodpadová výroba, teda nevzniká vtokový zvyšok.

Veľkosť výrobných sérií uzáveru tuby je 5 000 000 kusov ročne. Počet rokov, počas ktorých je súčasť vyrábaná závisí najmä na dopyte, avšak požiadavkou zo strany zákazníka je výroba dielca minimálne počas ďalších piatich rokov. Celková spotreba materiálu na vytvorenie vtokového zvyšku je príliš vysoká, čo predstavuje ročne pri požadovanom počte výrobkov 9 375 kg. Cena použitého materiálu, polypropylénu MOSTEN MT 230, spolu s farbivom je 1,35 eur/kg, čo predstavuje 12 656,25 eur ročne za použitý materiál na vznik vtokového zvyšku, teda odpadu, ktorý je nutné recyklovať. Pri šestnásťnásobnej forme je počet cyklov potrebných na výrobu 312 500, čo znamená rovnaký počet vtokových zvyškov. Pri výrobe počas piatich rokov je spotreba materiálu na vtokový zvyšok:

$$m_c = m_{cvt} \cdot 5 \text{ [kg]}, \quad (7.1)$$

kde: m_c [kg] – hmotnosť vtokového zvyšku počas piatich rokov,

$$m_c = 9\,375 \cdot 5 = 46\,875 \text{ kg},$$

Cena materiálu spotrebovaného na vtokový zvyšok za päť rokov výroby, to znamená na výrobu 25 000 000 kusov uzáverov tuby je:

$$c_c = c_{vt} \cdot 5 \text{ [eur]}, \quad (7.2)$$

kde: c_c [eur] – cena odpadového materiálu za päť rokov,

$$c_c = 12\,656,25 \cdot 5 = 63\,281,25 \text{ eur}.$$

Lisovňa, ktorá uzávery tuby vyrába, zmenou konštrukcie vstrekovacej formy, teda použitím horúceho vtokového systému, čím nevzniká vtokový zvyšok, ušetrí 63 281,25 eur na spotrebe materiálu za päť rokov. Do nákladov spojených so vznikom odpadu, vtokového zvyšku, je nutné počítať taktiež náklady na jeho recykláciu, ktoré lisovňa ušetrí, čím sa znížia celkové prevádzkové náklady daného podniku.

Avšak zmenou konštrukcie už existujúcej formy vznikajú nové finančné náklady. Z dôvodu čo najnižšej investície na zmenu nástroja je použitá celá ľavá strana z pôvodnej formy. Pevnú stranu je nutné vyrobiť, okrem tvárnic, ktoré je tiež možné použiť z existujúceho nástroja. Cena horúceho vtokového systému dodaného spoločnosťou Synventive predstavuje 16 876 eur a cena pevnej strany formy, teda cena polotovaru a jej výroby, stanovená po konzultácii s odborníkmi z nástrojárne, je približne 8 050 eur. Celková cena spojená s výrobou optimalizovanej formy je súčtom spomínaných cien, a to 24 926 eur. Ide o jednorázovú investíciu.

Ďalšou skutočnosťou, hodnou povšimnutia, je skrátenie celkovej doby vstrekovacieho cyklu použitím horúceho vtokového systému. Výpočty doby vstrekovacieho cyklu sú približné, avšak celková doba jedného cyklu pri vstrekaní do formy s riešením vtokového systému ako studeného je 12 sekúnd. Pri použití horúceho vtokového systému ide o cyklus trvajúci

