

**MENDELOVA UNIVERZITA V BRNĚ
AGRONOMICKÁ FAKULTA**

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BRNO 2017

ŠTĚPÁN BRUNCLÍK

Mendelova univerzita v Brně
Agronomická fakulta
Ústav techniky a automobilové dopravy



Vstřikování plastických hmot
Bakalářská práce

Vedoucí práce:
doc. Ing. Michal Černý, CSc.

Vypracoval:
Štěpán Brunclík

Brno 2017

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem práci: **Vstřikování plastických hmot** vypracoval samostatně a veškeré použité prameny a informace uvádím v seznamu použité literatury. Souhlasím, aby moje práce byla zveřejněna v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách ve znění pozdějších předpisů a v souladu s platnou *Směrnicí o zveřejňování vysokoškolských závěrečných prací*.

Jsem si vědom, že se na moji práci vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, a že Mendelova univerzita v Brně má právo na uzavření licenční smlouvy a užití této práce jako školního díla podle § 60 odst. 1 autorského zákona.

Dále se zavazuji, že před sepsáním licenční smlouvy o využití díla jinou osobou (subjektem) si vyžádám písemné stanovisko univerzity, že předmětná licenční smlouva není v rozporu s oprávněnými zájmy univerzity, a zavazuji se uhradit případný příspěvek na úhradu nákladů spojených se vznikem díla, a to až do jejich skutečné výše.

V Brně dne:.....

.....
podpis

PODĚKOVANÍ

Chtěl bych tímto poděkovat vedoucímu práce doc. Ing. Michalu Černému, CSc. za čas a odborné rady, které mi věnoval během konzultací. Dále bych chtěl poděkovat rodině za podporu během celého studia.

ABSTRAKT

Bakalářská práce je zaměřena na technologii vstřikování plastů. Práce je rozdělena do pěti hlavních částí. První část pojednává o složení plastů, jejich základním dělení, a to zejména dělení podle teplotního chování, vlastnostech plastů, dále jsou popsány základní technologie přípravného zpracování plastů. Druhá část se zabývá technologiemi pro zpracování plastů a základním představením vybraných tvářecích, tvarovacích a doplňkových technologií. Třetí část je zaměřena na princip technologie vstřikování a na popis jednotlivých fází vstřikovacího cyklu a vlivu těchto fází na jakost výrobku. V práci je věnován prostor i speciálním technologiím vstřikování. Čtvrtá část pojednává o vstřikovacím stroji a jeho jednotlivých prvcích, vstřikovací jednotce, uzavírací jednotce a vstřikovací formě. Poslední část práce se zabývá ekonomickým zhodnocením výrobku zhotoveného technologií vstřikování.

Klíčová slova: technologie vstřikování plastů, vstřikovací stroj, fáze vstřikovacího cyklu, vstřikovací forma, vstřikovací jednotka, uzavírací jednotka

ABSTRACT

This bachelor thesis is focused on technology of injection moulding of plastics. Thesis is divided into five parts. The first part describes composition of plastic, basic distribution, thermal properties and technology of preparatory processing of plastic. The second part summarizes plastics processing technologies and essential introduction of forming, shaping and additional technologies. The third part is about principle of injection moulding technology and the injection moulding cycle, substantial part of this chapter deals with an impact of injection moulding cycle on a quality of the product. Special injection moulding methods are also mentioned. The next part includes injection moulding machine, injection unit and clamping unit, injection mould. The last part involves economic evaluation of product made by injection moulding.

Key words: technology of injection moulding, injection moulding machine, injection moulding cycle, injection mould, injection unit, clamping unit

OBSAH

1	ÚVOD	9
2	CÍLE PRÁCE	9
3	PLASTY	10
3.1	Složení plastů.....	10
3.2	Základní dělení plastů.....	10
3.3	Vlastnosti plastů	13
3.4	Přípravná fáze zpracování plastů.....	16
4	TECHNOLOGIE ZPRACOVÁNÍ PLASTŮ	17
4.1	Tvářecí technologie	18
4.1.1	Vytlačování	18
4.1.2	Lisování a přetlačování	19
4.1.3	Válcování	20
4.1.4	Odlévání	20
4.2	Tvarovací technologie	21
4.2.1	Obrábění plastů	21
4.2.2	Ohýbaní trubek	21
4.2.3	Vyfukování	22
4.2.4	Vakuové tvarování	23
4.3	Doplňkové technologie.....	24
4.3.1	Lepení	24
4.3.2	Nýtování.....	24
4.3.3	Svařování	25
5	TEORIE VSTŘIKOVÁNÍ PLASTŮ	26
5.1	Podstata a princip technologie vstřikování	26
5.2	Základní předpoklady pro vstřikování s definovanou jakostí	28
5.3	Plastikace materiálu	29
5.4	Vstřikování materiálu	30
5.5	Dotlak	31
5.6	Chladnutí hmoty ve formě.....	32

6	VSTŘIKOVACÍ STROJE.....	33
6.1	Vstřikovací jednotka.....	34
6.1.1	Násypka	35
6.1.2	Tavící komora	35
6.1.3	Šnek	36
6.1.4	Tryska	38
6.2	Uzavírací jednotka.....	39
6.3	Vstřikovací forma.....	40
7	SPECIÁLNÍ ZPŮSOBY VSTŘIKOVÁNÍ	41
7.1	GIT vstřikování s podporou plynu	42
7.2	WIT vstřikování s podporou vody.....	43
8	EKONOMICKÉ ZHODOCENÍ.....	44
9	ZÁVĚR.....	47
10	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	48
11	SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK.....	50
12	SEZNAM OBRÁZKŮ A GRAFŮ	52

1 ÚVOD

V dnešní době je technologie vstřikování jedna z nejpoužívanějších a nejrozšířenějších technologií pro zpracování plastů. Tato technologie se začala vyvíjet už ve 20. letech minulého století. První pístový ruční vertikální vstřikovací stroj byl vyvinut v roce 1921 v Německu pány A. Eichengrunem a H. Bucholtzem. V roce 1956 byla patentována šneková vstřikovací jednotka, jak ji známe v dnešní podobě. V roce 1985 byl předveden první plně elektrický vstřikovací stroj. Technologie vstřikování plastů zahrnuje kromě klasického vstřikování i mnoho dalších tzv. speciálních způsobů vstřikování. Speciální způsoby vstřikování umožňují vyrábět miniaturní výrobky složitých tvarů, ale také velkorozměrové výrobky. Tyto výrobky zhotovené speciálními způsoby vstřikování mohou být složené z několika homogenních i heterogenních materiálů. Vstřikovací stroje přinášejí velké materiálové a finanční úspory, jsou stále dokonalejší a zajišťují zkrácení doby výrobního cyklu. Díky široké možnosti využití výrobků zhotovených vstřikováním zejména v automobilovém, elektrotechnickém a potravinářském průmyslu je tato technologie velice perspektivní i do budoucna.

2 CÍLE PRÁCE

Cíle bakalářské práce lze rozdělit do pěti částí. První část práce bude pojednávat o složení plastů a jejich základním dělení. Největší prostor zde bude věnován dělení plastů podle teplotního chování. Cílem druhé části práce je popsat základní rozdělení technologických operací pro zpracování plastů a popis nejdůležitějších tvářecích, tvarovacích a doplňkových technologií. Třetí část bude věnována principu technologie vstřikování a popisu jednotlivých fází ve vstřikovacím cyklu. Čtvrtá část se bude zabývat vstřikovacím strojem a jeho příslušenstvím. Cílem poslední části práce bude ekonomické zhodnocení konkrétního výrobku zhotoveného vstřikováním.

