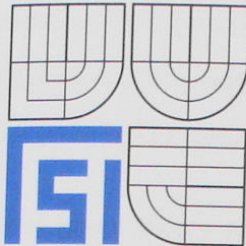


VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

NÁVRH TECHNOLOGIE VÝROBY OZUBENÉHO KOLA Z PLASTU

DESIGN OF PLASTIC COGVEHEEL PROCESSING

DIPLOMOVÁ PRÁCE
MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

Bc. PETR ŠVÁB

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

Ing. BOHUMIL KANDUS

BRNO 2009

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav strojírenské technologie
Akademický rok: 2008/09

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

student(ka): Šváb Petr, Bc.

který/která studuje v **magisterském 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:

Návrh technologie výroby ozubeného kola z plastu

v anglickém jazyce:

Design of plastic cogwheel processing

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Na základě zadaného tvaru plastového dílce vypracovat řešení na technologii vstřikování plastů do forem, provést návrh technologického postupu a konstrukce vstřikovací formy včetně potřebných výpočtů.

Cíle diplomové práce:

Cílem práce je komplexní návrh technologie výroby na úrovni technologického postupu a konstrukční výkresové dokumentace nástroje na plastové ozubené kolo podložený technicko-ekonomickým zhodnocením.

ABSTRAKT

Dílo obsahuje technologii výroby plastového ozubeného kola vstřikováním, dále zahrnuje volbu plastového materiálu pro ozubené kolo a konstrukční výkresovou dokumentaci nástroje (vstřikovací formy). Na základě parametrů vstřikovacího stroje je zvolen vhodný stroj a pro danou velikost výrobní dávky je provedeno jednoduché zhodnocení nákladů potřebných na výrobu celé série.

Klíčová slova

ozubené kolo, plast, vstřikování, vstřikovací forma

ABSTRACT

The publication contains manufacturing technology of injection cog-wheel, manufacturing plastic material specification and technical drawing documentation including injection shapes. Based on technical data of injecting machine the proper manufacturing technology is suggested. Basic evaluation of costs required to manufacture the whole series of injection cog-wheels is also included.

Key words

cog-wheel, plastic, injection, injection shape

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

ŠVÁB, P. *Návrh technologie výroby ozubeného kola z plastu*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2009. 56 s., 8 příloh. Vedoucí diplomové práce Ing. Bohumil Kandus.

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma Návrh technologie výroby ozubeného kola z plastu vypracoval samostatně s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených na seznamu, který tvoří přílohu této práce.

V Brně dne 28.5. 2009

.....
Petr Šváb

Poděkování

Děkuji tímto Ing. Bohumilu Kandusovi za cenné připomínky a rady při vypracování diplomové práce.

OBSAH

Abstrakt	3
Bibliografická citace	4
Prohlášení	5
Poděkování	6
Obsah	7
Úvod	10
1 ZÁKLADNÍ ROZDĚLENÍ PLASTŮ	11
1.1 Termoplasty	11
1.2 Reaktoplasty	11
1.3 Amorfní polymery	11
1.3.1 Termomechanická křivka	11
1.4 Semikrystalické polymery	12
1.4.1 Termomechanická křivka	12
1.5 Přejíchodové teploty polymerů	12
2 PŘÍSADY	13
2.1 Změkčovadla	13
2.2 Maziva	13
2.3 Plniva	13
2.4 Barviva a pigmenty	13
2.5 Nadouvadla	13
2.6 Stabilizátory a retardéry hoření	13
3 VLASTNOSTI PLASTŮ	14
3.1 Mechanické vlastnosti	14
3.1.1 Krátkodobé namáhání	14
3.1.2 Dlouhodobé namáhání statické	14
3.1.3 Dlouhodobé namáhání dynamické	15
3.2 Elektrické vlastnosti	16
3.3 Tepelné vlastnosti	16
3.4 Optické vlastnosti	16
3.5 Fyzikální vlastnosti	16
3.5.1 Hořlavost	16
3.5.2 Koroze za napětí	16
3.5.3 Navlhavost a nasákavost	16
3.5.4 Stárnutí	16
4 TECHNOLOGIE ZPRACOVÁNÍ PLASTŮ	17
4.1 Lisování	17
4.2 Přetlačování	17
5 VSTŘIKOVÁNÍ	18
5.1 Vstřikovací cyklus	18
5.1.1 Jednotlivé fáze	19
5.1.1.1 Dávkování a plastikace	19
5.1.1.2 Vstřikování	19
5.1.1.3 Dotlačování	19
5.1.1.4 Chlazení taveniny ve formě	19
5.1.1.5 Vyjímání výstřiku z formy	20
5.2 Vlastnosti výstřiků	20
5.2.1 Orientace	20

5.2.2 Smrštění	20
5.2.3 Vnitřní pnutí	21
5.3 Vstřikovací stroje	21
5.3.1 Plastikační a vstřikovací jednotka	21
5.3.2 Uzavírací jednotka	22
5.3.3 Řídicí a regulační jednotka	22
6 KONSTRUKCE VSTŘIKOVACÍCH FOREM	23
6.1 Násobnost forem	23
6.2 Vtokové systémy	24
6.2.1 Studené vtokové systémy	24
6.2.1.1 Plný (kuželový) vtok	24
6.2.1.2 Bodový vtok	24
6.2.1.3 Tunelový vtok	25
6.2.1.4 Deštníkový a prstencový (kruhový) vtok	25
6.2.1.5 Štěrbínový vtok	26
6.2.1.6 Rozváděcí kanálky	26
6.2.2 Horké vtokové systémy	26
6.2.2.1 Formy s vyhříváními rozváděcími kanály	26
6.2.2.2 Vyhřívání tryska horkých rozváděcích kanálů	27
6.3 Temperování	27
6.4 Odvzdušnění	28
6.5 Vyhazování výstřiku	28
7 MOŽNÉ VARIANTY ŘEŠENÍ	29
7.1 Ozubená kola z reaktoplastů	29
7.2 Ozubená kola z termoplastů	29
7.3 Výběr optimální varianty	29
8 TECHNOLOGICKÝ POSTUP	30
8.1 Vtokový systém vstřikovací formy	30
8.2 Charakteristika ozubených kol z plastu	31
8.3 Vhodný výběr materiálu	31
8.3.1 Požadované vlastnosti na materiály ozubených kol	31
8.3.2 Příklady používaných materiálů	31
8.3.3 Volba plastového materiálu	31
8.4 Zpracovatelské podmínky při vstřikování Hostaformu C	32
8.5 Objem a hmotnost ozubeného kola	33
8.6 Uspořádání rozváděcích kanálků	35
8.7 Násobnost formy	38
8.8 Výpočet časového průběhu (doby) vstřikovacího cyklu	38
8.9 Výběr vhodného vstřikovacího stroje	41
8.9.1 Parametry vstřikovacích strojů	41
8.9.2 Výpočet parametrů vstřikovacího stroje	41
8.9.3 Parametry stroje Allrounder 420 C	43
8.10 Vyhazování výstřiků	44
8.10.1 Mechanické vyhazování	44
8.10.2 Vzduchové vyhazování	44
8.10.3 Hydraulické vyhazování	44
8.10.4 Vyhození výstřiků ozubených kol	44
8.10.5 Vyhození vtokového zbytku	45
8.11 Temperační systém	45

8.12 Odvzdušnění formy	47
9 EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ	48
9.1 Náklady na materiál	48
9.2 Náklady na výrobu formy	48
9.3 Náklady na provoz stroje	49
9.4 Náklady na výrobního dělníka	49
9.5 Celkové náklady	49
Závěr	50
Seznam použitých zdrojů	51
Seznam použitých symbolů a zkratk	53
Seznam příloh	56

ÚVOD

Plasty se v moderním strojírenství staly velmi výrazným a specifickým materiálem. Světová výroba plastů za posledních 55 let každoročně vzrůstá přibližně o 10 %. Ve strojírenství nacházejí využití jako konstrukční nebo tvarové díly, ať už mechanicky namáhány či nikoliv. Jsou také zdrojem inovace výrobků popřípadě výrobních zařízení. (14)

Prvotní uplatnění a využití našly ve spotřebním zboží, dále pak v elektrotechnice jako izolační součásti, následně ve stavebnictví a později také v zemědělství. Nejsložitější aplikací použití plastů bylo právě ve strojírenství, neboť plastové výrobky (strojí součásti) zpočátku nesplňovaly potřebné požadavky, např. vysoké hodnoty pevnosti a modulu pružnosti, dostatečnou rozměrovou a tvarovou stabilitu apod. Avšak s neustálým rozvojem plastových materiálů se podařilo získat konstrukční typy plastů, které vykazují lepší mechanické vlastnosti, tepelnou odolnost a některé speciální vlastnosti a mohou tak odolávat mechanickému a tepelnému zatížení při plnění své funkčnosti. (13)



Obr. 1 Ozubená kola vstříkovaná z termoplastů (15)

1 ZÁKLADNÍ ROZDĚLENÍ PLASTŮ

Pro praxi je nejvýznamnější dělení z hlediska (9):

- a) chování za zvýšené teploty (termoplasty, reaktoplasty)
- b) nadmolekulární struktury (amorfní a semikrystalické plasty)

1.1 Termoplasty

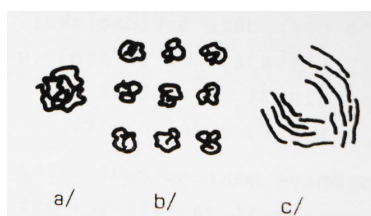
Jsou plasty, které při ohřátí měknou a přecházejí do stavu viskózní taveniny, kde se mohou tvářet a zpracovávat. Po ochlazení opět tuhnou. (7) Chemická struktura plastu se při zahřátí nemění, nastávají pouze fyzikální změny, a proto můžeme celý proces opakovat. (9)

1.2 Reaktoplasty

Při zahřátí dále tuhnou (vyšší teplota umožní vznik vnitřní struktury, trojrozměrné polymerní sítě), vznikne hustě zesíťovaný polymer, který je zpravidla nerozpustný a netavitelný. (7) Tento děj se nazývá *vytvrzování* a je nevratný. (9)

1.3 Amorfní polymery

Makromolekuly jsou různě orientovány, tzn. že nemají pravidelně uspořádanou strukturu. (7) Jejich morfologickým útvarem jsou globule (klubíčka). (9)

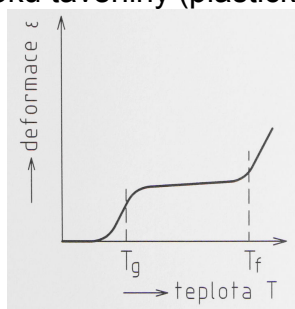


Obr. 1.1 Tvar nadmolekulární struktury (9)

a – globule, b – pravidelně uspořádané globuly, c - svazky

1.3.1 Termomechanická křivka

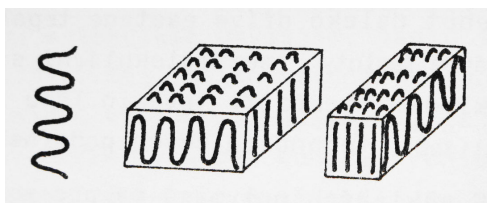
Pod teplotou T_g se polymer chová jako tvrdé a křehké sklo, zatímco nad teplotou T_g má houževnaté kaučukovité chování. (7) Při překročení teploty T_f nastává počátek viskózního toku taveniny (plastický stav). (9)



Obr. 1.2 Termomechanická křivka amorfního polymeru

1.4 Semikrystalické polymery

Při jejich zpracování dojde ve struktuře k částečné krystalizaci, kde zbylá část je v amorfním stavu. Makromolekuly vytvářejí určitý stupeň uspořádanosti. (7) Morfologickým útvarem jsou lamely, fibrily a sferolity. (9)

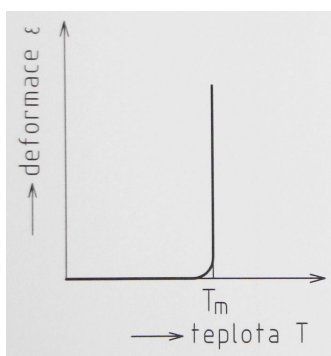


a) b) c)

Obr. 1.3 Tvar nadmolekulární struktury (3)
a – proužek, b – lamela, c – fibrila

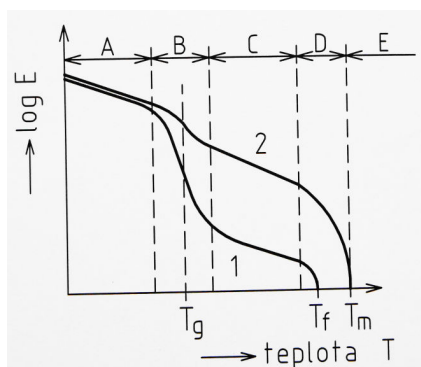
1.4.1 Termomechanická křivka

Teplota T_m představuje přechod mezi stavem tuhým a plastickým. (8)



Obr. 1.4 Termomechanická křivka semikrystalického polymeru

1.5 Přechodové teploty polymerů



Obr. 1.5 Závislost modulu pružnosti na teplotě

1 – lineární amorfní polymer, 2 – semikrystalický polymer, A – oblast sklovitá,
B – přechodová, C – kaučukovitá, D – přechodová, E – oblast viskózního toku

2 PŘÍSADY

Jsou látky ovlivňující molekulární nebo chemickou strukturu daného polymeru. Způsobují tedy změnu chování při zpracování a ovlivňují výsledné vlastnosti plastového dílce. (8)

Podle účinku na vlastnosti plastů se rozlišují (8):

1. přísady modifikující fyzikální vlastnosti (změkčovadla, maziva, plniva, pigmenty, nadouvadla aj.)
2. přísady dodávající ochranný účinek proti degradaci (stabilizátory, retardéry hoření aj.)