približne 11 sekúnd. Dávka vstrekovanej taveniny je výrazne menšia, čo znamená, že doba potrebná na jej vstreknutie sa skrúti. O malú hodnotu sa skrúti aj doba chladnutia taveniny, a to z dôvodu nevytvárania vtokového zvyšku; tavenina na vznik vtokového zvyšku stuhne ako posledná a je potrebné, aby stuhla tak, aby bol vtokový zvyšok bezproblémovo vyhodnený, čo znamená, že doba chladnutia je navýšená o čas, počas ktorého dostatočne stuhne vtokový zvyšok, zatiaľ čo výstrek je dostatočne tuhý na vyhodnenie z formy. Pri výpočtoch doby chladnutia táto skutočnosť nie je zohľadnená, avšak časové hodnoty jednotlivých fáz sú iba orientačné. Podľa daných výpočtov sa vstrekovací cyklus skrúti o jednu sekundu. Pri danej veľkosti série, teda pri 312 500 cykloch, je celkový čas výroby počas jedného roka skrútený o 312 500 sekúnd, čo predstavuje približne 86 hodín a 48 minút za rok. Náklady lisovne na jednu hodinu výroby sú približne 20 eur. To znamená, že lisovňa skrútením doby vstrekovacieho cyklu o jednu sekundu ušetrí na nákladoch na výrobu ročne:

$$n_u = n_n \cdot t_u \text{ [eur]}, \quad (7.3)$$

kde: n_u [eur] – náklady ušetrené za rok skrútením vstrekovacieho cyklu,

n_n [eur] – náklady lisovne na jednu hodinu výroby,

t_u [hod] – celkový ušetrený čas za jeden rok,

$$n_u = 20 \cdot 86,8 = 1\,736 \text{ eur.}$$

Počas päťročnej výroby lisovňa ušetrí:

$$n_{cu} = n_u \cdot 5 \text{ [eur]}, \quad (7.4)$$

kde: n_{cu} [eur] – náklady ušetrené za päť rokov skrútením vstrekovacieho cyklu,

$$n_{cu} = 1\,736 \cdot 5 = 8\,680 \text{ eur.}$$

Skrútením vstrekovacieho cyklu o jednu sekundu lisovňa ušetrí 8 680 eur za päť rokov výroby uzáveru tuby. Spolu s nákladmi na materiál spotrebovaný na vtokový zvyšok je úspora lisovne počas piatich rokov, bez sumy ušetrenej na recyklácii odpadového materiálu:

$$c_u = n_{cu} + c_c \text{ [eur]}, \quad (7.5)$$

kde: c_u [eur] – celková úspora,

$$n_{cu} = 8\,680 + 63\,281,25 = 71\,961,25 \text{ eur.}$$

Investícia do zmeny konštrukcie existujúcej formy nie je nízka, avšak úspora nákladov spojených s výrobou, ktorú predstavuje je omnoho vyššia. Návratnosť investícií na výrobu novej pevnej strany formy spolu s horúcim vtokovým systémom je približne jeden rok a osem mesiacov. Úspora lisovne s odrátaním nákladov na výrobu pevnej strany formy je:

$$c_{cu} = n_u - n_o \text{ [eur]}, \quad (7.6)$$

kde: c_{cu} [eur] – celková úspora bez nákladov na výrobu pevnej strany formy,

n_o [eur] – náklady na výrobu optimalizovanej formy,

$$c_{cu} = 71\,961,25 - 24\,926 = 47\,035,25 \text{ eur.}$$

Tým, že lisovňa ušetrí, klesne cena na výrobu jedného dielca, uzáveru tuby. Počas piatich rokov je vyrobených 25 000 000 kusov uzáverov. Suma, ktorú ušetrí lisovňa zmenou konštrukcie, s odrátaním nákladov na jej prevedenie, je 47 035,25 eur. Suma potrebná na výrobu jedného uzáveru tuby sa zníži minimálne o:

$$c_z = \frac{\text{ušetrená suma za 5 rokov}}{\text{celkový počet dielcov za 5 rokov}} \text{ [eur]}, \quad (7.7)$$

kde: c_z [eur] – suma, o ktorú sa zníži cena jedného dielca,

$$c_z = \frac{47\,035,25}{25\,000\,000} = 0,0019 \text{ eur.}$$

So zmenou konštrukcie formy použitím horúceho vtokového systému nesúvisí iba zníženie nákladov na výrobu, ale aj zlepšenie kvality vstrekovaných dielcov a ich estetiky. Stopa po vtoku nie je tak výrazná ako pri použití studeného vtokového systému. Rovnako je možné použiť stroj s menšou uzatváracou silou, maximálnou vstrekovacou a maximálnou plastikačnou kapacitou.