3 PLASTY

3.1 Složení plastů

Plasty (polymery) jsou makromolekulární sloučeniny syntetického nebo organického původu s relativní molekulovou hmotností obvykle desítek až stovek tisíc. Makromolekulární látky získáváme z ropy, uhlí, zemního plynu a z dalších výchozích surovin. Polymery jsou tvořeny z látek, které ve svých molekulách obsahují atomy vodíku, uhlíku, chlóru, dusíku, fluóru, kyslíku a jiných prvků. Za normálních podmínek tlaku a teploty je plast v tuhém stavu. Při zvyšující se teplotě přechází do kapalinného stavu. [13]

Plasty vznikají z polymerů, které se upravují přidáním vhodných příměsí. Stabilizátory světelné nebo tepelné zvětšují jejich stálost, pigmenty polymery zbarvují. Vláčnosti polymerů se dosáhne přidáním změkčovadel. Plniva zvětšují objem bez zhoršení kvality. Přídavné látky umožňují dosáhnout požadovaných vlastností jako například pevnosti, malé měrné hmotnosti, tepelné odolnosti. [14]

3.2 Základní dělení plastů

Podle výchozích surovin:

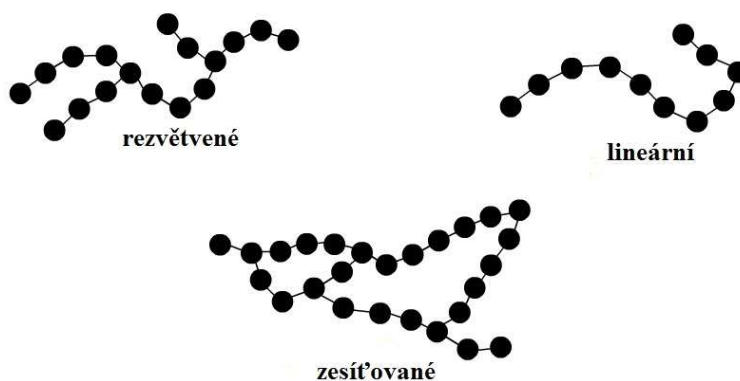
- **plně syntetické** – z polymerační syntézy nízkomolekulárních organických sloučenin jako zemní plyn, uhlí, atd.,
- **polysyntetické** – z přírodních polymerů jako je bílkovina, přírodní kaučuk.

Podle nadmolekulární struktury:

- **amorfní** – makromolekuly zaujímají zcela nahodilou pozici, mezi jejich charakteristické vlastnosti patří, křehkost, tvrdost, vysoká pevnost. Součinitel teplotní roztažnosti α je menší než u semikrystalických polymerů. Použitelnost amorfních polymerů je do teploty zesklňování T_g . [10]
- **krystalické (semikrystalické)** – makromolekuly vykazují určitý stupeň uspořádanosti, který udává tzv. stupeň krystalinity (může dosahovat hodnoty 40 až 90 %). Charakteristické vlastnosti jsou houževnatost materiálu, pevnost. Modul pružnosti roste se stupněm krystalinity. Použitelnost semikrystalických plastů je do teploty tání T_m . [10]

Podle molekulární struktury:

- **lineární makromolekuly** – vznikají tím, že se monomerní molekuly řadí jedna vedle druhé. Plasty s lineárními makromolekulami jsou dobře rozpustné a tavitelné. [10]
- **rozvětvené makromolekuly** – mají na základním řetězci boční větve, tyto řetězce způsobují oddálení sousedních makromolekul, a mají za následek zhoršení většiny mechanických vlastností. [10]
- **zesíťované makromolekuly** – vytvářejí jednu takřka nekonečnou makromolekulu tzv. prostorovou síť. Takové plasty mají velkou tuhost a odolnost proti zvýšené teplotě, vysokou tvrdost ale nízkou odolnost proti rázovému namáhání. [10]



Obr. 1 Makromolekulární struktura polymerů, [5]

Podle druhu přísad:

- **neplněné plasty** – plasty, u kterých množství přísad neovlivňuje vlastnosti,
- **plněné plasty** – plasty, u kterých plnivo ovlivňuje fyzikální a mechanické vlastnosti.

Podle typu polyreakce:

- **polymerace** – řetězová polyreakce probíhající radikálovým mechanismem,
- **polykondenzace** – polyreakce, při které dochází k reakci dvou typů sloučenin,
- **polyadice** – dochází ke stupňovitým reakcím, spojují se molekuly dvou sloučenin.

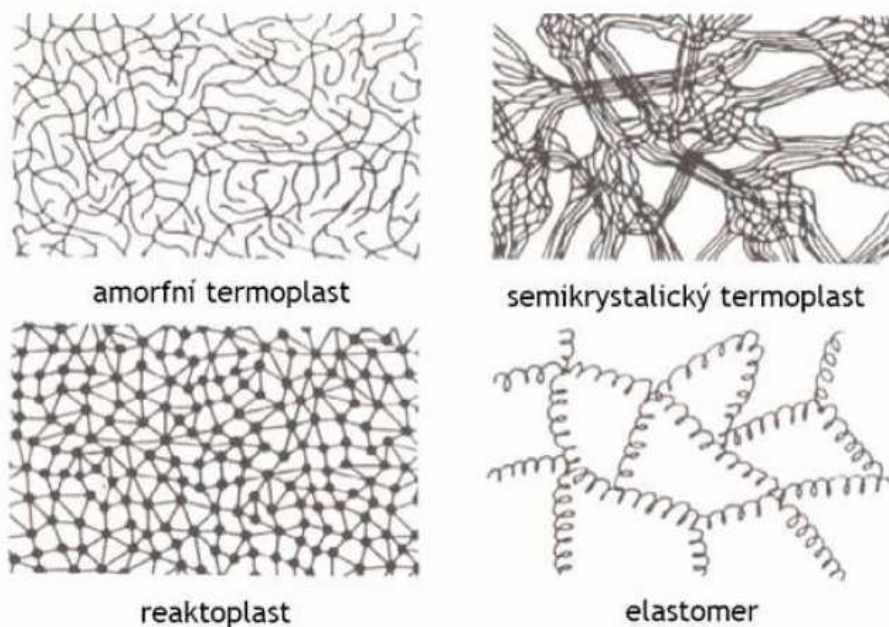
Podle chemického složení:

- **akryláty**
- **animoplasty**
- **fenoplasty**
- **polyamidy**
- **polyestery**
- **silikony**

Podle teplotního chování:

- **termoplasty** – při zahřívání přecházejí do plastického stavu, je to stav vysoce viskózních newtonovských kapalin. V takovém stavu lze termoplasty snadno tvářet a dále zpracovávat různými technologiemi. Do tuhého stavu přejdou ochlazením pod teplotu tání T_m (semikrystalické plasty), resp. teplotu viskózního toku T_f (amorfní plasty). Při zvyšování teploty nedochází ke změnám chemické struktury. Tvářecí teploty se pohybují okolo 80 °C až 140 °C. Proces měknutí a následného tuhnutí lze teoreticky opakovat bez omezení, což se využívá při zpracování odpadu či zmetků. Mezi termoplasty patří většina zpracovávaných hmot, například polyethylen (PE), polystyren (PS), polypropylen (PP), polyamid (PA), polyvinylchlorid (PVC). [10]
- **reaktoplasty** – dříve nazývané termosety, v první fázi zahřívání měknou a lze je tvářet, ale jen po omezenou dobu. Při dalším zahřívání dochází k chemické reakci, prostorovému zesíťování struktury, tzv. vytvrzování. Polotovar nebo výrobek lze považovat za jednu obrovskou makromolekulu. Ochlazování výrobků z reaktoplastů probíhá mimo nástroj, kvůli zajištění rychlého ohřevu formy a následnému rychlému ochlazení. Vytvrzování je děj nevratný, dalším zahříváním vytvrzené plasty nelze rozpustit ani roztavit ale dojde k rozkladu hmoty. Tyto vlastnosti již neumožňují opětovně zpracovávat odpad a zmetky. Patří sem epoxidové pryskyřice, fenolformaldehydové hmoty, polyesterové hmoty, apod. [10]
- **kaučuky, pryže a elastomery** – materiály, které během první fáze zahřívání měknou a lze je tvářet jen po omezenou dobu. Při dalším zahřívání dochází k chemické reakci - prostorovému zesíťování struktury, probíhá vulkanizace. Tento proces je

stejně jako u reaktoplastů nevratný. Vyznačují se velkou elasticitou i při velkém rozsahu teplot od - 40 °C až do 260 °C. U elastomerů na bázi termoplastů nedochází ke změnám chemické struktury, proces měknutí a následného tuhnutí lze opakovat teoreticky bez omezení. [10]



Obr. 2 Nadmolekulární struktura polymerů, [13]

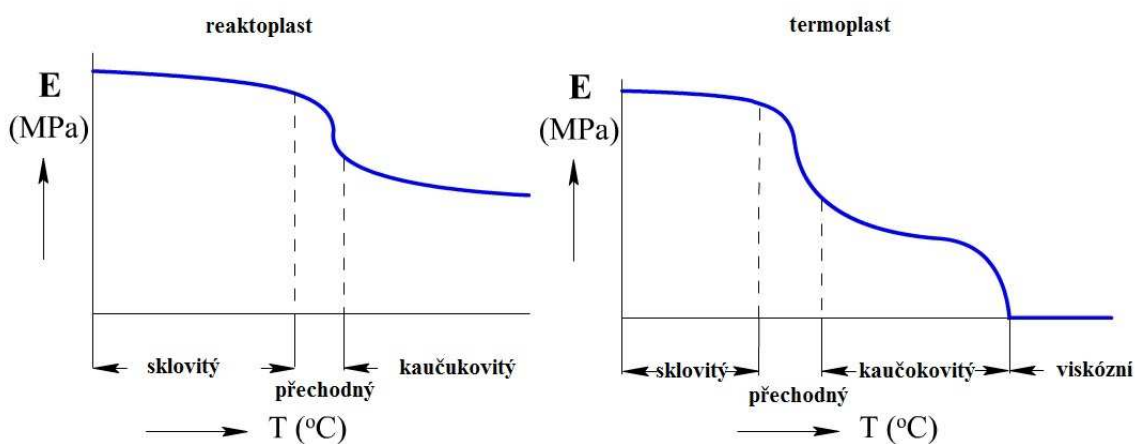
3.3 Vlastnosti plastů

Mezi výhody plastů patří snadná zpracovatelnost, malá měrná hmotnost, pevnost, dobré mechanické vlastnosti, tvarovatelnost, chemická a korozní odolnost, velmi dobré elektroizolační vlastnosti, nízká cena, možnost sériové výroby a automatizace, malé procento odpadu při výrobě.

Vlastnosti plastů se posuzují z hlediska mechanického, reologického, fyzikálního, technologického a chemického. Mechanické parametry plastů jsou na rozdíl od kovů výrazně závislé na teplotě a času. U polymerů se nachází několik fyzikálních stavů, ve kterých polymer má jiné fyzikální vlastnosti a deformační chování. Mezi tyto čtyři fyzikální stavy patří:

- tuhý krystalický
- tuhý amorfní - sklovitý
- kaučukovitý
- plastický

Jednotlivé stavy polymerů jsou závislé na teplotě. Při nízké teplotě je pohyb makromolekul nemožný a polymer se nachází v pevném stavu. Při zvýšení teploty dochází ke změnám, které jsou odlišné u polymerů krystalických a amorfních. Krystalický polymer při teplotě tání krystalů T_m přechází do plastického (viskózního) stavu. U amorfních polymerů se při dosažení teploty, která je nižší než teplota T_m začne měnit stav ze sklovitého do stavu kaučukovitého. Tato teplota se označuje jak teplota skleného přechodu T_g . Dalším zvýšením teploty dochází k přechodu do stavu plastického, to se projeví tokem polymeru a teplota se označuje jako teplota tečení T_f . Přechody mezi jednotlivými stavy se uskutečňují v určitém teplotním rozmezí. Jednotlivé stavy polymeru jsou zřejmé ze závislosti modulu pružnosti na teplotě (obr. 3). [12]



Obr. 3 Závislost modulu pružnosti na teplotě, [5]

Deformujeme-li těleso z polymerního materiálu např. tahem, dosáhneme deformace, která je doprovázena charakteristickým vývojem napětí. Z molekulárního hlediska můžeme pozorovat viskózní tok, který představuje ireverzibilní deformaci polymeru. Jeho mechanismus vyplývá z nevratného klouzání makromolekulárních řetězců.

Ve skutečnosti je situace složitější, a to i u kaučuků, neboť dochází k částečně nevratné deformaci, současně se uplatňuje na čase nezávislé elastické a časově závislé viskózní chování. Takové chování polymerů nazýváme viskoelastické, hovoříme o viskoelasticitě polymerů.

Charakteristické fyzikální - mechanické vlastnosti polymeru zjišťujeme ze závislosti deformace na napětí (obr. 4). Napětí R je definováno jako síla F na jednotku plochy S .

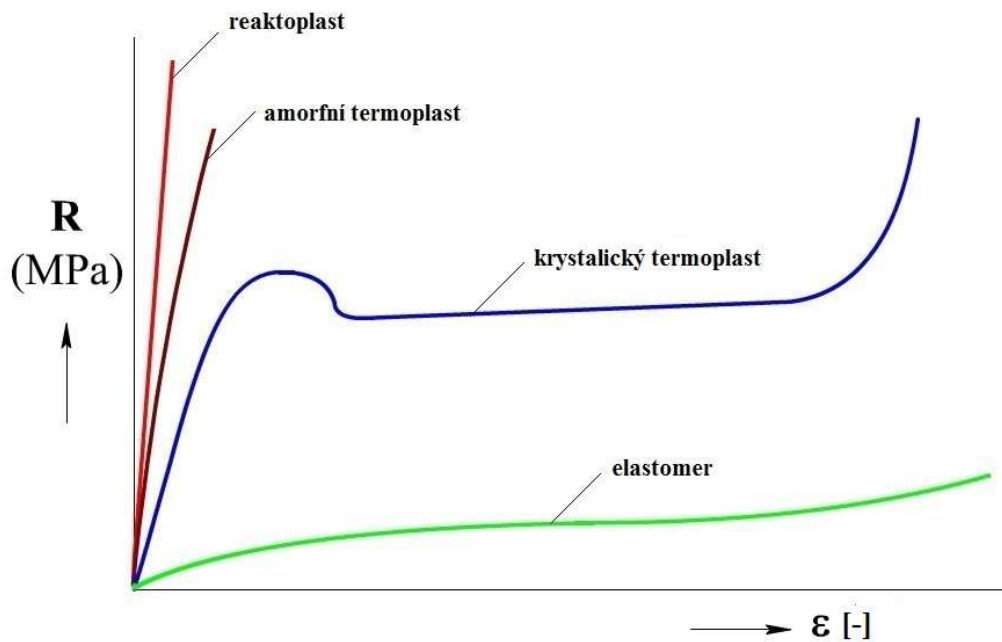
Rozlišujeme napětí v tahu, tlaku a ve stříhu. Deformace ε je definováno jako deformace na jednotku délky. [12]