2.1 Změkčovadla

Jsou organické látky, které dodávají polymerům tvárnost, ohebnost, snižují viskozitu taveniny a teplotu zesklnění. (7)

2.2 Maziva

Uspadňují zpracování a zlepšují některé vlastnosti výrobků (např. tepelnou a světelnou stabilitu, povrchový vzhled, odolnost proti korozi aj.). (8)

2.3 Plniva

Upravují mechanické vlastnosti (modul pružnosti, pevnost v tahu, tažnost, houževnatost), tokové vlastnosti taveniny, povrchový vzhled výrobků. (8)

2.4 Barviva a pigmenty

Barviva jsou barevné organické látky v daném prostředí rozpustné a nenarušují transparentnost. Pigmenty představují barevné prášky nerozpustné ve hmotě, které dávají potřebný barevný odstín a kryvost. (8)

2.5 Nadouvadla

Přísady rozkládající se při zpracovatelské teplotě polymeru za vzniku plynů (např. N_2 , CO_2), které vytvoří ve výrobku uzavřené nebo otevřené póry. Používají se při zpracování plastů na lehčené hmoty. (7)

2.6 Stabilizátory a retardéry hoření

Chrání plast před degradací při zpracování a v průběhu používání před vnějšími vlivy (sluneční záření, kyslík, tepelná energie, ozón atd.). (7) Retardéry hoření jsou chemické sloučeniny, které zpomalují hoření plastů a zajišťují samozhášitelnost plastu. (8)

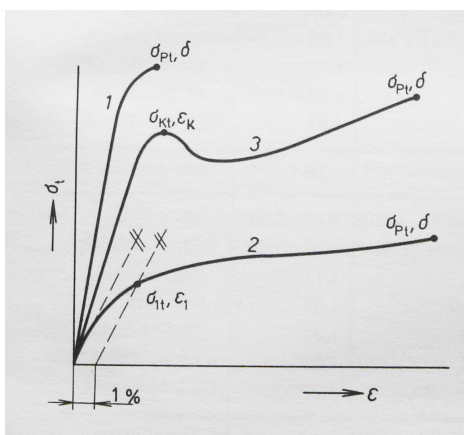
3 VLASTNOSTI PLASTŮ

3.1 Mechanické vlastnosti

Jsou závislé na chemickém složení daného polymeru, velikosti a tvaru makromolekul, dále také na množství a druhu přísad (např. plniv), teplotě atd. Mechanické vlastnosti se posuzují při krátkodobém a dlouhodobém namáhání.(9)

3.1.1 Krátkodobé namáhání

K vyhodnocení vlastností slouží tahová trhací zkouška. Délka zatížení bývá obvykle kratší jak 1 minuta a výsledkem zkoušky je stanovení závislosti napětí na deformaci. Pomocí grafu se zjistí potřebné charakteristiky, tzn. mez kluzu, mez pevnosti, dále pak modul pružnosti v tahu, tažnost a vůbec celkové chování materiálu při deformaci. (2)

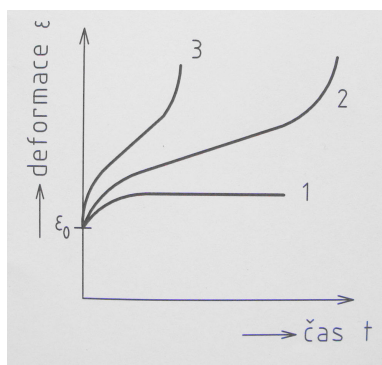


Obr. 3.2 Závislost σ_t - ϵ (2)

1 – tvrdé plasty bez meze kluzu, 2 – měkké plasty, 3 – plasty s výraznou mezí kluzu

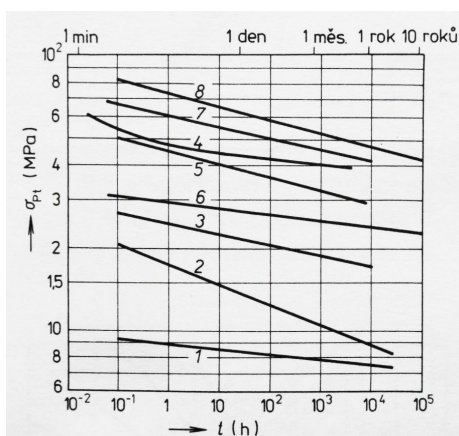
3.1.2 Dlouhodobé namáhání statické

a) *Křípová zkouška tahem* – zachycuje průběh celkové deformace v závislosti na čase při konstantním napětí a teplotě. (7) V okamžiku lomu je možné zjistit dlouhodobou (časovanou) pevnost v tahu. (2)



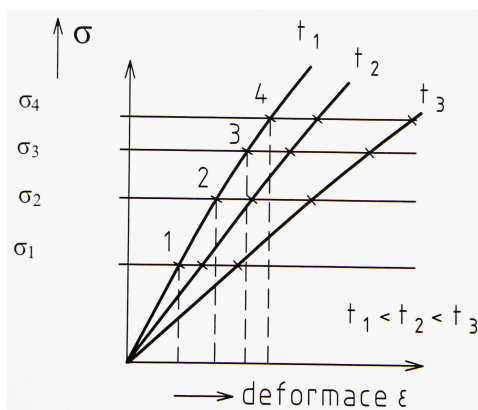
Obr. 3.2 Obecné křípkové křivky

1 – idealizovaný průběh, 2 – křivka delší životnosti, 3 – křivka krátké životnosti



Obr. 3.3 Závislost dlouhodobé pevnosti v tahu na době zatížení při 20 °C (2)
1 – rPE, 2 – IPE, 3 – PP, 4 – PVC, 5 – PS, 6 – hPS, 7 – SAN, 8 - PMMA

Z výsledků zkoušky se sestaví *izochronní diagram*, který zobrazuje závislost tahového napětí na celkové deformaci při určité teplotě a času. Z diagramu lze stanovit křipový modul pružnosti dle vztahu $E_c = \sigma_t / \epsilon_{\text{celk.}}$ (2)



Obr. 3.4 Izochronní diagram

b) *Relaxační zkouška* – zjišťuje průběh napětí v závislosti na čase při konstantní deformaci a teplotě (2)

3.1.3 Dlouhodobé namáhání dynamické

Dynamické zatížení plastové součásti způsobí *únavové porušení*. Zkoušky se provádějí tahem, tlakem, ohybem nebo smykem. Působící střídavé napětí má souměrný nebo pulsující průběh. Výsledkem zkoušky je sestavení Wöhlerovy křivky a stanovení meze časované únavy obvykle pro 10^7 zatěžujících cyklů. (2)

Při namáhání zkušebního tělesa *rázem* dochází k porušení křehkým nebo houževnatým lomem. Zkoušky se provádějí nejčastěji namáháním v ohybu a zjišťuje se vrubová houževnatost, rázová houževnatost a poměrná rázová houževnatost (tj. poměr mezi vrubovou a rázovou houževnatostí). (7)

3.2 Elektrické vlastnosti

Plasty se v elektrickém poli chovají jako izolanty. Za určitých podmínek může dojít k nárůstu jejich elektrické vodivosti a přestávají mít vlastnosti dielektrika. Měřítkem vlastností izolantu je *měrný vnitřní odpor a elektrická pevnost*. (7)

3.3 Tepelné vlastnosti

Hodnotí se zejména materiálové tepelné konstanty plastů (např. teplotní vodivost, délková teplotní roztažnost, měrná tepelná kapacita). (7)

3.4 Optické vlastnosti

Pro strojní součásti nemají tyto vlastnosti až tak velký význam. Plasty s velmi dobrou propustností viditelného světla se používají zejména jako průhledná víka nebo tělesa, různá optická vybavení atd. (2)

3.5 Fyzikální vlastnosti

3.5.1 Hořlavost

Je schopnost plastu po zapálení hořet. Závisí na chemické struktuře plastu a na některých fyzikálních činitelích. Hořlavost se může snížit přidáním plniv (skleněná vlákna, slída aj.) a speciálních přísad (retardéry hoření). (9)

3.5.2 Koroze za napětí

Jedná se o povrchově vytvořené trhliny vlivem působení mechanického napětí za současného působení kapalin nebo par. Trhliny se postupně šíří až do okamžiku porušení křehkým lomem. Vyskytuje se hlavně u termoplastů. (2)

3.5.3 Navlhavost a nasákavost

Tato vlastnost je spojena s prostředím, ve kterém se plast, který je schopen absorbovat vodu, nachází. Je-li uložen ve vlhkém ovzduší, jde o navlhavost, je-li uložen ve vodě, pak se jedná o nasákavost. Přijímáním vody mění plastový dílec své rozměry, snižuje se jeho pevnost a tvrdost, modul pružnosti, zvyšuje tažnost a houževnatost. (2)

3.5.4 Stárnutí

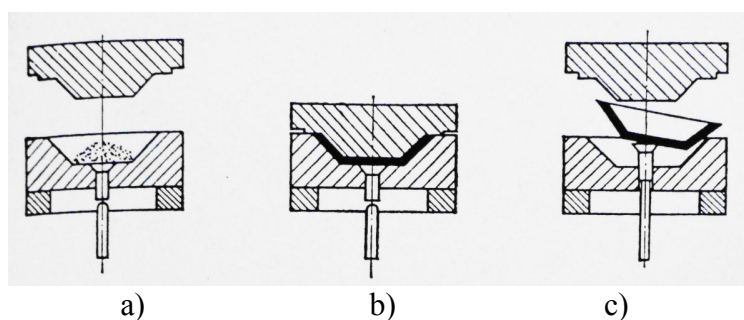
Je postupné znehodnocení plastů působením mnoha činitelů v přirozeném nebo umělém prostředí (přirozené stárnutí, umělé stárnutí). Projevuje se ztrátou tažnosti, rázové a vrubové houževnatosti aj.

Je-li plast vystaven povětrnostním podmínkám (povětrnostní stárnutí), světlu (světelné stárnutí), teplotě (tepelné stárnutí), ozónu (ozónové stárnutí) apod. (7)

4 TECHNOLOGIE ZPRACOVÁNÍ PLASTŮ

4.1 Lisování

Společně s technologií *přetlačování* se řadí mezi nejstarší operace zpracování plastů (zejména reaktoplastů). Princip spočívá v tom, že lisovaná hmota (nejčastěji v podobě prášku nebo jako tableta) je vložena do dutiny formy. Při následném působení tepla a tlaku je roztavena a tvářena do tvaru vylisku. Po vytvrzení hmoty se forma otevře a vylisek vyjme. (8)

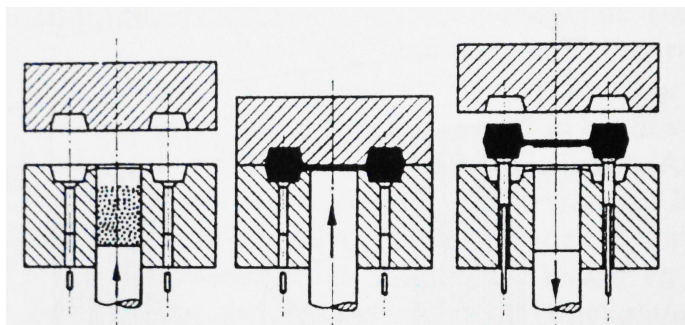


Obr. 4.1 Princip lisování (8)

a – plnění formy, b – lisování, c – vyhození vylisku z lisovací formy

4.2 Přetlačování

Ve vyhřívané přetlačovací komoře lisovací formy je hmota převedena do plastického stavu a pomocí pístu je přetlačena rozváděcími kanálky do dutiny vytápěné formy. Zde získá finální tvar výrobku. (8)



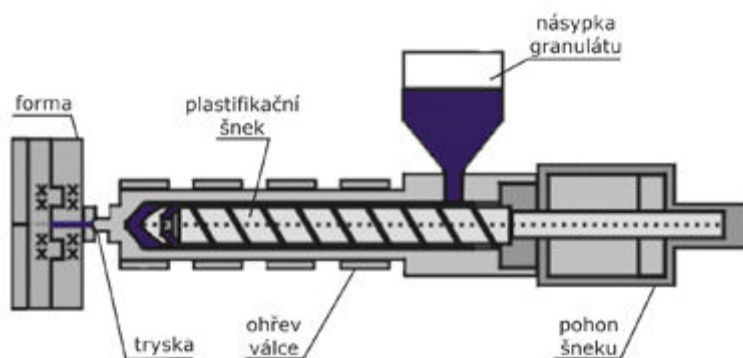
Obr. 4.2 Princip přetlačování na dvoupístovém lisu (6)

A – plnění přetlačovací komory, B – přetlačování, C – vyhození vylisku z formy

5 VSTŘIKOVÁNÍ

Je jedna z hlavních technologií zpracování plastů, výrobky vykazují poměrně vysokou rozměrovou a tvarovou přesnost. Vstřikováním se zhotovují výrobky jednoduchých i velmi složitých tvarů převážně z termoplastů.

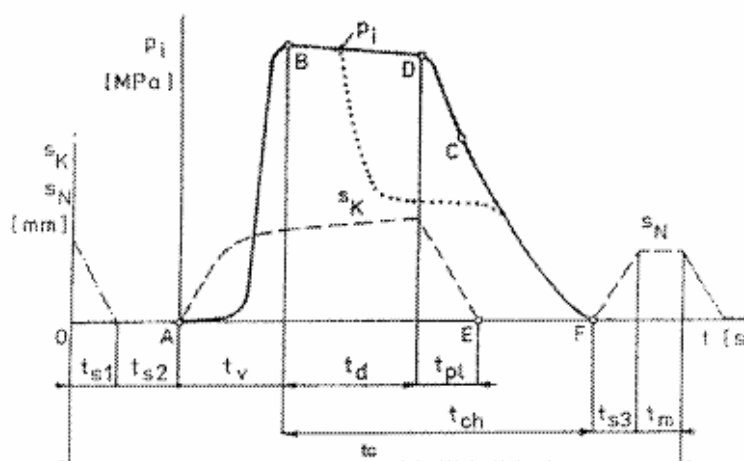
Princip je takový, že určená dávka plastu v podobě granulí je roztavena v tavící komoře a jako tavenina je vstříknuta vysokou rychlostí do dutiny formy. Po vyplnění dutiny formy vlivem ochlazování ztuhne, forma se otevře a výstřik se pomocí vyhazovacího zařízení vyjme. (7)



Obr. 5.1 Princip vstřikování plastů (22)

5.1 Vstřikovací cyklus

Dle zpracovaného plastu lze vstřikovací cyklus znázornit závislostí tlaku v dutině formy na čase. Tento průběh znázorňuje tzv. tlakový diagram. (7)



Obr. 5.2 Tlakový diagram (7)

A – začátek vstřikování, B – konec plnění formy a začátek dotlaku, D – konec dotlaku, E – konec plastikace, F – otevření formy

s_K – pohyb šneku, s_N – pohyb formy, p_i – vnitřní tlak ve formě, t_{s1} – doba uzavření formy, t_{s2} – doba přísunu plastikační a vstřikovací jednotky, t_v – doba vstřikování, t_d – doba dotlaku, t_{pl} – doba plastikace, t_{ch} – doba chlazení, t_{s3} – doba otevření formy a vyhození výstřiku, t_m – doba prodlevy, t_c – doba vstřikovacího cyklu

Časové úseky jsou ovlivněny především geometrií výstřiku a technologickými podmínkami, a proto je časová délka jednotlivých úseků různá.(7)

5.1.1 Jednotlivé fáze

5.1.1.1 Dávkování a plastikace

Dávkování představuje přesně určenou dávku taveniny, která umožní naplnění dutiny formy a následné doplňování během smršťování výstřiku při chlazení. (10)

Plastikace slouží k vytvoření homogenní taveniny plastu pomocí šneku. Granulát plastu padající z násypky se taví v tavném válci, pomocí šneku, který se otáčí a posouvá zpět, tavenina hněte a homogenizuje se. Následně je dopravena do prostoru válce před čelo šneku. Homogenitu taveniny ovlivňuje také konstrukce a otáčky šneku, zpětný tlak popř. množství vstřikované dávky. (8)

5.1.1.2 Vstřikování

Představuje vstřiknutí taveniny do uzavřené dutiny formy a její plnění axiálním posunem šneku. (8)

5.1.1.3 Dotlačování

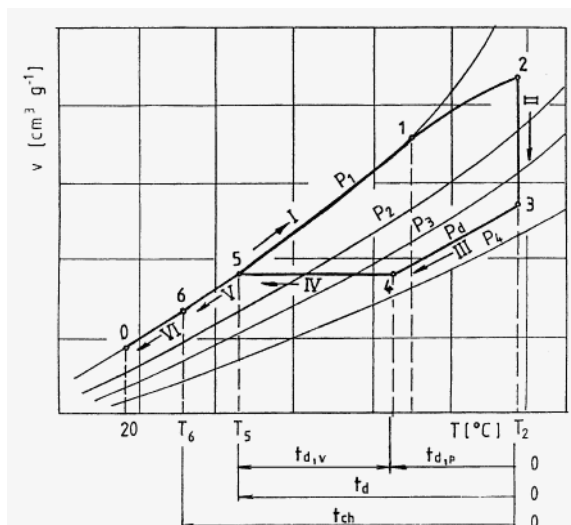
V okamžiku naplnění formy začíná stlačování taveniny a tím prudký nárůst tlaku ve formě a snížení vstřikovací rychlosti. Nastává tlaková špička, kdy tento tlak převyšuje nastavenou hodnotu. Za tohoto stavu získá tuhnoucí hmota na povrchu větší hustotu vyvolávající anizotropii vlastností výstřiku. Proto se vstřikovací tlak před dosažením tlakové špičky musí včas snížit na dotlačovací.