Použitím stroja Krauss Maffei KM 80-380 CX namiesto Engel Victory 750/150 je možné taktiež znížiť náklady na výrobu. Zvolený stroj pre formu s horúcim vtokovým systémom má nižší výkon ako používaný stroj, nižšiu pridržovaciu silu. Prevádzkové náklady na výrobu na zvolenom stroji sú nižšie ako náklady pri použití stroja s vyšším výkonom. To znamená, že lisovňa je schopná ušetriť aj na použití iného typu vstrekovacieho stroja.

8 ZÁVER

Uzáver tuby slúži na uzatvorenie zubnej pasty. V súčasnosti je vyrábaný vstrekováním do formy so studeným vtokovým systémom, čo spôsobuje vznik vtokového zvyšku, a tým pádom veľké množstvo odpadového materiálu. Veľkosť výrobnej série je 5 000 000 kusov za rok a minimálna doba výroby je nasledujúcich päť rokov.

Existujúca forma so studeným vtokovým systémom na výrobu uzáveru tuby je šesnásťnásobná, trojdoskového typu. Ide o nástroj, ktorý má dve deliace roviny, jednu na vyhodenie výstrekov z dutín a druhú na vyhodenie vtokového zvyšku. Hmotnosť vzniknutého vtokového zvyšku je 30 gramov, čo pri výrobe dielcov počas piatich rokov predstavuje 46 875 kg. Cena použitého materiálu je 1,35 eur/kg. Celková suma odpadového materiálu je 63 281,25 eur za päť rokov.

Optimalizácia výroby spočíva v zmene konštrukcie existujúcej formy, a to použitím horúceho vtokového systému od firmy Synventive, čím je dosiahnutá bezodpadová výroba. Trojdoskový typ formy je zmenený na dvojdoskový. Pohyblivá strana je z dôvodu nižších nákladov na zmenu konštrukcie použitá z pôvodnej formy, keďže zmena nemá na ňu žiadny vplyv. Z pevnej strany pôvodného nástroja sú použité iba tvárnice, do ktorých sú dorobené vybratia na vyhrievané trysky. Pevná strana formy sa skladá z viacerých rámov, v ktorých je zabudovaný horúci vtokový systém a osadené tvárnice. Na jej výrobu sú použité aj normalizované dielce od firmy HASCO. Na základe technologických výpočtov je zvolený vstrekovací stroj od firmy Krauss Maffei KM 80-380 CX.

Zmenou konštrukcie formy, teda použitím horúceho vtokového systému namiesto systému studeného sú dosiahnuté nižšie výrobné náklady, a to náklady na materiál a taktiež prevádzkové náklady. Cena konštrukcie a výroby pevnej strany formy spolu s horúcim vtokovým systémom je 24 926 eur, avšak lisovňa ušetrí nielen na spotrebe materiálu, ale aj na recyklácii odpadu v podobe vtokového zvyšku. Celková doba vstrekovacieho cyklu sa skrúti o 1 sekundu, čo činí 86 hodín a 48 minút ročne. Skrútením času potrebného na výrobu sa znížia prevádzkové náklady; za päť rokov výroby ide o 8 680 eur. Celková úspora lisovne počas piatich rokov po odčítaní nákladov na zmenu formy je 47 035,25 eur.

Použitím horúceho vtokového systému je dosiahnutá vyššia kvalita vstrekováných dielcov. Jeho aplikáciou je zabezpečený plne automatizovaný cyklus s možnosťou použitia vstrekovacieho stroja s nižším výkonom, s nižšou pridržovacou silou, maximálnou vstrekovacou a maximálnou plastikačnou kapacitou.