$$R = \frac{F}{S} \quad [\text{MPa}]$$

$$\varepsilon = \frac{(l-l_0)}{l_0} = \frac{\Delta l}{l_0} [-]$$

Nevratná deformace je charakterizována viskózním tokem. Střížné napětí τ vyplývající z tohoto pohybu se vypočítá jako poměr síly F v tečném směru na plochu tekoucí vrstvy S .

$$\tau = \frac{F}{S} \quad [\text{Mpa}]$$



Obr. 4 Závislost deformace na napětí, [5]

3.4 Přípravná fáze zpracování plastů

Polymery nelze bezprostředně zpracovávat v hotové výrobky, nejdříve musí projít technologiemi přípravného zpracování. Jedná se o přípravu směsi, kde základem je požadovaný polymer a k němu jsou přidávány přídatné látky jako stabilizátory, změkčovadla, barviva, atd. Přípravná fáze zahrnuje následující operace:

Míchání a hnětení - míchání je proces, při kterém dochází ke smíchání nejméně dvou složek tak, aby bylo dosaženo požadované homogenity směsi. Konečný stupeň homogenity může být dosažen až v následujících technologických operacích jako válcování nebo vstřikování. Při hnětení jsou hnětací stroje schopné, kromě smíchání složek, také převést polymer do plastického stavu působením intenzivního smykového namáhání. [8]

Granulace a tabletování - proces, kdy materiál získává tvar granulí, který je vhodný na další zpracovávání. Plasty ve formě granulí lze dobře dávkovat a mísit s dalšími složkami, např. barvivy. Do granulí se často přidává i recyklát získaný mletím nebo drcením výrobních zmetků nebo odpadu. Granule mohou mít tvar válečků, čoček nebo kuliček. Tablety se používají u reaktoplastů z důvodu zkrácení doby lisování a vytvrzování. [8]

Recyklace - při recyklování odpadů je třeba brát ohled na konkrétní typ plastu a jeho předešlé zpracování. Plastové odpady lze zpracovávat samostatně, nebo jako příměs k novému materiálu stejného typu. Výhodnější je použití recyklátu jako příměsi. Pro zpracování odpadů drcením se používají mlýny. Mlýny mohou být kladivové, nožové, třecí. Pro proces drcení jsou důležité fyzikální vlastnosti materiálu, a to hlavně tvrdost a charakter lomu. [8]

Sušení - některé typy plastů jsou hydroskopické, a před zpracováním se musí sušit. Přítomnost vody se projevuje nežádoucím zhoršováním kvality povrchu i poklesem mechanických vlastností výrobků. Tyto plasty při sušení odevzdávají vlhkost v podobě páry do té doby, než se parciální tlak páry nad sušeným materiálem vyrovná s parciálním tlakem páry v sušicím prostředí. Tento děj se nazývá desorpce. Uskladníme-li takto vysušený materiál do vlhkého prostředí, bude pak podle svých hydroskopických vlastností přijímat vlhkost až do stavu rovnovážné vlhkosti, tento děj se nazývá adsorpce. Hydroskopické plasty je nutno chránit před vlhkostí. [6]

Doprava materiálu - závisí na typu (granule, prášek) a na množství dopravovaného materiálu. Velké společnosti zabývající se zpracováním plastů mají k dispozici zásobníky, ze kterých je materiál dodáván pneumaticky přímo ke strojům nebo do sušáren, a odtud

po sušení následně ke vstřikovacím strojům. K pneumatické dopravě se mohou použít vakuové nebo tlakové systémy. Potrubí má většinou průměr do 100 mm a je z oceli nebo ze slitin hliníku. Vakuový systém se používá do vzdálenosti 100 m. Přetlakový systém, který pracuje s větším tlakem vzduchu, je použitelný až do vzdálenosti 200 m. [10]

4 TECHNOLOGIE ZPRACOVÁNÍ PLASTŮ

Pro zpracování plastů lze v dnešní době použít řadu technologií. Technologický proces se musí vybírat podle vlastností plastu, tvaru a funkce výrobku, a v neposlední řadě ekonomičnosti výroby. Technologie na zpracování plastu lze rozdělit na tři skupiny, které mohou být použity každá samostatně, nebo mohou být použity všechny jejich vzájemné kombinace.

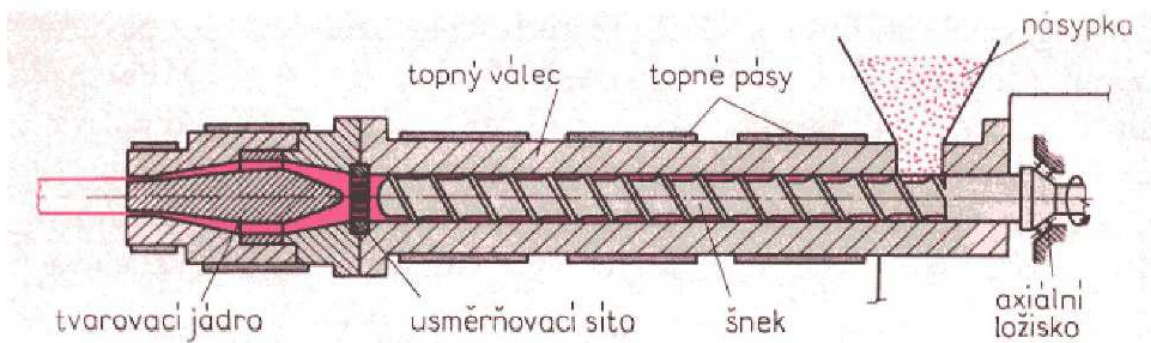
- **Tvářecí technologie** – patří sem technologie, při kterých se tvar výchozího materiálu mění zásadním způsobem. Dochází k významnému přemístování částic materiálu. Tváření probíhá za působení teploty a tlaku, nebo obou vlivů současně. Tvářecí technologie zahrnuje vytlačování, vstřikování, válcování, lisování, ale i laminování a odlévání. Výsledkem tvářecích technologií je výroba konečného dílu, nebo polotovaru. [9]
- **Tvarovací technologie** – zahrnuje technologie, u kterých se většinou vychází z polotovaru a plast mění svůj tvar bez značného přemístování částic. Může se uplatňovat vliv teploty i tlaku, ale také nemusí. Patří sem výroba dutých těles, tvarování desek, ohýbání trubek a desek, spojování a spékání plastů, obrábění plastů, atd. [9]
- **Doplňkové technologie** – doplňkové technologie zahrnují takové technologie, které nelze přiřadit do tvářecích a tvarovacích technologií. Technologie na úpravu povrchu jako povlakování, dezénování, potiskování, lakování, kašírování, pokovování. Technologie využívající kapalné systémy (impregnace, máčení, natírání), technologie určené pro spojování plastových dílů (svařování, lepení, nýtování). [9]