Dotlak umožňuje nahradit úbytek materiálu vlivem smršťování při chlazení a má velký vliv na vlastnosti výstřiku. Přepínání mezi těmito tlaky se řídí nejčastěji na základě tlaku ve formě nebo hydraulice. (8)

5.1.1.4 Chlazení taveniny ve formě

Probíhá už během vstřikování především pak s dotlačováním. Ovlivňujícími faktory jsou např. tvar výstřiku a tloušťka stěn, vstřikovací rychlost, průběh dotlaku, teplota taveniny aj. (8)

Dotlačování a chlazení je zejména pro přesné vstřikování řízeno pomocí p-v-T diagramu. (8)



Obr. 5.3 Diagram p-v-T amorfního polymeru (7)

I – ohřev a plastikace, II – plnění dutiny formy a komprese hmoty, III – dotlačování, IV - chlazení

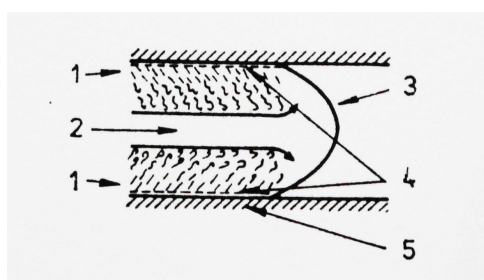
5.1.1.5 Vyjímání výstřiku z formy

Při otvírání formy je ochlazený výstřik z dutiny vyjmut mechanickým zařízením. Vyjmutí je ovládáno mechanicky, hydraulicky nebo pneumaticky. (8)

5.2 Vlastnosti výstřiků

5.2.1 Orientace

Celkový stupeň orientace makromolekul ve výstřicích z termoplastů způsobuje anizotropické vlastnosti, zvětšování hodnot mechanických vlastností ve směru toku taveniny a snížení ve směru kolmém na tok. Závisí na gradientu rychlosti a viskozitě taveniny. Orientace je také zdrojem vnitřního pnutí a má velký vliv na rozměrovou stabilitu výstřiku. (7)



Obr. 5.4 Vzrůst orientace polymerních řetězců směrem k povrchu výstřiku (8)

1 – viskozní oblast se vzrůstající orientací, 2 – horké jádro s malou orientací, 3 – rychlostní tokový profil taveniny, 4 – povrchová vrstva s malou orientací, 5 – ochlazovaná stěna

5.2.2 Smrštění

Při ochlazování plastu ze zpracovatelské teploty na normální teplotu dochází ke zmenšování rozměrů výstřiku, k tzv. smrštění. Rozlišuje se smrštění

ve formě a dodatečné (zmenšování rozměrů vlivem času). Na smrštění má vliv mnoho parametrů, nejvýznamnější jsou homogenita taveniny, teplota formy, doba působení tlaku, vstřikovací a dotlačovací tlak. Na smrštění má také značný vliv tloušťka stěny výstřiku. U amorfních plastů se smrštění pohybuje v rozmezí 0,3–0,5 % zatímco u semikrystalických 0,8–4 %. (8)

5.2.3 Vnitřní pnutí

Je průvodním jevem při vstřikování termoplastů. Vnitřní pnutí, především vnitřní pnutí z orientace makromolekul a tepelná pnutí, jsou zdrojem trhlin, a proto je důležité, aby měly na vlastnosti výstřiku pokud možno co nejmenší vliv. (7)

5.3 Vstřikovací stroje

Sestávají z těchto částí (10):

- a) plastikační a vstřikovací jednotka
- b) uzavírací jednotka
- c) řídicí a regulační jednotka (řídicí systém stroje)

5.3.1 Plastikační a vstřikovací jednotka

Funkcí plastikační jednotky je zajistit, aby byl plast v podobě granulí za pomoci šneku převeden na materiálově a teplotně homogenní taveninu. Následně je tato tavenina vstřikovací jednotkou dopravena pod vysokým tlakem a velkou rychlostí do uzavřené formy. (8)

Podle plastikačního systému se stroje rozlišují na *pístové*, *šnekové* a *kombinované*. V dnešní době jsou nejvíce využívány stroje šnekové, neboť úspěšně odbourávají všechny důležité nedostatky strojů pístových. Šnekový stroj dosahuje oproti pístovému větší plastikační výkon, vyšší vstřikovací rychlost, vyšší homogenitu a teplotu taveniny, kratší výrobní cyklus, menší tlakové ztráty aj.). (7)

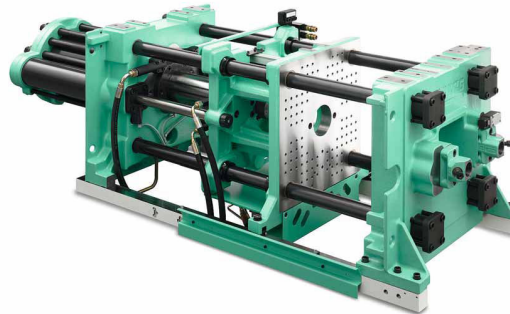


Obr. 5.5 Plastikační a vstřikovací jednotka firmy Arburg (16)

Podle vzájemné polohy obou jednotek se dále dělí vstřikovací stroje na *horizontální*, *vertikální* a *úhlové*. (7)

5.3.2 Uzavírací jednotka

Zajišťuje co nejrychleji uzavírání a otevírání formy a její pevné uzamknutí během vstřikovacího procesu. V praxi se nejčastěji používá hydraulický uzávěr s dvojitým ovládním a závorováním. Podobnou alternativou tohoto uzávěru je kombinovaný uzávěr, kde rychlé uzavírání a závorování zajišťuje kloubový mechanismus. Další možností uzavírání tvoří kloubové uzávěry, které se nejvíce používají u strojů se střední gramáží. (7)



Obr. 5.6 Hydraulická uzavírací jednotka s vyhazovačem firmy Arburg (16)

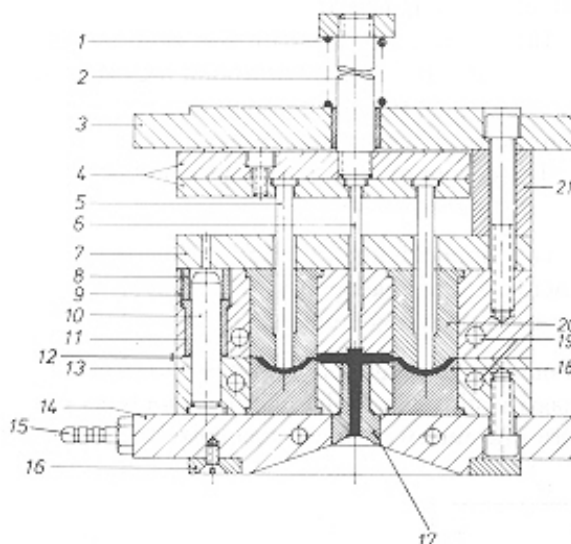
5.3.3 Řídicí a regulační jednotka

Řídí provoz stroje a zajišťuje dodržování nastavených technologických parametrů jako je vstřikovací tlak, tvářecí tlak, rychlost vstřikování, teplota taveniny, dotlak, teplota formy aj. (7)

6 KONSTRUKCE VSTŘIKOVACÍCH FOREM

Vstřikovací forma je nástroj, který umožní s použitím vhodného vstřikovacího stroje získat plastový výrobek požadovaného tvaru. Vstřikovací formy jsou často značně složitá technická zařízení, od kterých se vyžaduje zejména přesnost, kvalita, spolehlivost, produktivita a automatizace výroby.

V dnešní době je většina forem složena ze stavebnicového systému standardních komponent, kdy samotná konstrukce je sestavena z různých paralelních desek s danou funkcí. Systém doplňují součásti, které jsou v těchto deskách vloženy nebo k nim připojeny. Jsou to různé spojovací součásti, vodící sloupky a pouzdra, vtokový, temperanční (chladicí) a vyhazovací systém aj. Vlastní konstrukce tvarové dutiny se řídí zejména funkčními, tvarovými a vzhledovými požadavky výrobku, které ještě doplňují pravidla technologičnosti konstrukce. (11)



Obr. 6.1 Konstrukce vícenásobné vstřikovací formy (4)

- 1–pružina zajišťující zpětný chod vyhazovacího systému, 2–vyhazovací tyč, 3–upínací deska, 4–opěrná a kotevní deska vyhazovačů, 5–vyhazovače, 6–vyhazovač vtoku, 7–mezideska, 8–distanční pouzdro, 9–kotevní deska pro tvárníky, 10–vodící sloupek, 11–vodící pouzdro, 12–dělicí rovina, 13–kotevní deska pro tvárnice, 14–upínací deska, 16–středící kroužek, 17–vtoková vložka, 18–tvárnice, 19–chladicí kanálky, 20–tvárník, 21–rozpěrka

6.1 Násobnost forem

Násobnost forem značně ovlivňuje hospodárnost vstřikování. (8) S ohledem na dodržení kvality a přesnosti výstřiku se často požaduje násobnost volit co nejmenší. Jednónásobné formy se používají převážně u tvarově náročných a velkorozměrných výstřicích. (7) Vícenásobné formy je možné navrhovat při velkých sériích výrobků s použitím vhodného vstřikovacího stroje. (8)

Realizace vícenásobných forem je posuzována na základě parametrů (8):

- požadované množství a termín dodávky
- celkové výrobní náklady jednonásobné a vícenásobné formy
- přidržovací síle strojů, vstřikovací a plastikační kapacitě
- náklady na provoz stroje s menší a větší vstřikovací kapacitou
- doba vstřikovacího cyklu pro jednonásobnou a vícenásobnou formu

6.2 Vtokové systémy

Zajišťují vedení proudu taveniny od vstřikovacího stroje do dutiny formy. Uspořádání vtokového systému je ovlivněno násobností a konstrukcí formy. (7) Při vstřikování je důležité, aby dutina formy byla naplněna taveninou plastu rovnoměrně a co nejrychleji bez velkých tlakových a teplotních ztrát. (1) U vícenásobných forem je vtokový systém složen z hlavního vtokového kanálu, rozváděcích kanálů a ústí vtoku. (8)

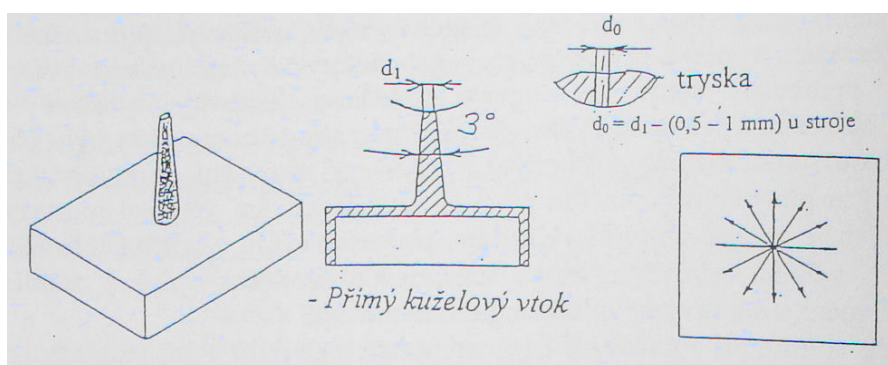
Tvar a rozměry vtoku společně s umístěním ústí do dutiny ovlivňuje (7):

- rozměry, vzhled a vlastnosti výstřiku
- spotřebu plastu
- pracnost začištění vtoku na výstřiku
- energetickou náročnost výroby

6.2.1 Studené vtokové systémy

6.2.1.1 Plný (kuželový) vtok

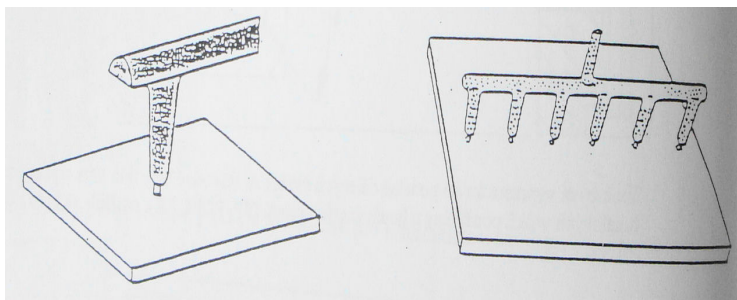
Nemá zúžené ústí, je vhodný pro tlustostěnné výstřiky jednonásobných forem se symetricky uloženou dutinou. Umožňuje delší dobu dotlačování a způsobuje po vtoku viditelnou stopu na výstřiku vlivem nesnadného oddělení. (7)



Obr. 6.2 Kuželový vtok (5)

6.2.1.2 Bodový vtok

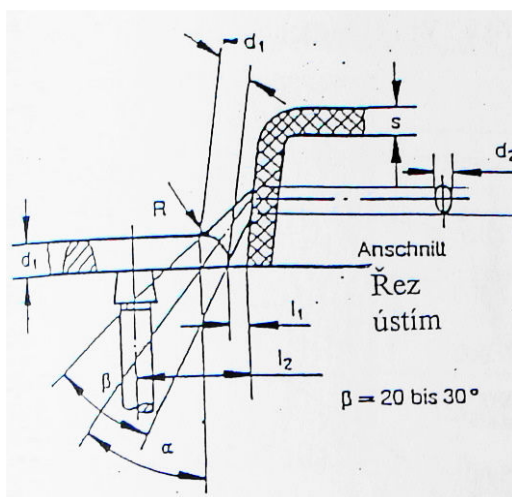
Má kruhový průřez se zúženým ústím. Vychází z vtokového kanálu, z předkomůrky či rozváděcích kanálů. Odtržení vtokového ústí je provedeno před otevřením formy. Uplatnil se zejména u třideskových forem. (7)