ZOZNAM POUŽITÝCH ZDROJOV

1. MAJERČÍKOVÁ, Erika. *Technologie výroby plastového vrchního krytu*. Brno: 2012. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav strojírenské technologie.
2. ADAMIEC, Pavel. *Návrh technologie výroby svorkovnice přístroje z plastu*. [online]. Brno: 2011. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav strojírenské technologie. Dostupné z: <https://www.vutbr.cz/studium/zaverecne-prace?action=detail&zp_id=38059&fid=4&rok=&typ=&jazyk=&text=adamiec&hl_klic_slova=0&hl_abstrakt=0&hl_nazev=0&hl_autor=1&str=1>
3. ARBURG. *Arburg.com* [online]. [cit. 2014.03.29]. Dostupné z: <https://www.arburg.com/fileadmin/redaktion/Presse/2010/26599-01-570H_2000_800.jpg>
4. DIRECT INDUSTRY. Products. *Directindustry.com* [online]. [cit. 2014.03.28]. Dostupné z: <<http://www.directindustry.com/prod/ewikon-heisskanalsysteme-gmbh/hot-runner-systems-20468-186710.html>>
5. ENGEL. Engel Victory. *Engelglobal.com* [online]. [cit. 2014.04.02]. Dostupné z: <<http://www.engelglobal.com/en/uk/solutions/injection-moulding-machines/victory.html>>
6. EURO-TEC. Engel Victory. *Eurotecsls.com* [online]. [cit. 2014.04.02]. Dostupné z: <http://www.eurotecsls.com/Acrobat%20Files/Tiebarless/Inj_VC_750.pdf>
7. EUROHEATERS. Injection tip. *Euroheaters.com* [online]. [cit. 2014.03.29]. Dostupné z: <<http://www.euroheaters.com/products/hot-runner-systems/injection-tip.php>>
8. GASTROW, Hans. *Injection molds: 102 proven designs*. 1. vyd. New York: Macmilan Publishing Co.,Inc., 1983. ISBN 0-02-949440-0.
9. HOT RUNNER. *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. St. Petersburg (Florida): Wikipedia Foundation [cit. 2014.03.28]. Dostupné z: <http://en.wikipedia.org/wiki/Hot_runner>
10. HUSKY. Hot runners. *Husky.co* [online]. [cit. 2014.03.29]. Dostupné z: <<http://www.husky.co/EN-US/PRONTO-Overview.aspx>>
11. INJECTION MOLDING. *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. St. Petersburg (Florida): Wikipedia Foundation [cit. 2014.03.02]. Dostupné z: <http://en.wikipedia.org/wiki/Injection_molding>
12. JANČUŠOVÁ, Mária. *Formy na tvárnenie plastov*. 1. vyd. Žilina: EDIS - ŽU, 2010. ISBN 978-810-550-0191-5.
13. KANDUS, Bohumil, *Technologie zpracování plastů: Podklady pro cvičení*. 2011.
14. KANDUS, Bohumil. *Technologie zpracování plastů: Prednášky*. 2011.