4.1 Tvářecí technologie

4.1.1 Vytlačování

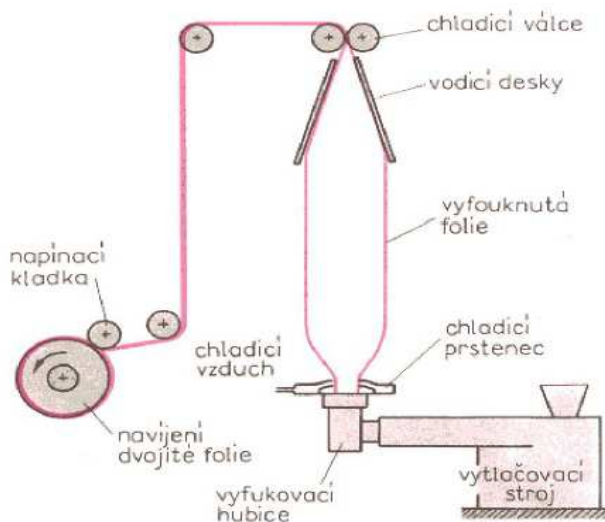
Je technologická operace, které se od vstřikování liší tím, že tavenina je vytlačována do volného prostoru. Ve vytlačovacím stroji se granulovaný termoplast dopravuje vyhřívaným válcem pomocí šneku. Vytlačovací válec je ukončen vytlačovací hlavou s hubicí, která tvaruje výrobek. Hubice je vyměnitelná podle požadovaného typu výrobku. Hned za strojem se vytlačovaný polotovar kalibruje, chladí, a poté se navíjí nebo řeže na požadované délky.

Fólie a desky vyrobené vytlačováním se mohou ještě za tepla homogenizovat válčováním, nebo se mohou naválcovat na nosný podklad (tkanina, papír). Technologii vytlačování jsou vyráběny trubky, tyče, hadice, profily, desky a fólie převážně z termoplastů na vytlačovacích strojích. [7]



Obr. 5 Schéma vytlačovacího stroje s hubicí na vytlačování trubek, [7]

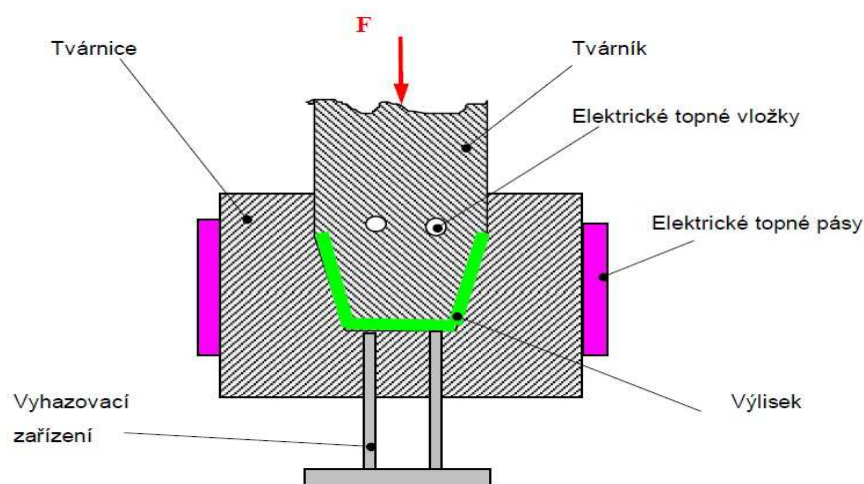
Fólie je možné vyrábět nafukováním vytlačované, ještě teplé a tvárné trubky (např. z PE), přičemž stěna trubky se ztenčí až na několik setin milimetru. Složená dvojitá fólie je pak navíjena.



Obr. 6 Linka na výrobu fólií vyfukováním, [7]

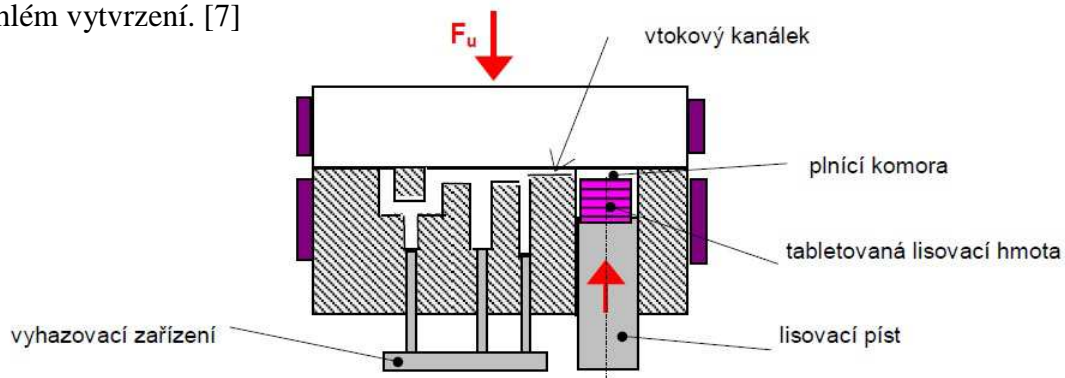
4.1.2 Lisování a přetlačování

Technologie lisování je využívána především u reaktoplastů. Termoplasty jsou lisovány jen ve zvláštních případech, např. když dosahují špatné tekutosti. Reaktoplasty jsou lisovány v kovových, obvykle elektricky vyhřívaných formách, které jsou umístěny na hydraulických lisech. Předem odměřené množství reaktoplastu ve formě prášku, nebo tablet je vloženo do předehřáté formy. Lisovací forma se uzavře a hmota za působení tlaku 25–60 MPa a teploty 140–170 °C přejde do tekutého stavu, vyplní formu a vytvrdí se (obr. 7). Délka pracovního cyklu se odvíjí od tloušťky stěny a může trvat 2–10 minut. Lisování termoplastů má odlišný technologický postup. Forma se musí předehřívat, po lisování se musí ochlazovat, čímž vznikají velké časové prodlevy. [7]



Obr. 7 Schéma lisovacího stroje, [7]