Obr. 6.3 Bodový vtok (5)

6.2.1.3 Tunelový vtok

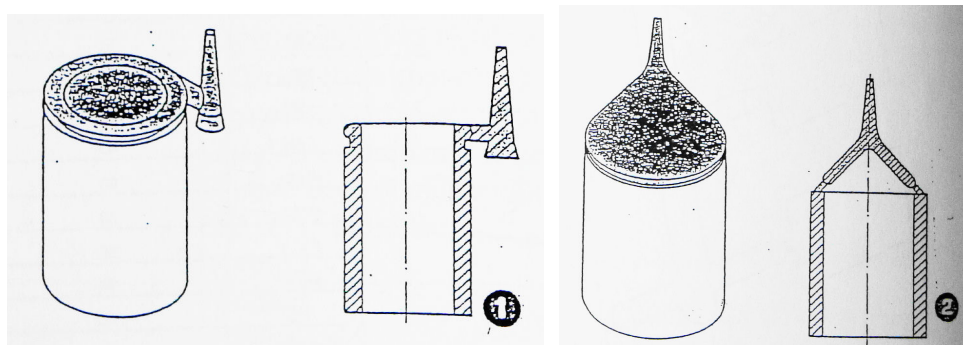
Je náročný na výrobu. Vtokový zbytek je od výstřiku oddělen pomocí ostré hrany při vyhazování výstřiku po otevření dvoudeskové formy. (7)



Obr. 6.4 Tunelový vtok (5)

6.2.1.4 Deštníkový a prstencový (kruhový) vtok

Používají se pro zhotovení kruhových dílů popř. trubek. Ústí vtoku mají velmi tenké (0,3 mm) a zamezují tvorbu studených spojů. (8)



Obr. 6.5 1 - prstencový vtok, 2 – deštníkový vtok (5)

6.2.1.5 Štěrbínový vtok

Je určen ke snížení orientace a pnutí u velkých a plochých výstřicích. Ústí vtoku je jako u předcházejících vtoků velmi tenké (0,3 mm). (8)



Obr. 6.6 Boční štěrbinový vtok (5)

6.2.1.6 Rozváděcí kanály

Jsou voleny tak, aby se jednotlivé dutiny vícenásobné formy plnily taveninou rovnoměrně. Jejich délka by měla být co nejkratší s ohledem na tlakové popř. časové ztráty a velikosti vtokových zbytků. (8)

6.2.2 Horké vtokové systémy

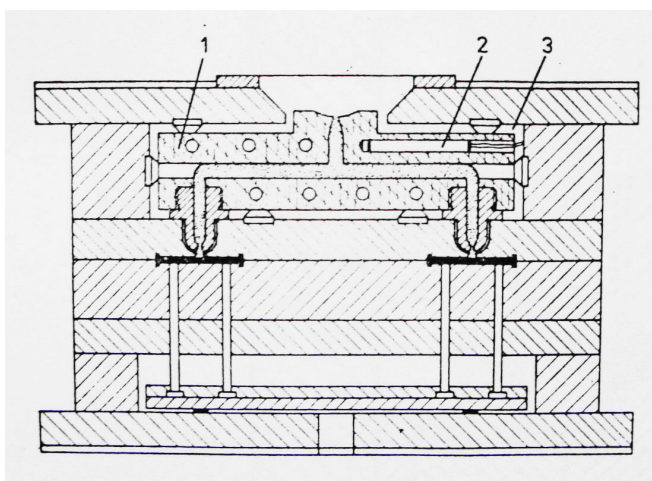
Horké vtokové systémy se používají zejména ve velkosériové a hromadné výrobě. Formy vyžadují větší tuhost a přesnost vlivem tepelného a mechanického zatížení. Tím se jejich pořizovací cena zvýší, a proto se v krátkodobém provozu příliš nepoužívají. (7)

K jejich přednostem patří (8):

- ušetření polymeru vtokových zbytků
- není nutné konstruovat třideskové formy
- zkrátí se vstřikovací cyklus
- odpadá dodatečné odstranění vtokových zbytků

6.2.2.1 Formy s vyhřívanými rozváděcími kanály

Rozváděcí část tvoří samostatný vyhřívaný blok, který udržuje veškerý obsah plastu v rozváděcích kanálech neustále roztavený. Tento blok je od dalších částí formy tepelně izolovaný. (8)

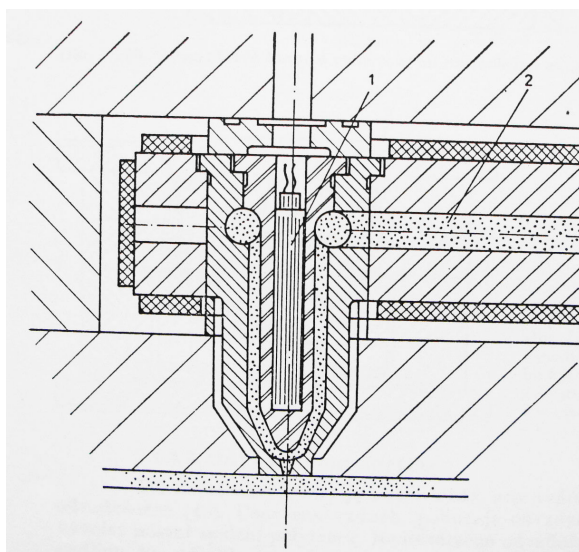


Obr.6.7 Forma s vyhřívánými rozváděcími kanály (8)

1 – blok vyhříváných rozváděcích kanálů, 2 – el. odporové vytápění, 3 – vzduchová mezera

6.2.2.2 Vyhřívání tryska horkých rozváděcích kanálů

Je určena k teplotní stabilizaci při propojení vstřikovacího stroje s dutinou formy. Má vlastní topný článek nebo je ohřívána nepřímou. Výrazně ovlivňuje technologické podmínky vstřikování. (7)



Obr.6.8 Vyhřívání tryska s vyhřívánými rozváděcími kanály (8)

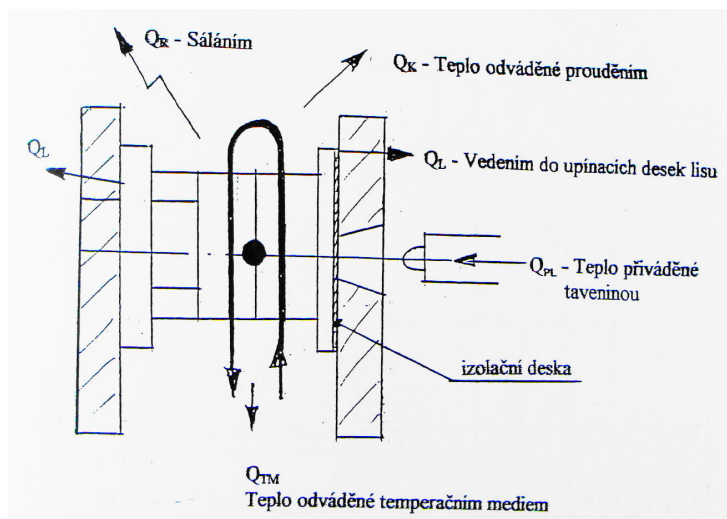
1 – el. odporové těleso, 2 – rozváděcí kanál

6.3 Temperování

Při vstřikování není teplota forem zejména jejich tvarových dutin konstantní. Temperační systém se používá pro ochlazování (temperování) nebo ohřívání formy na rovnoměrnou teplotu. Dále má vliv na plnění tvarové dutiny taveninou plastu a zajišťuje její optimální tuhnutí a chladnutí.

Temperační systém je složen ze soustavy kanálů a dutin, kterými proudí kapalina udržující teplotu temperovaných částí na stanovené hodnotě. Je

umístěn buď v pevné vtokové nebo pohyblivé části formy. Při zpracování plastů o vyšší teplotě se formy nejčastěji ohřívají pomocí elektrického vytápění. Jako kapalina se používá voda (do 90°C) nebo olej (nad 100°C). (7)



Obr.6.9 Tepelná bilance vstříkovací formy (5)

6.4 Odvzdušnění

Vhodná poloha odvzdušňovacího místa a přesné rozměry kanálů se často stanovují až při vlastním zkoušení formy. Poloha odvzdušnění je z tvaru výstřiku občas patrná, ale jindy zase těžko stanovitelná. Velikost průřezů kanálů se volí s ohledem, aby nedošlo k zatékání plastu. Uzavřený vzduch může způsobit na výstřicích spálené místo, nedostříknutí nebo propadliny. Často však stačí uniknout dělicí rovinou, vůlí mezi pohyblivými částmi apod. (7)

6.5 Vyhazování výstřiků

Po smrštění plastu a otevření formy zůstává výstřik pevně ulpívat většinou na tvárníku nebo tvárnici. K vyjmutí výstřiku se používá vyhazovací systém. Forma je zkonstruována tak, aby výstřik ulpíval na straně, kde je vyhazovací systém umístěn. (7)

7 MOŽNÉ VARIANTY ŘEŠENÍ

7.1 Ozubená kola z reaktoplastů

Výroba ozubení je realizována odvalovacím způsobem frézováním nebo obrážením, přičemž odvalovacím obrážením lze docílit přesnější a symetrický tvar zubů. (2) Jako materiál se nejčastěji používají vrstvené kompozity na bázi bavlněných tkanin a fenolických pryskyřic, kde polotovar k obrábění je ve tvaru tenkých desek. Při požadavku větší tepelné odolnosti se používají kompozity na bázi skleněných vláken a epoxidové pryskyřice. U více zatížených kol se na boky připevňují pomocí šroubů či nýtů plechová nebo kovová obložení. Ozubená kola z reaktoplastů jsou vhodná především pro kusovou výrobu. (15)

7.2 Ozubená kola z termoplastů

Výroba ozubených kol vstřikováním je z hlediska výrobních nákladů velmi vhodná pro velkosériovou výrobu kol malých rozměrů s různými geometrickými tvary ozubení. (14) Nejčastěji se vyrábějí čelní kola s přímým nebo šikmým ozubením, kuželová kola s přímým ozubením a šneková kola se šnekem. (15) Další možností konstrukčního řešení je použití ocelového nebo litinového náboje a disku kola, na které se nastříkne plastový ozubený věnec. (2) Vhodný materiál termoplastů se volí dle konkrétních požadovaných vlastností na funkčnost jednotlivých ozubených kol. (15)

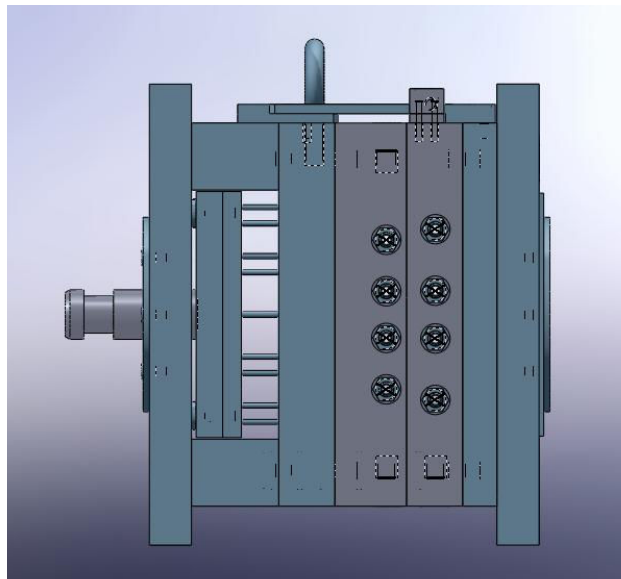
7.3 Výběr optimální varianty

Jako nejvhodnější varianta výroby plastového ozubeného kola je jednoznačně použít vhodný materiál termoplastu a výrobu realizovat vstřikováním. Ozubená kola z termoplastů mají oproti kolům z reaktoplastů značné množství příznivějších vlastností a výroba plastových ozubených kol vstřikováním je hospodárnější a efektivnější než výroba obrážením.

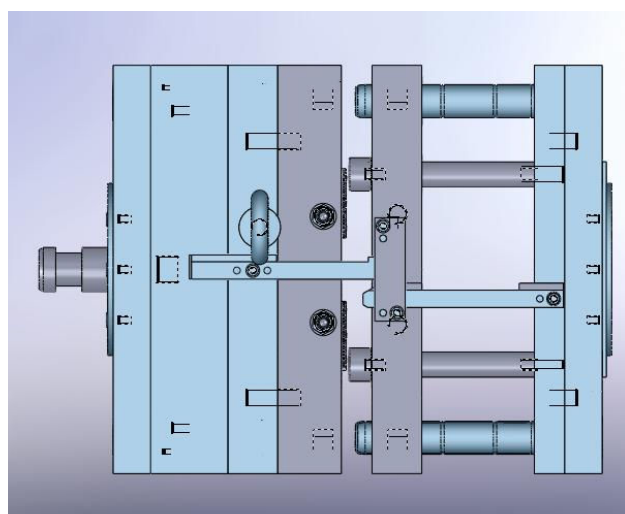
8 TECHNOLOGICKÝ POSTUP

8.1 Vtokový systém vstříkovací formy

Vzhledem k větší konstrukční náročnosti a větších nákladů na formu s horkou vtokovou soustavou je volena varianta se studeným vtokovým systémem. Koncepce vstříkovací formy je třídesková s bodovým vtokem, který umožní automatické odtržení vtokového zbytku od výstřiku ve formě při otevírání v dělicí rovině II. Otevření této dělicí roviny je ovládáno tažným západkovým systémem vybrané z normálií firmy Hasco.



Obr. 8.3 Třídesková forma pro ozubené kolo



Obr. 8.2 Pohled s hora v otevřené poloze

8.2 Charakteristika ozubených kol z plastu

Plastová ozubená kola se využívají pro přenosy menších sil při nižších obvodových rychlostech. Tyto dvě vlastnosti doplňují často ještě požadavky na provoz bez mazání, tichý chod, dobré tlumení rázů a vibrací a odolnost proti korozi. (2)

8.3 Vhodný výběr materiálu

Volba plastového materiálu ozubených kol se v některých případech stává obtížnou záležitostí. Při záběru ozubeného soukolí s evolventním ozubením jsou zuby vystaveny dynamickému zatížení (smykové tření na bocích zubu, kontaktní tlak a ohyb v patě zubu). Proto vybraný druh plastu musí mít takovou kombinaci vlastností, které splňují prioritní požadavky pro konkrétní případ použití. (14)

8.3.1 Požadované vlastnosti na materiály ozubených kol (14)

- vysoká odolnost proti únavě
- odolnost proti otěru
- dobrá rozměrová stabilita při změnách teploty a vlhkosti
- schopnost tlumení rázů a vibrací
- velká rázová a vrubová houževnatost
- minimální tření
- odolnost proti zvýšeným teplotám, vlhkosti, mazivům, rozpouštědlům a jiným chemikáliím používaných ve strojírenství

8.3.2 Příklady používaných materiálů

Obecně nejčastěji používané materiály ozubených kol jsou PA6, PA 66, PA 11, PA 46, POM-C, POM-H, PET, PBT, PEEK, PEI. Pro zlepšení kluzných vlastností jsou některé polymery modifikovány (např. pevnými mazivy, siřníkem molybdeničitým či práškovým PTFE). (15)

8.3.3 Volba plastového materiálu

Pro ozubené kolo, které je použito v jemné mechanice, je volen materiál POM-C s obchodním označením Hostaform C 13021.