15. KOLOUCH, Jan. *Strojírenské výrobky z plastů vyráběné vstřikováním*. 1. vyd. Praha: SNTL, 1986. L13-B3-IV-31f/22880.
16. KRAUSS MAFFEI. Injection unit and plasticizing system. *Kraussmaffei.com* [online]. [cit. 2014.04.02]. Dostupné z: <<http://www.kraussmaffei.com/en/injection-unit-and-plasticizing-system1.html>>
17. KUBOUSEK. Vstřikovací stroje rady CX. *Kubousek.cz* [online]. [cit. 2014.04.03]. Dostupné z: <<http://www.kubousek.cz/cz/page/vstrikovaci-lisy/vstrikovaci-stroje-rada-cx-350-6500-kn->>
18. LENFELD, Petr. *Katedra strojírenské technologie, FS, TU v Liberci: Katedra tváření kovů a plastů – Skripta* [online]. 2008 [cit. 2014.04.06]. Technologie II Zpracování plastů. Dostupné z: <http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce_plasty/obsah_plasty.htm>
19. MATWEB. Material property data. *Matweb.com* [online]. [cit. 2014.03.22]. Dostupné z: <<http://www.matweb.com/search/DataSheet.aspx?MatGUID=08fb0f47ef7e454fbf7092517b2264b2&ckck=1>>
20. MEUSBURGER. Produkty. *Meusburger.com* [online]. [cit. 2014.03.22]. Dostupné z: <<http://www.meusburger.com/produkty-1/novinky>>
21. MING-LI PRECISION STEEL MOLDS. Galéria výrobkov. *Precision.moulds.asia* [online]. [cit. 2014.02.12]. Dostupné z: <<http://precision.moulds.asia/Photo-Molds-Design/>>
22. MM PRUMYSLOVÉ SPEKTRUM. *Časopis: Upínání forem a doporučení pro zpracování plastů*. *Mmspektrum.com* [online]. [cit. 2014.03.21]. Dostupné z: <<http://www.mmspektrum.com/clanek/upinani-forem-a-doporuceni-pro-zpracovani-plastu-a-pryze.html>>
23. MOLD MASTERS. Hot runner justification tool. *Moldmasters.com* [online]. [cit. 2014.03.28]. Dostupné z: <<http://www.moldmasters.com/index.php?s=support&o=hot-runner-vs-cold-runner-justification-tool>>
24. MOULD&MATIC. Výrobky. *Mouldandmatic.cz* [online]. [cit. 2014.03.20]. Dostupné z: <<http://www.mouldandmatic.cz/?menu=produkty&typ=nase-produkty&podtyp=vstrikovaci-formy>>
25. OKURKA, Pavel. *Návrh formy na vstřikování plastůs horkým vtokovým systémem*. [online]. Brno: 2013. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav strojírenské technologie. Dostupné z: <https://www.vutbr.cz/studium/zaverecne-prace?zp_id=63747>
26. PLASTICPORTAL. Portál pre plasty a gumu: Synventive. *Plasticportal.cz* [online]. [cit. 2014.03.25]. Dostupné z: <<http://www.plasticportal.cz/cs/synventive-molding-solutions-sro/f/345>>

27. POLYPROPYLEN. *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. St. Petersburg (Florida): Wikipedia Foundation [cit. 2014.02.15]. Dostupné z: <<http://cs.wikipedia.org/wiki/Polypropylen>>
28. RITE TECH INDUSTRIES Inc. Injection molding. *Ritetechnoutsourcing.com* [online]. [cit. 2014.02.13]. Dostupné z: <<http://ritetechnoutsourcing.com/services/manufacturing/injection-molding.html>>
29. Technická univerzita v Liberci, Katedra strojírenské technologie. Študijní materiály. *Ksp.tul.cz* [online]. [cit. 2014.02.15]. Dostupné z: <http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/stud_materialy/vip/VIP%20PLASTY.pdf>
30. VSTŘIKOVACÍ LIS. *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. St. Petersburg (Florida): Wikipedia Foundation [cit. 2014.03.30]. Dostupné z: <http://cs.wikipedia.org/wiki/Vst%C5%99ikovac%C3%AD_lis>
31. VULCAN. Injection molds. *Vulcanmold.com* [online]. [cit. 2014.02.13]. Dostupné z: <<http://www.vulcanmold.com/category/injection-mold/>>
32. UNIPLAST. *Příručka: Formy pro zpracování plastů*. 1. vyd. Brno.
33. ZBROJOVKA VSETÍN. Vstrekovacie formy. *Zv-nastroje.cz* [online]. [cit. 2014.03.24]. Dostupné z: <<http://www.zv-nastroje.cz/web/index.php/cs/vyrobky/formy>>
34. ZEMAN, Lubomír. *Vstřikování plastů*. 1. vyd. Praha: BEN, 2009. ISBN 978-80-7300-250-3.
35. ŽÁK, Ladislav. *Vstřikovací formy: Skriptá* [online]. [cit. 2014.03.20]. Dostupné z: <<http://ust.fme.vutbr.cz/tvareni/cviceni.htm>>