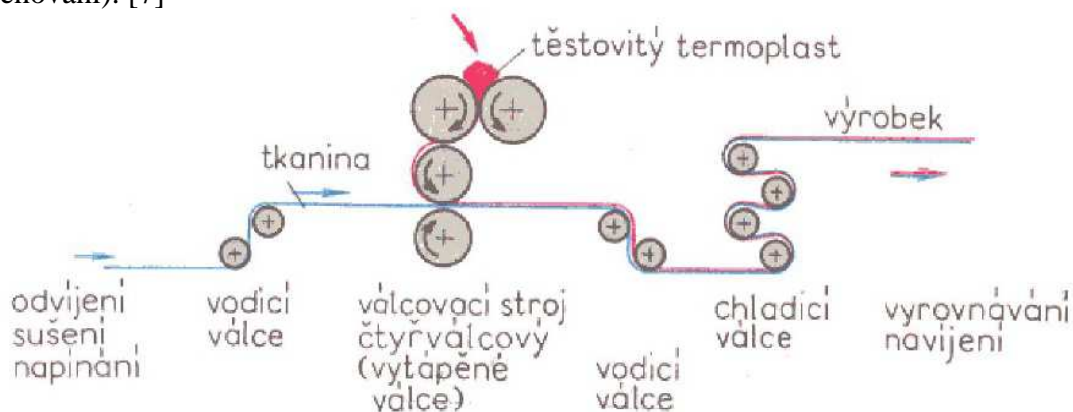
Přetlačování je modifikace lisování, která je používána pro fenolformaldehydové pryskyřice s dobrou tekutostí. Reaktoplast ve formě tablety se vloží do plnicí komory ve vyhřívané formě. Forma se uzavře a hmota se za působení tepla roztaví a lisovací píst ji přetlačí vtokovým kanálkem do tvarové dutiny, kde dojde k vytvrzení (obr. 8). Výhody přetlačování oproti lisování spočívají v rovnoměrném prohřátí hmoty a rovnoměrném a rychlém vytvrzení. [7]



Obr. 8 Schéma přetlačovacího stroje, [7]

4.1.3 Válcování

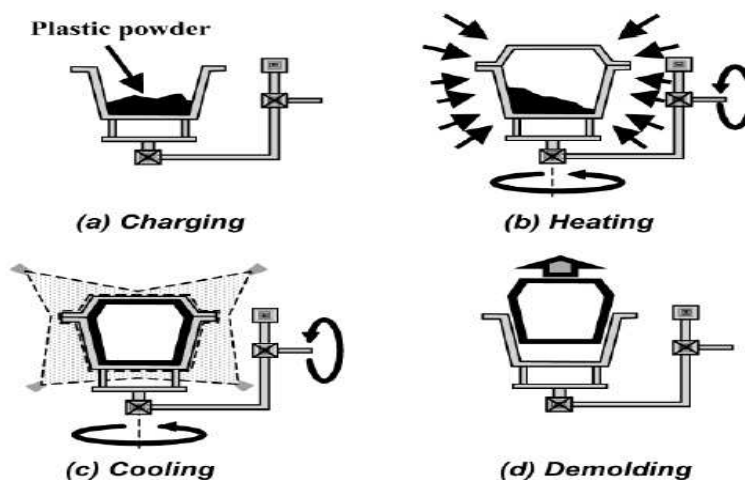
Technologie válcování je používána pro výrobu pásů a fólií z termoplastů a elastomerů na vytápěných válcovacích strojích. Pásky a fólie se také mohou naválcovat na podkladovou tkaninu jako je plst', apod. Do jejich povrchu je možné vytlačovat reliéfové vzory (desénování). [7]



Obr. 9 Naválcování vrstvy termoplastu na nosnou textilní tkaninu, [7]

4.1.4 Odlévání

Pro odlévání se používají termoplasty (PMMA, PVC, PA) i reaktoplasty (polyesterové, epoxidové, fenolické, apod. pryskyřice), lze použít i latexy. Základem technologie odlévání je převedení polymeru z tuhého stavu do stavu tekutého a následné vyplnění formy. Mezi výhody odlévání patří výroba dílů bez vnitřního pnutí, konstrukční jednoduchost, minimální odpad a nízké náklady na pořízení formy a stroje. Mezi nevýhody patří omezený počet vhodných typů plastů, nízká dosahovaná rozměrová přesnost odlitků, časová náročnost pracovních cyklů. Podle pohybu formy se odlévání dělí na gravitační, odstředivé a rotační (obr. 10). [10]

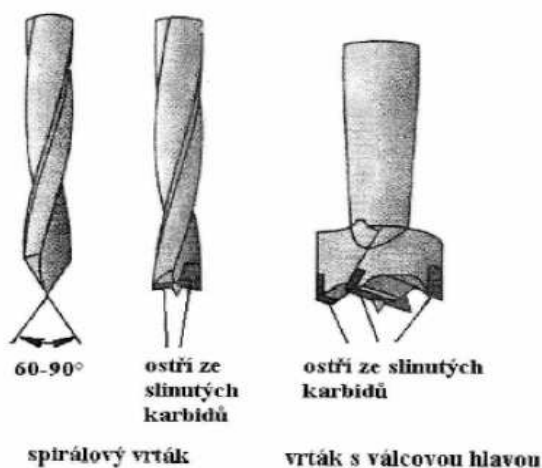


Obr. 10 Princip rotačního odlévání, [3]

4.2 Tvarovací technologie

4.2.1 Obrábění plastů

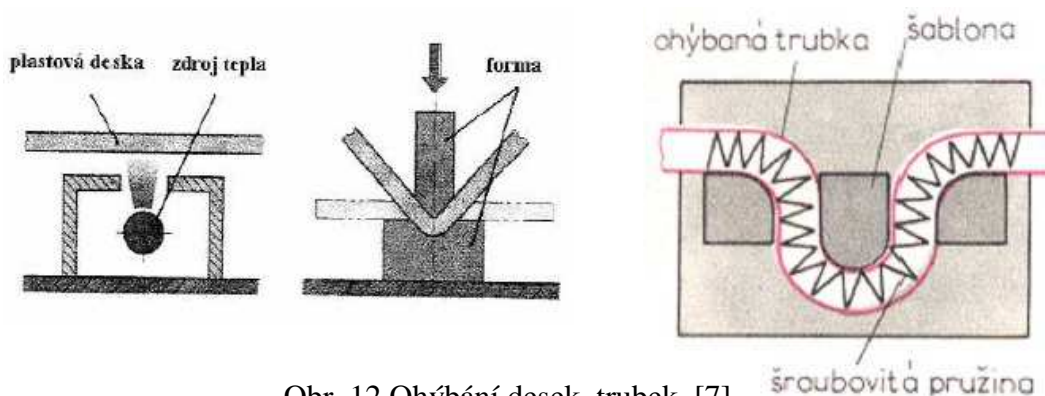
Obrábění je používáno v kusové výrobě. Mohou se obrábět bloky, desky, trubky a tyče. Většina plastů má dobrou obrobiteľnosť, hlavně pevné a houževnaté homogenní materiály. Plniva jako jsou křemičitá, břidličná moučka a skleněná vlákna zhoršují obrobiteľnosť, a tím otupují řezné nástroje. Při obrábění je nutné dávat pozor na zahřívání plastových výrobků a jejich tepelnou roztažnost, která může vést k nepřesným rozměrům po následném ochlazení. [7]



Obr. 11 Vrtáky na obrábění plastů, [13]