Přednosti materiálu Hostaform C (20):

- vysoká houževnatost (do -40°C)
- vynikající pružnost
- vysoká tvrdost a tuhost
- velmi dobrá tepelná odolnost
- dobré kluzné vlastnosti
- nízká absorpce vody a tím i vysoká rozměrová stabilita
- dobrá odolnost proti korozi za napětí
- dobré dielektrické vlastnosti

- dobrá chemická odolnost (např. vůči palivům, rozpouštědlům a silným zásadám)
- dobrá zpracovatelnost

Nevýhody materiálu Hostaform C (20):

- nízká odolnost vůči silným kyselinám a oxidačním prostředkům

Fyzikální vlastnosti (19):

$$\rho = 1410 \text{ kg.m}^{-3}$$

$$S_p = 2 \%$$

$$S_{pr} = 1,8 \%$$

ρ – hustota

S_p – podélné smrštění

S_{pr} – příčné smrštění

Mechanické vlastnosti (19):

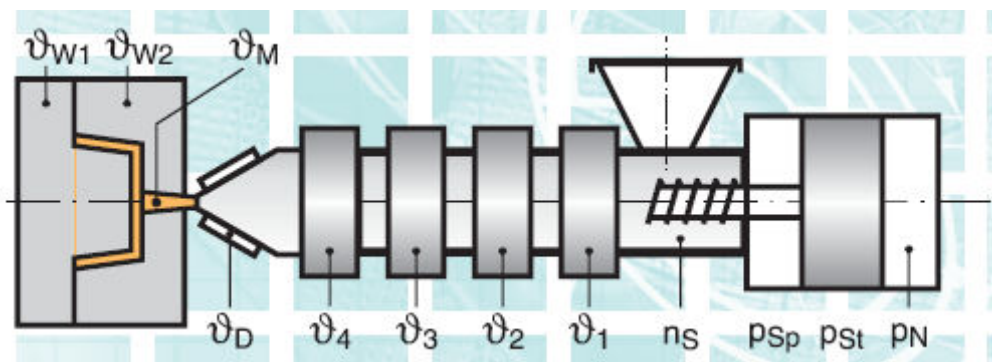
$$E = 2900 \text{ MPa}$$

$$R_e = 65 \text{ MPa}$$

E – modul pružnosti v tahu

R_e – mez kluzu

8.4 Zpracovatelské podmínky při vstřikování Hostaformu C (25)



Obr. 8.3 Podmínky vstřikování Hostaformu C (25)

Provozní teploty (25):

$$t_1 = 170-180 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$t_2 = 180-190 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$t_3 = 190-200 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$t_4 = 190-210 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$t_D = 190-210 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$t_M = 190-210 \text{ }^\circ\text{C (max. 230 }^\circ\text{C)}$$

$$t_{W1} = 80-120 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$t_{W2} = 80-120 \text{ }^\circ\text{C}$$

$t_1 - t_4$ – teplota válce

t_D – teplota trysky

t_M – teplota taveniny

t_{W1}, t_{W2} – teplota stěny formy

Rozsah použitelnosti tlakových parametrů (25):

$p_{Sp} = 60-120 \text{ MPa}$ (typický rozsah je 80-100 MPa)

$p_N = 60-120 \text{ MPa}$ (typický rozsah je 80-100 MPa)

$p_{St} = 0-4 \text{ MPa}$ (typický rozsah je 1-4 MPa)

Voleno: $p_{Sp} = 100 \text{ MPa}$

$p_N = 80 \text{ MPa}$

$p_{St} = 4 \text{ MPa}$

p_{Sp} – vstřikovací tlak

p_N – dotlak

p_{St} – zpětný tlak

Předsoušení materiálu (25):

$\vartheta_{Tr} = 120-140 \text{ }^\circ\text{C}$

$t_{Tr} = 3-4 \text{ hod}$

ϑ_{Tr} – teplota předsoušení granulátu

t_{Tr} – doba předsoušení granulátu

Druh konstrukce trysky (25):

- otevřená nebo uzavírací tryska

Max. doba prodlevy ve válci (25):

- 15 min při teplotě $\vartheta_M = 230 \text{ }^\circ\text{C}$

ϑ_M – teplota taveniny

8.5 Objem a hmotnost ozubeného kola

Objem ozubeného kola je stanoven pomocí programu SolidWorks 2008.

Fyzikální vlastnosti pro ozubené kolo_2_uprava (Part Configuration - Výchozí)

Výstupní souřadný systém: -- výchozí nastavení --

Hustota = 0.00 gramy na milimetry krychlový

Hmotnost = 6.95 gramy

Objem = 6946.81 milimetry krychlových

Plošný obsah = 7793.95 milimetry²

Těžiště: (milimetry)

X = 0.00

Y = 0.00

Z = 0.52

Hlavní osy setrvačnosti a hlavní momenty setrvačnosti: (gramy * milimetry čtverečných)

Vybrané z těžiště.

$I_x = (1.00, 0.00, 0.00)$ $P_x = 2304.04$

$I_y = (0.00, 1.00, 0.00)$ $P_y = 2304.04$

$I_z = (0.00, 0.00, 1.00)$ $P_z = 4559.04$

Momenty setrvačnosti: (gramy * milimetry čtverečných)

Pochází z těžiště a je zarovnaný s výstupním souřadným systémem.

$L_{xx} = 2304.04$ $L_{xy} = 0.00$ $L_{xz} = 0.00$

$L_{yx} = 0.00$ $L_{yy} = 2304.04$ $L_{yz} = 0.00$

$L_{zx} = 0.00$ $L_{zy} = 0.00$ $L_{zz} = 4559.04$

Momenty setrvačnosti: (gramy * milimetry čtverečných)

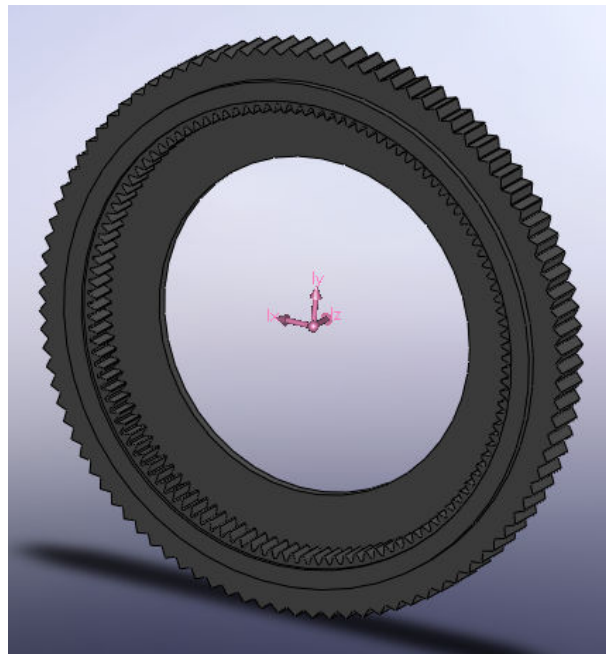
Získány z výstupního souřadného systému.

$I_{xx} = 2305.91$ $I_{xy} = 0.00$ $I_{xz} = 0.00$

$I_{yx} = 0.00$ $I_{yy} = 2305.91$ $I_{yz} = 0.00$

$I_{zx} = 0.00$ $I_{zy} = 0.00$ $I_{zz} = 4559.04$

Obr. 8.4 Hodnocení fyzikálních vlastností ozubeného kola



Obr. 8.5 Ozubené kolo

$$V = 6946,81 \text{ mm}^3 = 6,95 \text{ cm}^3$$

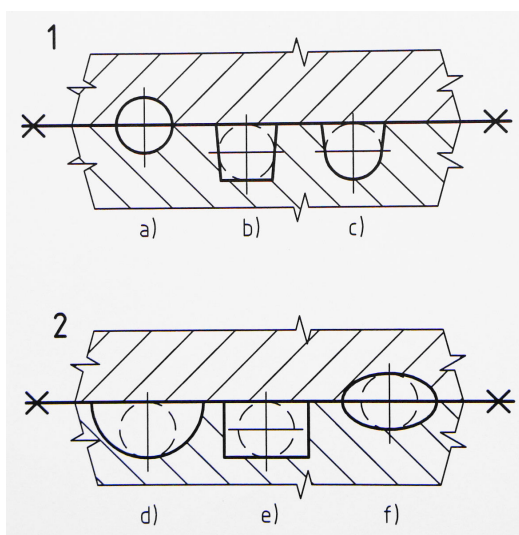
Hmotnost ozubeného kola (3):

$$m = \rho \cdot V = 1,41 \cdot 6,94681 = 9,795 \text{ g} \quad (8.1)$$

8.6 Uspořádání rozváděcích kanálků

Možné varianty tvarů průřezů rozváděcích kanálků jsou uvedeny na obr. 8.6. Pro rozvod taveniny k tvarovým dutinám formy je volen kruhový průřez rozváděcích kanálků a jejich uspořádání je patrné z obr. 8.9. Pro zamezení vzniku studeného spoje je tavenina přivedena do tvarové dutiny formy přes bodové ústí vtoku ve dvou místech tak, aby byla vyplněna rovnoměrně ve stejném čase.

Studený spoj je nežádoucí z toho důvodu, že v daném místě zapříčiňuje pokles mechanických vlastností a způsobuje vady na povrchu výstřiku. (12)



Obr. 8.6 Možné tvary průřezů rozváděcích kanálků
1 – funkčně výhodné, 2 – funkčně nevýhodné
a,f – výrobně nevýhodné; b,c,d,e – výrobně výhodné

Průměr D_k rozváděcího kanálku (10):

$$D_k = D' \cdot K_1 \cdot K_2 = 4,55 \cdot 1,11 \cdot 1,2 = 6,06 \text{ mm} \quad (8.2)$$

voleno: $D_k = 6 \text{ mm}$

Tab. 8.1 Tabulka koeficientů K_2 (10)

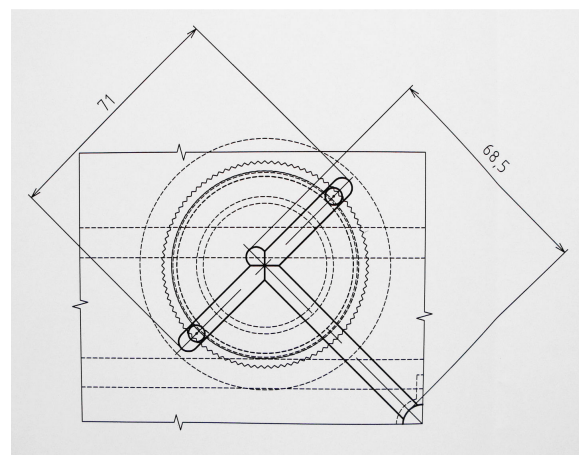
Délka kanálku L [mm]	K_2
0-20	1
20-40	1,04
40-70	1,08
70-100	1,12
100-150	1,2
150-200	1,29
200-250	1,39
250-300	1,51

Tab. 8.2 Tabulka koeficientů K_1 a průměrů D' (10)

s [mm]	1	1,5	2	2,5	3	3,5	4	4,5	5
m [g]									
0	2,5	3	3,5	4	4,5	5	5,5	6	6,5
< 10	2,55	3,06	3,56	4,05	4,55	5,04	5,54	6,03	6,53
10-16	2,59	3,09	3,59	4,09	4,57	5,06	5,56	6,05	6,54
16-25	2,63	3,14	3,64	4,13	4,62	5,1	5,59	6,08	6,56
25-40	2,72	3,22	3,73	4,21	4,69	5,16	5,64	6,12	6,6
40-63	2,84	3,35	3,86	4,34	4,79	5,25	5,72	6,19	6,66
63-100	3,04	3,55	4,08	4,53	4,96	5,4	5,85	6,3	6,76
100-160	3,36	3,88	4,42	4,85	5,24	5,64	6,06	6,48	6,91
160-250	3,84	4,38	4,94	5,33	5,66	6,01	6,38	6,76	7,14
250-400	4,65	5,21	5,8	6,13	6,35	6,61	6,9	7,21	7,53
400-700	6,26	6,87	7,53	7,73	7,77	7,82	7,95	8,12	8,3
K_1	1,19	1,15	1,13	1,12	1,11	1,1	1,09	1,08	1,07

Objem V_k rozváděcího kanálku (10):

$$V_k = \frac{\pi \cdot D_k^2}{4} \cdot L = \frac{\pi \cdot 6^2}{4} \cdot 140 = 3958,41 \text{ mm}^3 = 3,96 \text{ cm}^3 \quad (8.3)$$



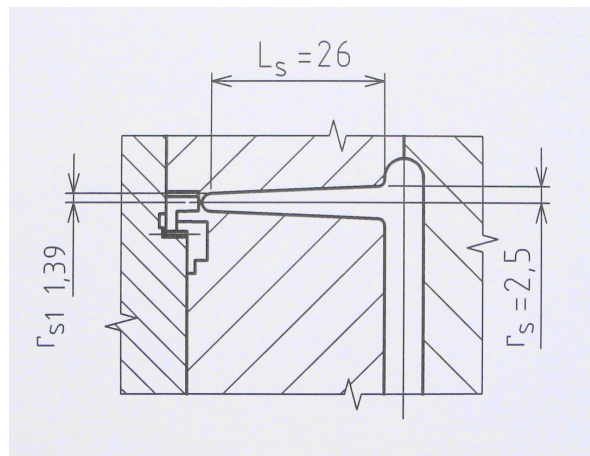
Obr. 8.7 Délkové rozměry rozváděcího kanálku

Objem V_s spojovacího (rozdávěcího) kanálku (3):

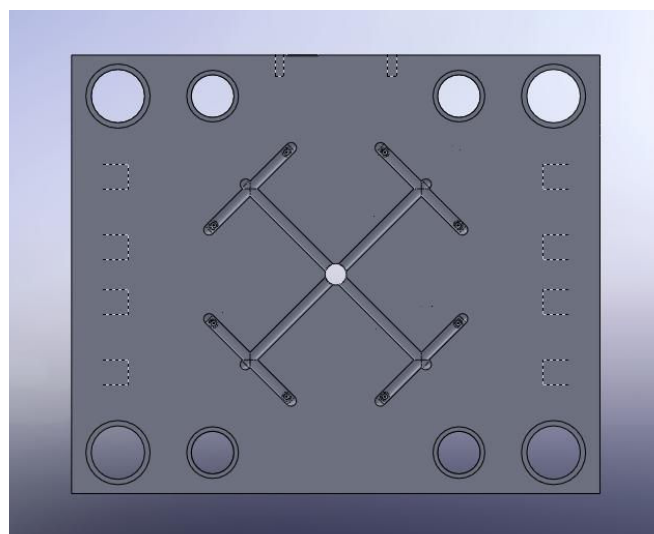
$$V_s = \frac{\pi \cdot L_s}{3} \cdot (r_s^2 + r_s \cdot r_{s1} + r_{s1}^2) = \frac{\pi \cdot 26}{3} \cdot (2,5^2 + 2,5 \cdot 1,39 + 1,39^2) \cdot 10^{-3} = \quad (8.4)$$

$$= 0,32 \text{ cm}^3$$

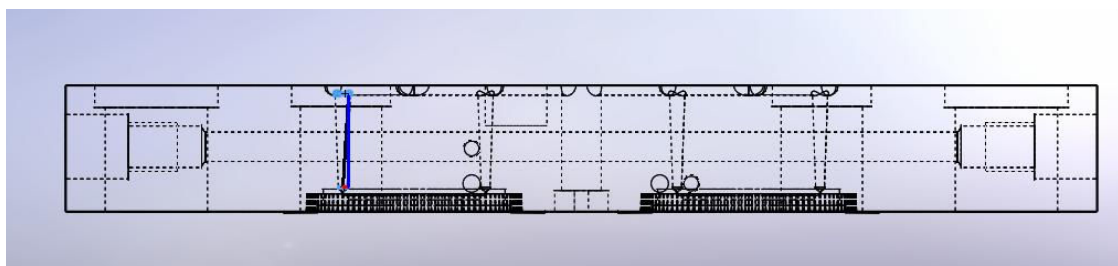
Spojovací (rozdávěcí) kanálky spojují tvarové dutiny formy s hlavními rozváděcími kanálky a jejich rozmístění je uvedeno na obr. 8.10.