Zoznam použitých symbolov a skratiek

Označenie	Legenda	Jednotka
a_{ff}	Merná teplotná vodivosť použitého plastu	$[\text{mm}^2 \cdot \text{s}^{-1}]$
c	Počet cyklov pre sériu 5 000 000 kusov	[ks]
c_c	Cena odpadového materiálu za 5 rokov	[eur]
c_{cu}	Celková úspora bez nákladov na výrobu pevnej strany formy	[eur]
c_m	Cena materiálu za jeden kilogram	[eur]
C_p	Plastikačná kapacita stroja	$[\text{cm}^3]$
c_u	Celková úspora	[eur]
C_v	Vstrekovacia kapacita stroja	$[\text{kg} \cdot \text{h}^{-1}]$
c_{vt}	Celková cena odpadového materiálu	[eur]
c_z	Suma, o ktorú sa zníži cena jedného dielca	[eur]
D_s	Priemer šneku	[mm]
d	Priemer vtoku	[mm]
F_p	Pridržovacia sila stroja	[kN]
K_a	Faktor navýšenia objemu taveniny	$[\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}]$
L_s	Dĺžka pohybu šneku	[mm]
m	Hmotnosť plastového dielca	[g]
m_c	Hmotnosť vtokového zvyšku počas piatich rokov	[kg]
m_{vt}	Hmotnosť vtokového zvyšku	[g]
m_{cvt}	Hmotnosť vtokového zvyšku pre sériu 5 000 000 kusov	[kg]
n	Násobnosť formy	[ks]
n_{cu}	Náklady ušetrené za päť rokov skrátením vstrekovacieho cyklu	[eur]
n_n	Náklady lisovne na jednu hodinu výroby	[eur]
n_o	Náklady na výrobu optimalizovanej formy	[eur]
n_s	Otáčky šneku	$[\text{min}^{-1}]$
n_u	Náklady ušetrené za rok skrátením vstrekovacieho cyklu	[eur]
p_A	Tlak v dutine formy	[bar]
p_d	Dotlak	[MPa]
p_v	Vstrekovací tlak	[MPa]
S_v	Plocha priemetu jedného výstrelu do deliacej roviny	$[\text{cm}^2]$
S_{vt}	Plocha priemetu vtokového zvyšku do deliacej roviny	$[\text{cm}^2]$
s	Redukovaná hrúbka súčasti	[mm]
t_c	Celkový čas vstrekovacieho cyklu	[s]
T_E	Teplota odformovania	$[\text{°C}]$
t_k	Doba chladenia	[s]
T_M	Teplota taveniny plastu	$[\text{°C}]$
t_u	Celkový ušetrený čas za jeden rok	[hod]
t_v	Doba vstrekovania	[s]
T_W	Teplota formy	$[\text{°C}]$
v	Maximálna obvodová rýchlosť šneku pre daný materiál	$[\text{m} \cdot \text{s}^{-1}]$
V	Objem plastového dielca	$[\text{cm}^3]$
V_d	Veľkosť dávky taveniny	$[\text{cm}^3]$
V_{vt}	Objem vtokového zvyšku	$[\text{cm}^3]$
v_s	Vstrekovacia rýchlosť	$[\text{cm}^3 \cdot \text{s}^{-1}]$
ρ	Hustota materiálu	$[\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}]$