4.2.2 Ohýbání trubek

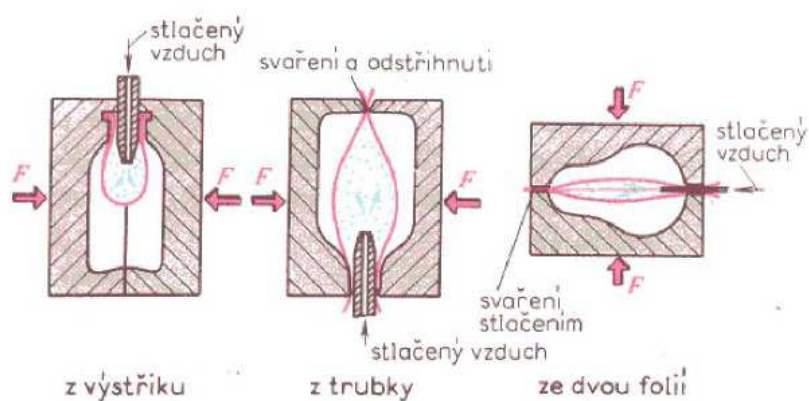
Desky z termoplastů jsou ohýbány do tloušťky 10 mm. Vnitřní poloměr ohybu má být dvojnásobek tloušťky. Desky jsou ohřívány horkou kovovou lištou nebo plamenem. Pro velkopřůměrová potrubí se desky ohýbají na horkých válcích a po délce se svařují. Ohýbání trubek z termoplastů probíhá tak, že se do nich vloží pružné hadice, šroubovitě pružiny nebo písek, aby nedošlo k jejich zploštění. Ohřejí se a poté ohnou podle šablony. [7]



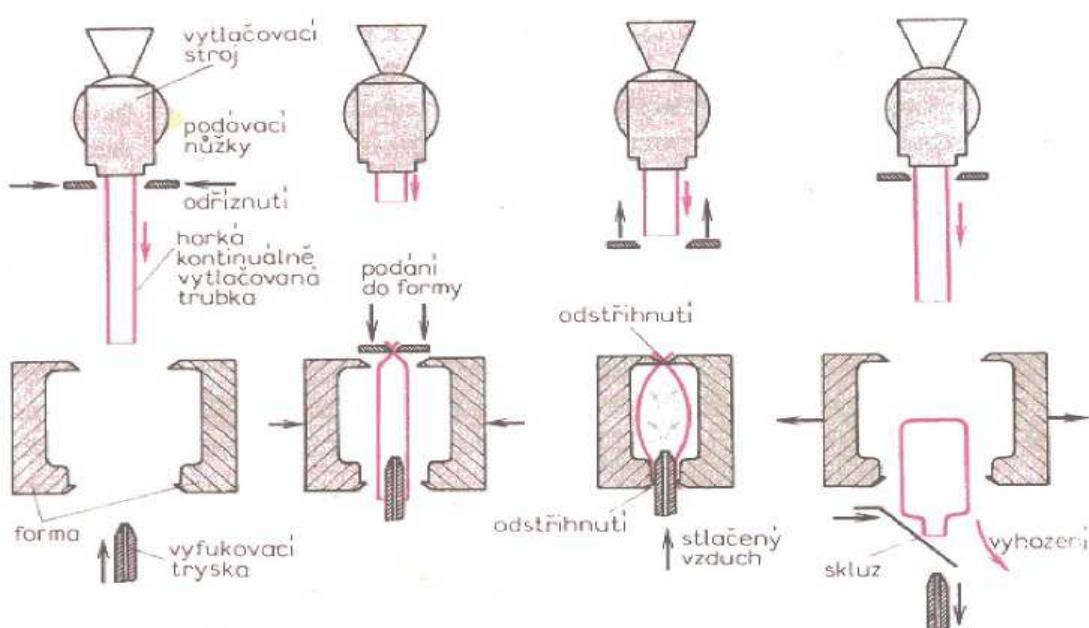
Obr. 12 Ohýbání desek, trubek, [7]

4.2.3 Vyfukování

Duté výrobky jako kanystry, lahve, apod., jsou vyráběny vyfukováním právě vyrobeného ještě tvárného polotovaru, který je ve formě tvarového výstříku, nebo častěji vytlačované trubky. Tloušťka stěny výrobku není ve všech místech stejná, nejmenší je v místě největšího rozšíření tvaru při vyfukování. Použitím tvarového výstříku jako polotovaru se dosáhne rovnoměrnější tloušťky stěn. Polotovar ve formě tvarového výstříku je dražší než polotovar ve formě trubky. Vyfukovací stroje jsou složeny z vytlačovacího stroje na trubkový polotovar, z ocelových forem, které jsou upnuty do uzavírací jednotky, zařízení na přívod tlakového vzduchu. Vyfukovací stroje pracují plně automaticky. Vyfukováním také mohou být tvarovány dvě předeřháté fólie např. při výrobě dutých koleček, hraček, atd., jejichž tvar pro vyfukování z polotovaru ve formě trubky není výhodný. [7]



Obr. 13 Princip vyfukování dutých výrobků, [7]

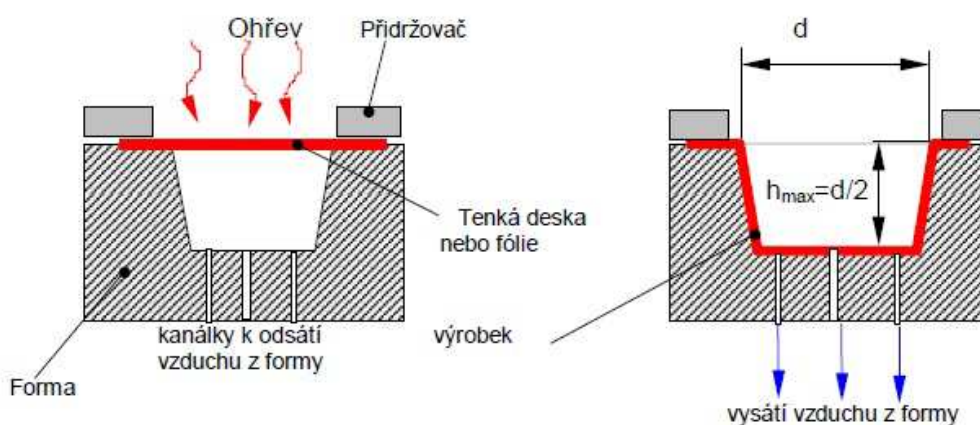


Obr. 14 Postup výroby lahví z PE na vyfukovacím stroji, [7]

4.2.4 Vakuové tvarování

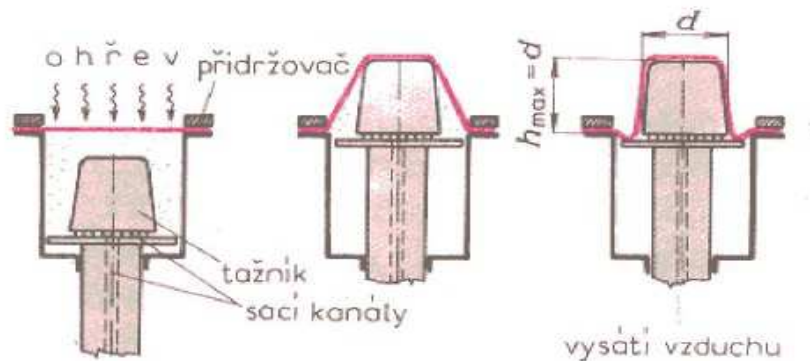
Desky a fólie z termoplastů jsou tvářeny podtlakem za působení tepla ve formách v kaučukovitém stavu. Při vakuovém tvarování dochází k přemísťování makromolekul a k jejich částečné orientaci do směru tvarování. Důsledkem této orientace se výrobek po ochlazení a ztuhnutí stává zčásti anizotropní. Při opětném ohřevu má výrobek sklon vrátit se částečně do původního stavu (tzv. tvarová paměť). Formy mohou být ze dřeva, sádky, plastů, apod. [7]

Vakuové tvarování jednoduché je používáno jen do hloubky polovičního průměru výrobku, aby se tvarováním v rozích a na hranách u dna neztenčila stěna příliš.