Obr. 8.8 Rozměry spojovacího (rozdávěcího) kanálku



Obr. 8.9 Uspořádání rozváděcích kanálků

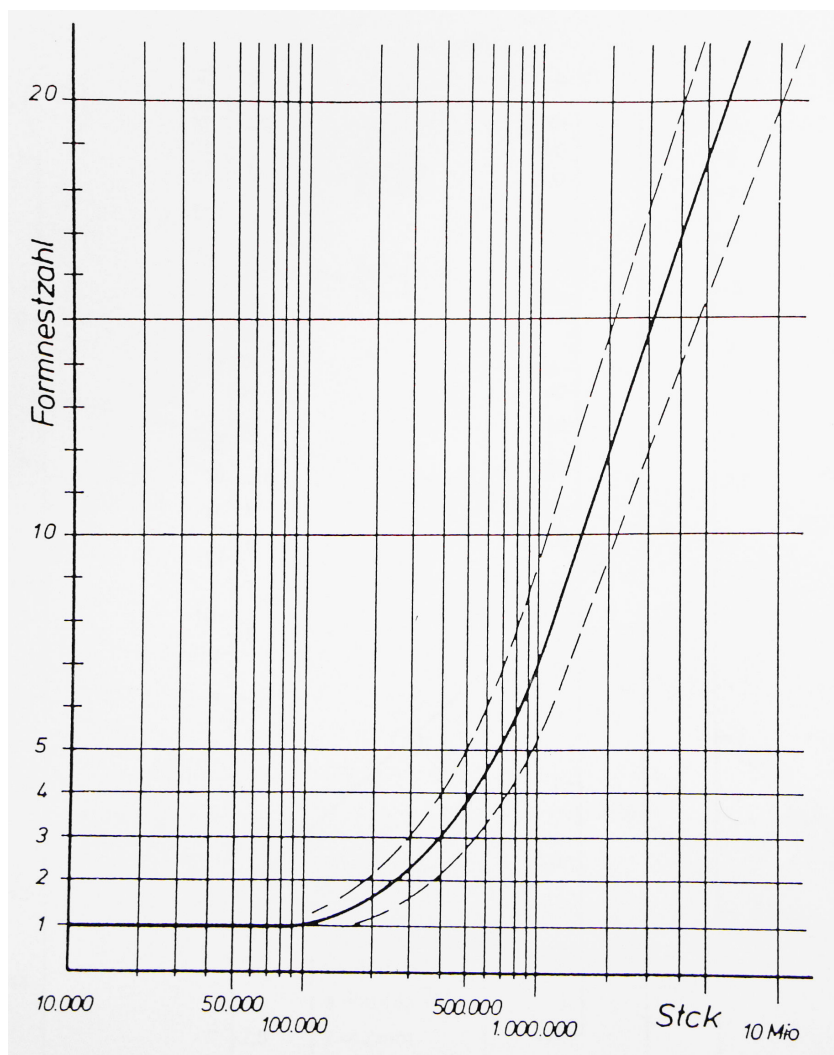


Obr. 8.10 Spojovací (rozdávěcí) kanálky

8.7 Násobnost formy

Stanovení praktické násobnosti formy n_p pomocí grafu pro velikost výrobní série $N = 500000$ ks (10):

$$n_p \doteq 4$$



Obr. 8.11 Graf závislosti násobnosti formy na počtech kusů výrobní dávky (10)

8.8 Výpočet časového průběhu (doby) vstřikovacího cyklu

Časový průběh vstřikovacího cyklu zahrnuje jednotlivé časové úseky potřebné na uzavření formy, přísunu plastikační a vstřikovací jednotky, vstřikování, chlazení, otevření formy, vyhození výstřiků a dobu prodlevy před následujícími vstřikovacími cykly. Po stanovení všech těchto časových úseků lze vyčíslit celkovou dobu jednoho vstřikovacího cyklu. (21)

Vstříkovaný objem (dávky) V_d (10):

$$V_d = n_p \cdot (V + V_K + 2 \cdot V_s) + 2,5 = 4 \cdot (6,95 + 3,96 + 2 \cdot 0,32) + 2,5 = 48,7 \text{ cm}^3 \quad (8.5)$$

Doba uzavření formy t_{s1} (10):

$$t_{s1} \doteq 1-1,5 \text{ s}$$

voleno: $t_{s1} = 1,25 \text{ s}$

Doba přísunu plastikační a vstříkovací jednotky t_{s2} (10):

$$t_{s2} \doteq 0,2-0,5 \text{ s}$$

voleno: $t_{s2} = 0,5 \text{ s}$

Doba vstříkování t_v stanovena pomocí tabulky (10):

$$t_v = f(V_d; \text{viskozita plastu})$$

voleno: $t_v = 0,7 \text{ s}$

Tab. 8.3 Tabulka doby vstříkování (10)

V_d [cm ³]	t_v [s]		
	nízkoviskozní materiál	středněviskozní materiál	vysokoviskozní materiál
1-8	0,2-0,4	0,25-0,5	0,3-0,6
8-15	0,4-0,5	0,5-0,6	0,6-0,75
15-30	0,5-0,6	0,6-0,75	0,75-0,9
30-50	0,6-0,8	0,75-1	0,9-1,2
50-80	0,8-1,2	1-1,5	1,2-1,8
80-120	1,2-1,8	1,5-2,2	1,8-2,7
120-180	1,8-2,6	2,2-3,2	2,7-4
180-250	2,6-3,6	3,2-4,5	4-5,5
250-500	3,6-4,8	4,5-6	5,5-7,5

Tab. 8.4 Tabulka viskozity materiálů (10)

Viskozita	vstříkovaný materiál
nízká	POM, PA 6, PA 6.6, PA 6.10, PA 11, ...
střední	PS, ABS, PPO, PP, PA 12, ...
vysoká	PMMA, PC, ...

Doba chlazení t_{ch} ve formě (10):

$$t_{ch} = \frac{s^2}{\pi^2 \cdot a_{eff}} \cdot \ln\left(\frac{8}{\pi^2} \cdot \frac{\vartheta_M - \vartheta_W}{\vartheta_E - \vartheta_W}\right) = \frac{3^2}{\pi^2 \cdot 0,058} \cdot \ln\left(\frac{8}{\pi^2} \cdot \frac{200 - 100}{130 - 100}\right) = \quad (8.6)$$

$$= 15,63 \text{ s}$$

$s = 3 \text{ mm}$

$a_{eff} = 0,058 \text{ mm}^2 \cdot \text{s}^{-1}$ (5)

s – tloušťka stěny ozub. kola

a_{eff} – součinitel teplotní vodivosti

Doba otevření formy t_{s3} (10):

$$t_{s3} \doteq 1 - 1,5 \text{ s}$$

voleno: $t_{s3} = 1,25 \text{ s}$

Doba vyhození výstřiku t_{s4} (21):

$$t_{s4} \doteq 0,5 \text{ s}$$

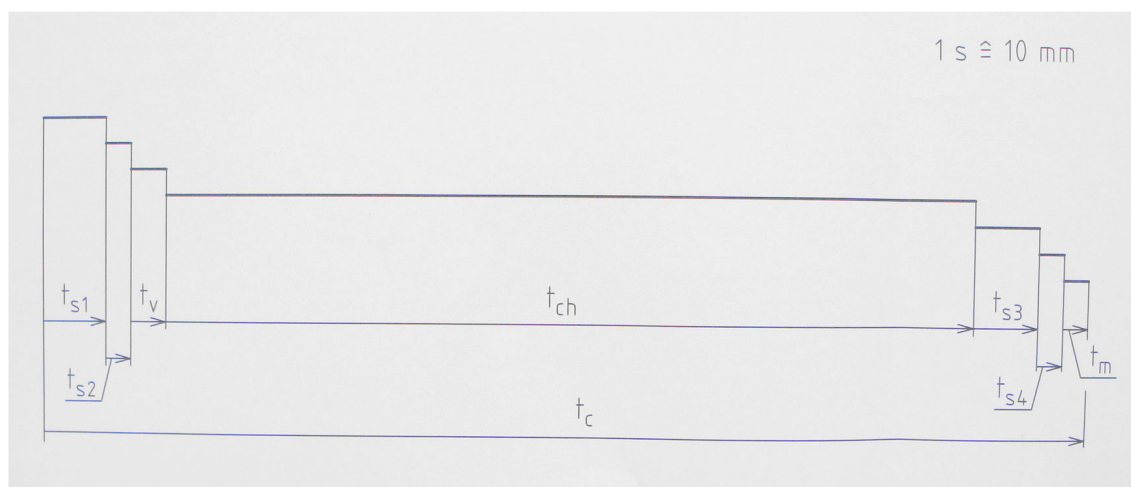
Doba prodlevy t_m (21):

$$t_m \doteq 0,5 \text{ s}$$

Doba vstřikovacího cyklu t_c (21):

$$t_c = t_{s1} + t_{s2} + t_v + t_{ch} + t_{s3} + t_{s4} + t_m = 1,25 + 0,5 + 0,7 + 15,63 + 1,25 + 0,5 + 0,5 = \quad (8.7)$$

$$= 20,33 \text{ s}$$



Obr. 8.12 Časový průběh vstřikování

8.9 Výběr vhodného vstřikovacího stroje

8.9.1 Parametry vstřikovacích strojů (8)

- vstřikovací rychlost
- vstřikovací kapacita
- plastikační kapacita
- přidržovací síla
- vstřikovací tlak

8.9.2 Výpočet parametrů vstřikovacího stroje

Termínová násobnost formy n_T (10):

$$n_T = \frac{N \cdot t_c}{\tau_p \cdot k} = \frac{500000 \cdot 20,33}{960 \cdot 0,8 \cdot 3600} = 3,68 \doteq 4 \quad (8.8)$$

$k = 0,7-0,9$

$\tau_p = 3$ měsíce

k – faktor využití pracovního času

τ_p – požadovaný termín dodávky

Při úvaze, že 1 měsíc má 20 pracovních dní a výroba bude probíhat ve dvousměnném provozu, bude požadovaný termín dodání $\tau_p = 960$ hod.

Minimální vstřikovací kapacita C_v stroje (10):

$$\begin{aligned} C_v &\geq 1,1 \cdot n_T \cdot (V + V_k + 2 \cdot V_s) \\ C_v &\geq 1,1 \cdot 4 \cdot (6,95 + 3,96 + 2 \cdot 0,32) \\ C_v &\geq 50,82 \text{ cm}^3 \end{aligned} \quad (8.9)$$

Průmětná plocha ozubeného kola v dělicí rovině II S_{pII} (10):

$$S_{pII} = \frac{\pi \cdot d_1^2}{4} - \frac{\pi \cdot d_2^2}{4} = \frac{\pi \cdot 61^2}{4} - \frac{\pi \cdot 36,1^2}{4} = 1898,93 \text{ mm}^2 \quad (8.10)$$

$d_1 = 61 \text{ mm}$

$d_2 = 36,1 \text{ mm}$

d_1 – velký průměr ozub. kola v dělicí rovině II

d_2 – malý průměr ozub. kola v dělicí rovině II

Minimální přidržovací síla F_p stroje (10):

$$\begin{aligned} F_p &= 1,1 \cdot n_T \cdot p_{Sp} \cdot (S_{pII} + D_K \cdot L) = 1,1 \cdot 4 \cdot 100 \cdot (1898,93 + 6 \cdot 140) \cdot 10^{-3} = \\ &= 1205,13 \text{ kN} \end{aligned} \quad (8.11)$$

Vhodný průměr šneku D_s (10):

$$\begin{aligned} 7,5 \cdot \sqrt[3]{V_d} < D_s < 10,5 \cdot \sqrt[3]{V_d} \\ 7,5 \cdot \sqrt[3]{48,7} < D_s < 10,5 \cdot \sqrt[3]{48,7} \\ 27,39 < D_s < 38,34 \end{aligned} \quad (8.12)$$

voleno $D_s = 35 \text{ mm}$

Otáčky šneku n_s (10):

$$n_s = \frac{v_s}{\pi \cdot D_s} = \frac{0,2 \cdot 10^3 \cdot 60}{\pi \cdot 35} = 109,13 \text{ min}^{-1} \quad (8.13)$$

$v_s = 0,1-0,3 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ (25)
voleno $v_s = 0,2 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$

v_s – obvodová rychlost šneku

Délka dráhy pohybu šneku L_s pro vstřikování dávky V_d (10):

$$\begin{aligned} V_d &= \frac{\pi \cdot D_s^2}{4} \cdot L_s \Rightarrow L_s \\ L_s &= \frac{4 \cdot V_d}{\pi \cdot D_s^2} = \frac{4 \cdot 48,7 \cdot 10^3}{\pi \cdot 35^2} = 50,62 \text{ mm} \end{aligned} \quad (8.14)$$

Pro délku dráhy pohybu šneku L_s platí podmínka (10):

$$\begin{aligned} D_s < L_s < 3 \cdot D_s \\ 35 < 50,62 < 3 \cdot 35 \\ 35 < 50,62 < 105 \end{aligned} \quad (8.15)$$