Zoznam príloh

Príloha č.1: Tabuľka na určenie tlaku v dutine formy

Príloha č.2: Materiálový list PP MOSTEN MT 230

Zoznam výkresov

Uzáver tuby:	EM – 02 – 3 – 00
Tvárník:	EM – 02 – 2 – 23
Jadro závitu:	EM – 02 – 3 – 25
Tvárnica:	EM – 02 – 3 – 111
Zostava:	EM – 02 – 0
Rozpiska	

Délka toku l [cm]	Tloušťka stěny [mm]													
	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,7	2,0	
2	20	14	11,5											
3	30	21	17	13,5										
4	40	28	23	18	14	12								
5	50	35	28,5	22,5	17,5	15	13							
6	60	42	34	27	21	18	15,5	12,5						
7	70	49	40	31,5	24,5	21	18	15	12,5					
8	80	56	56	36	28	24	21	17	14,5	12				
9	90	63	51,5	40,5	31,5	27	23,5	19	16	13,5				
10	100	70	57	45	35	30	26	21	18	15	13			
11		77	63	49,5	38,5	33	28,5	23	20	16,5	14,5			
12		84	68,5	54	42	36	31	25	21,5	18	15,5	12		
13		91	74	58,5	45,5	39	34	27,5	23,5	19,5	17	13		
14		98	80	63	49	42	36,5	29,5	25	21	18,5	14		
15			85,5	67,5	52,5	45	39	31,5	27	22,5	19,5	15		
16			91,2	72	56	48	41,5	34	29	24	21	16	12	
17			96,9	76,5	59,5	51	44	36	30,5	25,5	22	17	-	
18				81	63	54	47	38	32,5	27	23,5	18	13,5	
19				85,5	66,5	57	49,5	40	34	28,5	25	19		
20				90	70	60	52	42	36	30	26	20	15	
21					73,5	63	54,5	44	38	31,5	27,5	21		
22					77	66	57	46	39,5	33	28,5	22	16,5	
23					80,5	69	59,5	48,5	41,5	34,5	30	23		
24					84	72	62,5	50,5	43	36	31,5	24	18	
25					87,5	75	65	52,5	45	37,5	32,5	25		
26					91	78	67,5	54,5	47	39	34	26	19,5	
27						81	70	56,5	48,5	40,5	35	27		
28						84	72,5	59	50,5	42	36,5	28	21	
29						87	75,5	61	52	43,5	38	29		
30							78	63	54	45	39	30	22,5	
31							80,5	65	56	46,5	40,5	31		
32							83	67	57,5	48	41,5	32	24	
33							85,5	69,5	59,5	49,5	43	33		
34								71,5	61	51	44,5	34	25,5	
35								73,5	63	52,5	45,5	35		
36								75,5	65	54	47	36	27	
37								78	66,5	55,5	48	37		
38								80	68,5	57	49,5	38	28,5	
39									70	58,5	51	39		
40									72	60	52	40	30	
42										63	54,5	43		
44										66	57	44		
46											60	46		
48												49	36	

Mosten MT 230

PP

Unipetrol, a.s.

Rheological properties	Value	Unit	Test Standard
ISO Data			
Melt flow index (MFI)	30	g/10min	ISO 1133
MFI temperature	230	°C	ISO 1133
MFI load	2.16	kg	ISO 1133
Mechanical properties			
ISO Data			
Yield stress	38	MPa	ISO 527-1/-2
Strain at break	40	%	ISO 527-1/-2
Charpy notched impact strength (+23°C)	2	kJ/m ²	ISO 179/1eA
Flexural modulus (23°C)	1850	MPa	ISO 178
Thermal properties			
ISO Data			
Temp. of deflection under load (1.80 MPa)	60	°C	ISO 75-1/-2

Characteristics**Processing**

Injection Molding

Ecological valuation

Food approval 1935/2004/EC

Special Characteristics

Anti-static, Transparent

Applications

Packaging

Features

Homopolymer

Regional Availability

Europe