Vstřikovací rychlost v_s (10):

$$v_s = \frac{V_d}{t_v} = \frac{48,7}{0,7} = 69,57 \text{ cm}^3 \cdot \text{s}^{-1} \quad (8.16)$$

Průchod taveniny M ze stroje do formy (10):

$$M = \frac{V_d \cdot \rho}{t_c} = \frac{48,7 \cdot 10^{-6} \cdot 1410 \cdot 3600}{20,33} = 12,16 \text{ kg} \cdot \text{hod}^{-1} \quad (8.17)$$

Na základě uvedených parametrů vstřikovacích strojů a jejich následném výpočtu je volen vstřikovací stroj řady Allrounder C typového označení 420 od firmy Arburg. Stroj je vybaven řídicím systémem Selogica a vzhledem k možnostem širokého spektra použití je možné tento stroj využít k mnoha provozních aplikacím. (16)

8.9.3 Parametry stroje Allrounder 420 C (24)

- velikost stroje: 1300-350

Tab. 8.5 Porovnání hodnot vybraného vstřikovacího stroje s vypočítanými hodnotami (24)

Parametr	max. hodnota vstřik. stroje	vypočítané hodnoty
Vstřikovací rychlost [$\text{cm}^3 \cdot \text{s}^{-1}$]	128	69,57
Vstřikovací kapacita [cm^3]	139	50,82
Plastikační kapacita [$\text{kg} \cdot \text{hod}^{-1}$] PS	25	12,16
[$\text{kg} \cdot \text{hod}^{-1}$] PA 6.6	12,5	
Uzavírací (přidržovací) síla [kN]	1300	1205,13
Vstřikovací tlak [MPa]	250	voleno 100

Další parametry (24):

Vstřikovací jednotka: 350

Průměr šneku: 35 mm

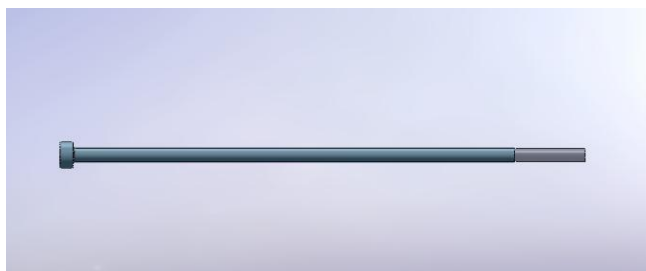


Obr. 8.13 Vstřikovací stroj Allrounder 420 C (23)

8.10 Vyhazování výstřiků

8.10.1 Mechanické vyhazování

- a) vyhazování pomocí kolíků – vyhazovač je umístěn proti ploše výstřiku, je výrobně jednoduchý, vhodné umístění kolíků (obvykle válcového tvaru) lehce vyjme výstřik bez poškození (7)



Obr. 8.14 Kolík pro vyhození ozubeného kola

- b) vyhazování stírací deskou, stíracím kroužkem – jde o stahování výstřiku z tvárníku po celém jeho obvodu, nezanechá stopy po vyhození, vhodné pro tenkostěnné výstřiky (7)
- c) trubkový vyhazovač – je speciálním případem stírání tlakem, používá se pro výstřiky pouzder (7)

8.10.2 Vzduchové vyhazování

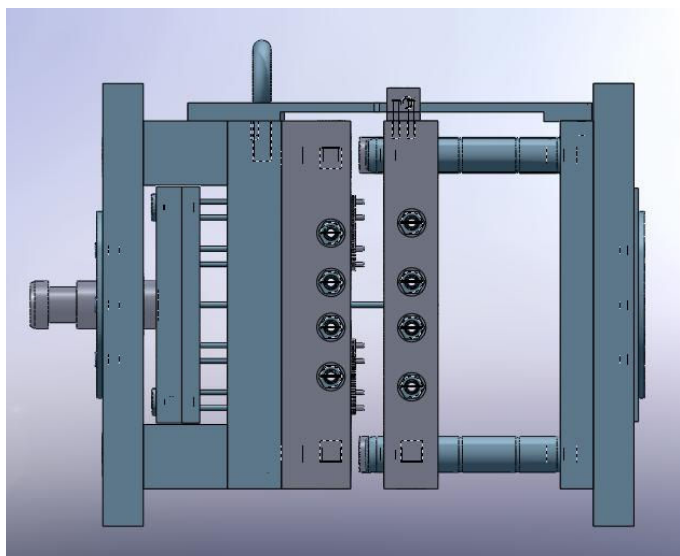
Používá se pro vyhazování hlubokých tenkostěnných výstřiků. Mezi výstřik a líc formy se přivádí stlačený vzduch a dochází k rovnoměrnému vyhození výstřiku. (7)

8.10.3 Hydraulické vyhazování

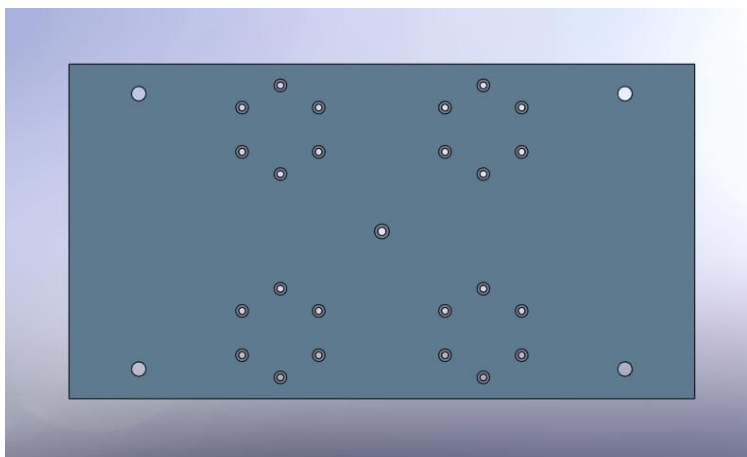
Slouží zejména k ovládání mechanických vyhazovačů. (7)

8.10.4 Vyhození výstřiků ozubených kol

Vyhození výstřiků je realizováno pomocí vyhazovacích kolíků o průměru 3,2 mm. Na vyhození jednoho výstřiku je použito 6 těchto vyhazovacích kolíků. Schématická ukázka vyhození výstřiků z formy je uvedena na obr. 8.15. Jednotlivé uspořádání polohy kolíků je vidět z obr. 8.16, kde jsou znázorněny polohy děr pro kolíky v opěrné vyhazovací desce formy. Výstřiky jsou od vtokového zbytku automaticky odděleny v místě bodového ústí vtoku do tvarové dutiny při otevření formy v dělicí rovině II, takže není nutné dodatečné oddělení vtokových zbytků od výstřiků.



Obr. 8.15 Schématická ukázka vyhození výstřiků z formy



Obr. 8.16 Uspořádání děr pro vyhazovací kolíky v opěrné vyhazovací desce

8.10.5 Vyhození vtokového zbytku

Po vyhození výstřiků následuje vyhození vtokového zbytku vyhazovacím kolíkem o průměru 3,7 mm.

8.11 Temperační systém

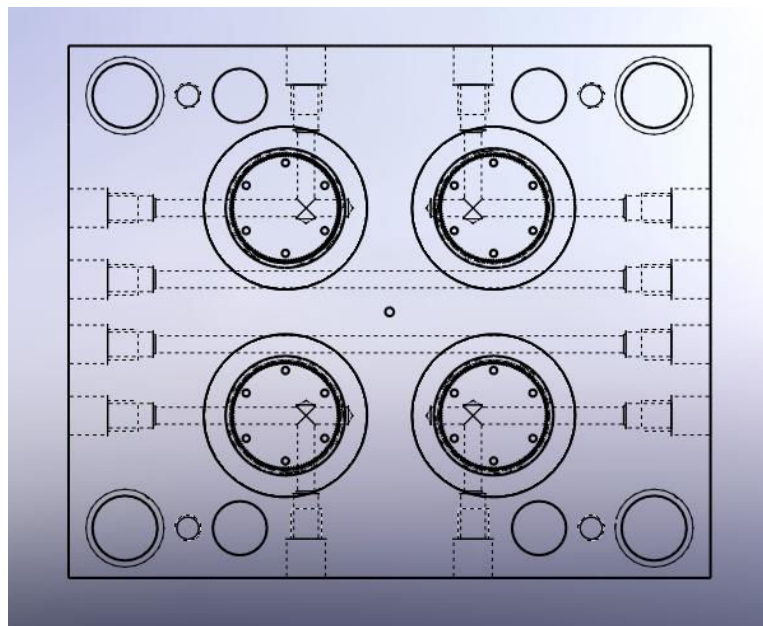
Tvar a velikost průřezu kanálů ovlivňuje druh plastu, velikost výstřiku a rozměry formy. Nejčastěji používaný je kruhový průřez. Při navrhování a uspořádání temperačních kanálů v tvarových deskách (tvárník, tvárnice) je nutné brát v úvahu určitá pravidla, které vedou k hospodárnějšímu temperování forem (7):

- kanály umístit co nejbližší k tvarové dutině formy při zachování její potřebné tuhosti,
- zajistit průtok chladicí kapaliny od nejteplejšího místa formy k nejchladnějšímu,

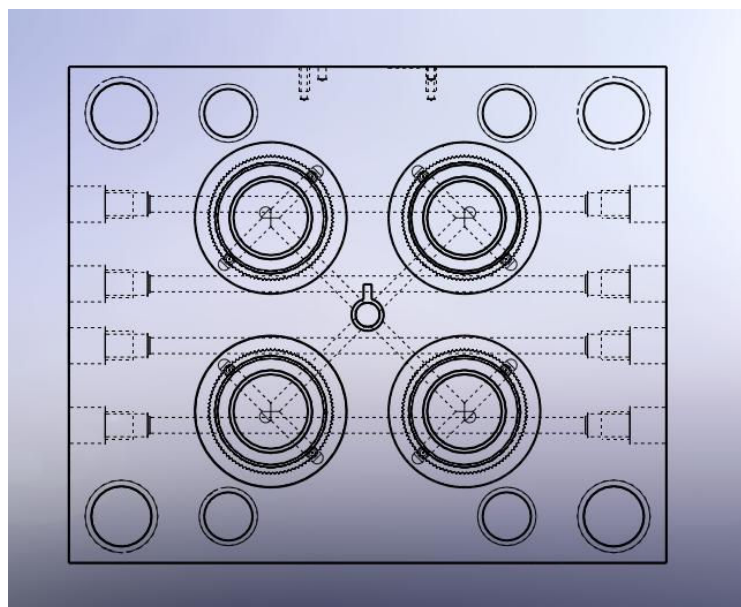
- kanály navrhovat tak, aby teplo bylo intenzivně odváděno u vtoku,
- kanály mají procházet dobře utěsněnými místy a tak, aby se daly větve různým způsobem propojit hadicemi,
- a další.

V praxi se často při navrhování temperačního systému využívá zkušeností konstruktéra forem a simulačních programů. (7)

Průřez temperačních kanálů je volen kruhový o průměru 9 mm. Jednotlivé uspořádání těchto kanálů v tvárníku a tvárnici je vidět na obr. 8.17 a obr. 8.18.



Obr. 8.17 Uspořádání temperačních kanálů – tvárník



Obr. 8.18 Uspořádání temperačních kanálů – tvárnice

8.12 Odvzdušnění formy

Pro odvzdušnění formy není nutno volit zvlášť konstrukci odvzdušňovacích kanálů, neboť vzduch z dutiny formy unikne přes pohyblivé části formy popřípadě dělicí rovinou.

9 EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ

Ekonomické zhodnocení výroby ozubeného kola vstřikováním pro výrobní sérii N zahrnuje jednotlivé náklady na materiál, výrobu formy, provoz stroje a výrobního dělníka. Po vyčíslení těchto nákladů lze stanovit celkové náklady potřebné na výrobu celé série a nákladů na vyrobení jednoho kusu ozubeného kola. (10)

9.1 Náklady na materiál

Dle ČNB dne 14.4. 2009 je: 20,013 Kč/USD
Cena materiálu Hostaform C 13021 (26): 4 USD/Kg \cong 80,05 Kč/kg

Při jednom vstřikovacím cyklu se vyrobí 4 vstřiky ozubených kol. Spotřeba materiálu plastu pak bude:

$$m_1 = \rho \cdot V_d = 1,41 \cdot 48,7 = 68,67 \text{ g} \quad (9.1)$$

Pro požadavek výroby $N = 500000$ ks ozubených kol bude potřeba počet vstřikovacích cyklů p_{vc} :

$$p_{vc} = \frac{N}{n} = \frac{500000}{4} = 125000 \quad (9.2)$$

$n = 4$

n – násobnost formy

Celková spotřeba materiálu plastu pak bude m_c :

$$m_c = m_1 \cdot p_{vc} = 68,67 \cdot 125000 \cdot 10^{-3} = 8583,75 \text{ kg} \quad (9.3)$$

Náklady na materiál N_m pro výrobní sérii:

$$N_m = C_m \cdot m_c = 80,05 \cdot 8583,75 = 687129,19 \text{ Kč} \quad (9.4)$$

$C_m = 80,05 \text{ Kč/kg}$

C_m – cena materiálu

9.2 Náklady na výrobu formy

Náklady na výrobu vstřikovací formy byly odhadnuty přibližně na 315000 Kč.

9.3 Náklady na provoz stroje

Náklady na hodinový provoz stroje N_h (10):

$$N_h = \frac{P_f \cdot N_e}{K} = \frac{33,9 \cdot 3,4}{0,8} = 144,08 \text{ Kč/hod} \quad (9.5)$$

$P_f = 33,9 \text{ kW}$

$K = 0,8$

$N_e = 3,4 \text{ Kč/kWh}$

P_f – celkový příkon stroje

K – koeficient opotřebení stroje

N_e – cena elektrické energie

Celkový čas t_{vs} na výrobní sérii (10):

$$t_{vs} = \frac{t_c \cdot N}{n} = \frac{20,33 \cdot 500000}{4} \cdot \frac{1}{3600} = 705,9 \text{ hod} \quad (9.6)$$

Náklady na provoz stroje N_s pro výrobní sérii (10):

$$N_s = N_h \cdot t_{vs} = 144,08 \cdot 705,9 = 101706,1 \text{ Kč} \quad (9.7)$$

9.4 Náklady na výrobního dělníka

Náklady na výrobního dělníka N_d pro výrobní sérii (10):

$$N_d = M_d \cdot t_{vs} = 110 \cdot 705,9 = 77649 \text{ Kč} \quad (9.8)$$

$M_d = 110 \text{ Kč.hod}^{-1}$

M_d – mzdové náklady výrobního dělníka

9.5 Celkové náklady

Celkové náklady N_c na výrobní sérii (10):

$$N_c = N_m + N_f + N_s + N_d = 687129,19 + 315000 + 101706,1 + 77649 = 1181484,29 \text{ Kč} \quad (9.9)$$

Celkové náklady N_{cv} na jeden výstřik (10):

$$N_{cv} = \frac{N_c}{N} = \frac{1181484,29}{500000} = 2,36 \text{ Kč} \quad (9.10)$$

ZÁVĚR

Předmětem této diplomové práce bylo navrhnout technologii výroby ozubeného kola z plastu, provést konstrukční výkresovou dokumentaci nástroje a technicko-ekonomicky zhodnotit náklady na výrobu.

Výsledky práce jsou shrnuty v následujících bodech:

- Jako nejlepší varianta výroby ozubeného kola z plastu je vybrána technologie vstřikování. Vstřikování je technologie, která umožňuje výrobu ozubení s různým geometrickým tvarem s poměrně nízkými výrobními náklady v sériové výrobě.
- Materiál ozubeného kola je volen na základě požadovaných vlastností, které jsou na plastová ozubená kola kladena. Proto je vybrán materiál POM-C s obchodním označením Hostaform C 13021, jehož vlastnosti jsou plně vyhovující pro ozubené kolo, které je použito v jemné mechanice.
- Vzhledem k větším pořizovacím nákladům na formu s horkou vtokovou soustavou je zvolena varianta se studeným vtokovým systémem. Konstrukce formy je s ohledem na velikost výrobní dávky $N = 500000$ ks čtyřnásobná a z důvodu zamezení vzniku studeného spoje je tavenina přivedena do tvarové dutiny třídeskové formy přes bodové ústí vtoku ve dvou místech.
- Na základě parametrů vstřikovacích strojů je zvolen vstřikovací stroj Allrounder 420 C (velikost stroje 1300-350) od firmy Arburg. Tento stroj je vybaven řídicím systémem Selogica, který zajistí dodržování nastavených technologických parametrů při vstřikování.
- Technicko-ekonomické zhodnocení výroby je provedeno na základě vztahů, které zahrnují jednotlivé náklady na materiál, výrobního dělníka, výrobu formy a provoz stroje. Po stanovení těchto jednotlivých nákladů je částka pro celkovou výrobní sérii $N = 500000$ ks vypočítána přibližně na 1181485 Kč.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

1. KOLOUCH, Jan. *Strojírenské výrobky z plastů vyráběné vstřikováním*. 1. vyd. Praha :SNTL, 1986. 232 s. ISBN 04-247-86.
2. KOLOUCH, Jan. *Strojní součásti z plastů*. 1. vyd. Praha : SNTL, 1981. 260 s. ISBN 04- 234-81.
3. LEINVEBER, Jan, ŘASA, Jaroslav, VÁVRA, Pavel. *Strojnické tabulky*. 2. přeprac. vyd. Praha : Scientia, 1998. 911 s. ISBN 80-7183-123-9.
4. MENGES, Georg, MOHREN, Paul. *How to Make Injection Molds*. 2nd edition. München, Wien : Carl Hanser Verlag, 1993. 558 s. ISBN 1-56990-062-0.
5. ŘEHULKA, Zdeněk. *Konstrukce výlisků z plastů a forem pro zpracování plastů*. 3. vyd. Brno : Sekurkon, [2007?]. 226 s. ISBN 978-80-86604-36-7.
6. SAECHTLING, Hansjürgen. *Kunststoff-Taschenbuch*. 26. überarb. Auflage. München, Wien : Carl Hanser Verlag, 1995. ISBN 3-446-17855-4.
7. SOVA, Miloš, KREBS, Josef. *Termoplasty v praxi*. 1. vyd. Praha : Verlag Dashöfer, 2001. 2 sv. (580, 425 s.). ISBN 80-86229-15-7.
8. ŠTĚPEK, Jiří, ZELINGER, Jiří, KUTA, Antonín. *Technologie zpracování a vlastnosti plastů*. 1. vyd. Praha, Bratislava : SNTL, Alfa, 1989. 638 s. ISBN DT 678.5(075.8).
9. KREBS, Josef. *Teorie zpracování nekovových materiálů*. 3. vyd. Liberec : Technická univerzita, 2006. 250 s. ISBN 80-7372-133-3.
10. KANDUS, Bohumil. *Přednášky a cvičení*. 2007
11. DRÁB, Josef. *Vstřikovací formy v systému Catia*. *MM : Průmyslové spektrum* [online]. 2001, roč. 4, č. 1 [cit. 2009-02-27], s. 26. Dostupný z WWW: <<http://www.mmspektrum.com/clanek/vstrikovaci-formy-v-systemu-catia>>. ISSN 1212-2572.
12. ŘEHULKA, Zdeněk. *Speciální vyhřívání vtokové systémy forem pro zpracování termoplastů v MM : Průmyslové spektrum* [online]. 2005, roč. 8, č. 1 [cit. 2009-05-02], s. 44. Dostupný z WWW: <<http://www.mmspektrum.com/clanek/specialni-vyhrivane-vtokove-systemy-form-pro-zpracovani-termoplastu-v>>. ISSN 1212-2572.
13. STEIDL, Josef. *Použití plastů : rychlá cesta k inovaci*. *MM : Průmyslové spektrum* [online]. 2005, roč. 8, č. 1 [cit. 2009-02-11], s. 28. Dostupný z WWW: <[mmspektrum.com/clanek/pouziti-plastu-rychla-cesta-k-inovaci](http://www.mmspektrum.com/clanek/pouziti-plastu-rychla-cesta-k-inovaci)>. ISSN 1212-2572.
14. STEIDL, Josef, VANĚK, Milan. *Speciální příloha - část I. : Plastové části strojů a strojírenských zařízení*. *MM : Průmyslové spektrum* [online]. 2006, roč. 9, č. 4 [cit. 2009-02-27], s. 73. Dostupný z WWW: <<http://www.mmspektrum.com/clanek/specialni-priloha-cast-i-plastove-casti-stroju-a-strojirenskych-zarizeni>>. ISSN 1212-2572.
15. STEIDL, Josef, VANĚK, Milan. *Ozubená kola*. *MM : Průmyslové spektrum* [online]. 2006, roč. 9, č. 4 [cit. 2009-03-1], s. 84. *Plastové části strojů a zařízení*. Dostupný z WWW: <http://www.mmspektrum.com/clanek/ozubena-kola>. ISSN 1212-2572.

16. *ALLROUNDER C : Vstřikování použitím osvědčené techniky strojního zařízení s pokrokovým systémem řízení SELOGICA* [online]. ARBURG GmbH + Co KG, c2007 [cit. 2009-04-21]. Dostupný z WWW: <http://www.arburg.com/com/common/download/web_522831_cz.pdf>.
17. *ALLROUNDER 420 C 1300 : Technische Daten* [online]. ARBURG GmbH + Co KG, c2008 [cit. 2009-04-25]. Text v němčině. Dostupný z WWW: <http://www.arburg.com/com/common/download/WEB_522544_de.pdf>.
18. *Arburg Allrounder Plastic Processing* [online]. 2009-03-27 [cit. 2009-05-09]. Dostupný z WWW: <http://photo.machinestogo.net/main.php/updates?g2_albumId=7&g2_itemId=270>.
19. *HOSTAFORM C 13021/POM/Ungefüllt* [online]. Ticona GmbH, 9. Mai 2009 [cit. 2009-05-14]. Text v němčině. Dostupný z WWW: <<http://tools.ticona.com/tools/mcbasei/pdf/printpdf.php>>.
20. *Hostaform POM* [online]. Ticona CR, c1995-2008 [cit. 2009-04-20]. Text v češtině a angličtině. Dostupný z WWW: <<http://www.ticona.cz/cs/home/portfolio/hostaform.htm>>.
21. *Kurz vstřikování plastů*. Kompozity Brno s.r.o.
22. *Princip vstřikování plastů* [online]. Sotallia, c2005 [cit. 2009-04-28]. Dostupný z WWW: <<http://www.sotallia.com/princip-vstrikovani-plastu.html>>.
23. *ALLROUNDER C* [online]. ARBURG GmbH + Co KG, [cit. 2009-05-22]. Dostupný z WWW: <http://www.arburg.com/com/COM/de/products/machines/standard/allrounder_c/index.jsp>.
24. *Souhrnný přehled : údaje o strojích* [online]. ARBURG GmbH + Co KG, c2009 [cit. 2009-04-26]. Dostupný z WWW: <http://www.arburg.com/com/common/download/Web_522848_CZ.pdf>.
25. *Zpracovatelské pokyny ke vstřikování* [online]. Frankfurt : Ticona GmbH, September 1999 [cit. 2009-04-13]. Text v češtině. Dostupný z WWW: <http://www.ticona.cz/cs/verarbeitungshinweise_hostaform_cz.pdf>.
26. *ENGINE PLASTIC : Product Catalog* [online]. 2009-03-28 [cit. 2009-04-03]. Dostupný z WWW: <<http://love8ff.diytrade.com/sdp/450410/4/pd-2493053/3735737.html>>.
27. SVOBODA, Pavel, et al. *ZÁKLADY KONSTRUOVÁNÍ : výběr z norem pro konstrukční cvičení*. Brno : Akademické nakladatelství CERM, 2001. 288 s. ISBN 80-7204-214-9.

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

Zkratka/Symbol	Jednotka	Popis
a_{eff}	$[\text{mm}^2 \cdot \text{s}^{-1}]$	součinitel teplotní vodivosti
C_m	[Kč]	cena materiálu
C_v	$[\text{cm}^3]$	vstřikovací kapacita stroje
D'	[mm]	základní průměr rozváděcího kanálku formy
D_k	[mm]	průměr rozváděcího kanálku
$D_{\text{š}}$	[mm]	průměr šneku vstřikovacího stroje
d_1	[mm]	velký průměr ozubeného kola v dělicí rovině II
d_2	[mm]	malý průměr ozubeného kola v dělicí rovině II
E	[MPa]	modul pružnosti v tahu
F_p	[kN]	min. přidržovací síla stroje
K	[-]	koeficient opotřebení stroje
K_1	[-]	koeficient tekutosti materiálu
K_2	[-]	koeficient délky rozváděcího kanálku
k	[-]	faktor využití pracovního času
L	[mm]	délka rozváděcího kanálku
L_s	[mm]	délka spojovacího kanálku
$L_{\text{š}}$	[mm]	délka dráhy pohybu šneku
M	$[\text{kg} \cdot \text{hod}^{-1}]$	průchod taveniny ze stroje do formy
M_d	[Kč]	mzdové náklady výrobního dělníka
m	[g]	hmotnost ozubeného kola
m_1	[g]	hmotnost spotřebovaného plastu v jednom vstřikovacím cyklu
m_c	[g]	celková spotřeba materiálu plastu
N	[ks]	velikost výrobní série
N_c	[Kč]	celkové náklady na výrobní sérii
N_{cv}	[Kč]	celkové náklady na jeden výstřik
N_d	[Kč]	náklady na výrobního dělníka
N_e	[Kč/kWh]	cena elektrické energie
N_f	[Kč]	náklady na výrobu formy
N_h	[Kč]	náklady na hodinový provoz stroje
N_m	[Kč]	náklady na materiál pro výrobní sérii
N_s	[Kč]	náklady na provoz stroje
n	[-]	násobnost formy
n_p	[-]	praktická násobnost formy
$n_{\text{š}}$	$[\text{min}^{-1}]$	otáčky šneku
n_t	[-]	termínová násobnost formy
P_f	[kW]	celkový příkon stroje
p_{sp}	[MPa]	vstřikovací tlak
p_N	[MPa]	dotlak
p_{st}	[MPa]	zpětný tlak
p_{vc}	[-]	počet vstřikovacích cyklů

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

Zkratka/Symbol	Jednotka	Popis
R_e	[MPa]	mez kluzu
r_s	[mm]	poloměr dolní podstavy spojovacího kanálku
r_{s1}	[mm]	poloměr horní podstavy spojovacího kanálku
S_p	[%]	podélné smrštění
S_{pII}	[mm ²]	průmětná plocha ozubeného kola v dělicí rovině II
$S_{př}$	[%]	příčné smrštění
s	[mm]	tloušťka stěny ozubeného kola
t_c	[s]	doba vstřikovacího cyklu
t_{ch}	[s]	doba chlazení
t_m	[s]	doba prodlevy
t_{s1}	[s]	doba uzavření formy
t_{s2}	[s]	doba přísunu plastikační a vstřikovací jednotky
t_{s3}	[s]	doba otevření formy
t_{s4}	[s]	doba vyhození výstřiku
t_{Tr}	[hod]	doba předsoušení granulátu
t_v	[s]	doba vstřikování
t_{vs}	[hod]	celkový čas na výrobní sérii
V	[cm ³]	objem ozubeného kola
V_d	[cm ³]	velikost dávky (objemu) taveniny
V_k	[cm ³]	objem rozváděcího kanálu
V_s	[cm ³]	objem spojovacího (rozváděcího) kanálu
v_s	[cm ³ .s ⁻¹]	vstřikovací rychlost
$v_{š}$	[m.s ⁻¹]	obvodová rychlost šneku
ρ	[g.cm ⁻³]	hustota
ϑ_1	[°C]	teplota válce
ϑ_2	[°C]	teplota válce
ϑ_3	[°C]	teplota válce
ϑ_4	[°C]	teplota válce
ϑ_D	[°C]	teplota trysky
ϑ_E	[°C]	střední vyhazovací teplota výstřiku
ϑ_M	[°C]	teplota taveniny plastu
ϑ_{Tr}	[°C]	teplota předsoušení granulátu
ϑ_{W1}	[°C]	teplota stěny formy (tvárník)
ϑ_{W2}	[°C]	teplota stěny formy (tvárnice)
τ_p	[hod]	požadovaný termín dodávky

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

Zkratka/Symbol	Jednotka	Popis
ABS		Terpolymer akrylonitril-butadién-styrén
hPS		Polystyrén houževnatý (rázuvzdorný)
IPE		Polyethylen lineární (nízkotlaký)
PA		Polyamid
PBT		Polybutylentereftalát
PC		Polykarbonát
PEEK		Polyetereterketon
PEI		Polyeterimid
PET		Polyetylentereftalát
PMMA		Polymethylmethacrylát
POM-C		Polyoxymetylen Copolymer
POM-H		Polyoxymetylen Homopolymer
PP		Polypropylen
PS		Polystyren
PTFE		Polytetrafluoretylen
PVC		Polyvinylchlorid
rPE		Polyethylen rozvětvený (vysokotlaký)
SAN		Kopolymer styrén-akrylonitril

SEZNAM PŘÍLOH

- Příloha 1 Seznam použitých zdrojů
Příloha 2 Seznam použitých zkratk a symbolů
Příloha 3 Vlastnosti materiálu POM-C Hostaform C 13021 (19)
Příloha 4 Technická data stroje Allrounder 420 C (17)
Příloha 5 Kusovník (K – 4 – S60/01-04)
Příloha 6 Sestava vstřikovací formy (0 – S60/00)
Příloha 7 Výrobní výkres tvárníku (K20 – 246x296x46)
Příloha 8 Výrobní výkres ozubeného kola (3 – S60/01)