Obr. 15 Postup při jednoduchém vakuovém tvarování, [7]

Kombinací vakuového tvarování s tažením lze dosáhnout hloubky výtažku rovnou jeho průměru. Výrobky mají mít velká zaoblení, alespoň 3 násobek tloušťky stěny. Nejvhodnější je eliptický nebo kruhový půdorys výtažku. Mezi příklady výrobků vakuového tvarování s tažením patří: kelímky, tenkostěnné krabice, vany, umyvadla, části karosérií a jiné. [7]



Obr. 16 Vakuové tvarování s tažením, [7]

4.3 Doplnkové technologie

4.3.1 Lepení

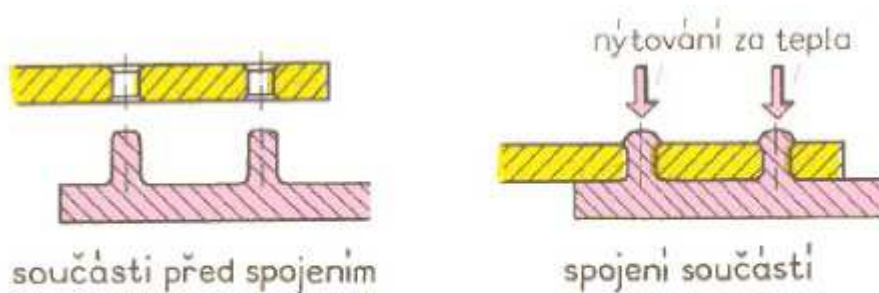
Lepení je technologický proces, při kterém je vytvářen nerozebíratelný spoj za použití lepidla. Lepit můžeme dva stejné nebo odlišné materiály. Mezi výhody lepení patří možnost spojovat různé typy plastů a díly různé velikosti a tloušťky. Nedochozí k narušení struktury jako u nýtování nebo ovlivnění struktury jako při svařování. Mezi nevýhody patří potřeba dokonalé přípravy povrchu a doba ke ztuhnutí nebo vytvrzení lepidla, nižší tepelná odolnost lepeného spoje a nízká odolnost proti odlupování. Mezi základní druhy lepených spojů patří spoj zkosený, přeplátovaný a se stykovou deskou (obr. 17). [10]



Obr. 17 Základní typy lepených spojů, [10]

4.3.2 Nýtování

Nýtování součástí z termoplastů je možné za působení tepla a tlaku u větších průměrů nýtů, a za studena u malých průměrů nýtů. Nýty mohou být jak výběžky jedné součásti, tak samostatné součásti nýtového spoje. [7]



Obr. 18 Postup nýtování, [7]

4.3.3 Svařování

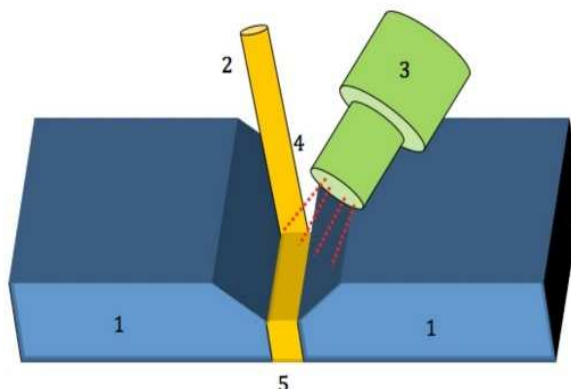
Technologie svařování plastů je spojování dílů za použití tepla nebo tlaku. Svařovat plasty je možné s přídavným materiálem nebo bez něho. Ve svařované oblasti je materiál ve viskózně-tekutém stavu. Svařovat lze pouze termoplasty. Reaktoplasty nelze svářet, protože po prvním zpracování jsou již dále tepelně nezpracovatelné. Výhodné pro svařování jsou termoplasty, které mají širokou oblast viskózního stavu a pozvolný přechod do tekutého stavu, např. PS, PVC, PE. Jsou-li svařeny dva odlišné druhy plastů, je potřeba počítat s vysokým poklesem meze pevnosti svarového spoje. Takové svarové spoje jsou určeny pouze pro podřadné účely. [10]

Dle způsobu dodávání tepla do místa svaru lze rozlišit následující svařovací metody:



Obr. 19 Svařovací metody, [1]

Svařování horkým plynem:



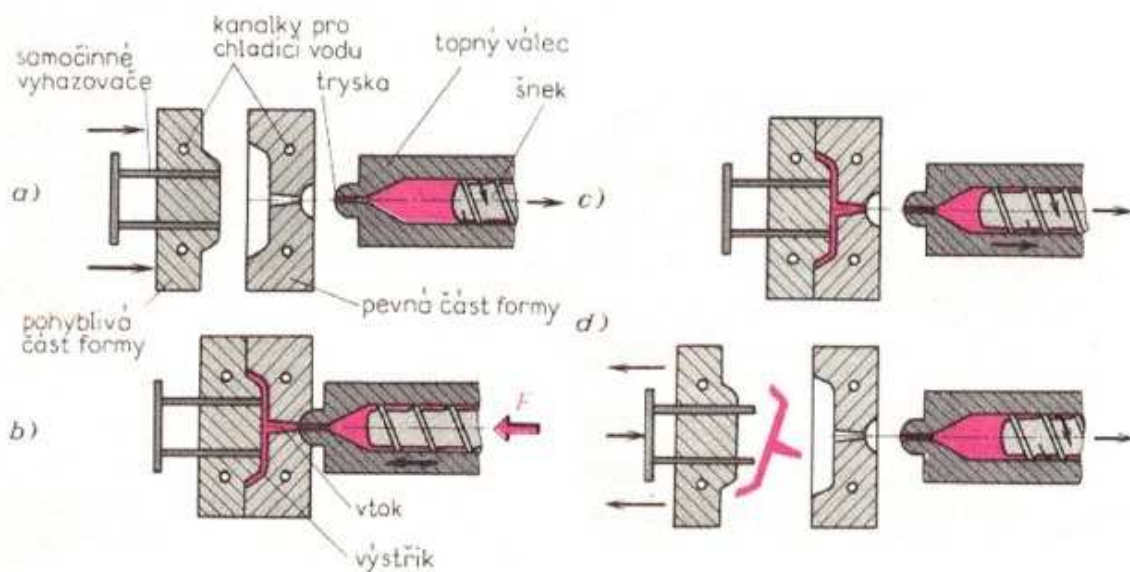
Obr. 20 Princip svařování horkým plynem s přídavným materiálem: 1 - základní materiál, 2 - přídavný materiál, 3 - tryska svařovací pistole, 4 - horký vzduch, 5 - svár, [1]

5 TEORIE VSTŘIKOVÁNÍ PLASTŮ

5.1 Podstata a princip technologie vstřikování

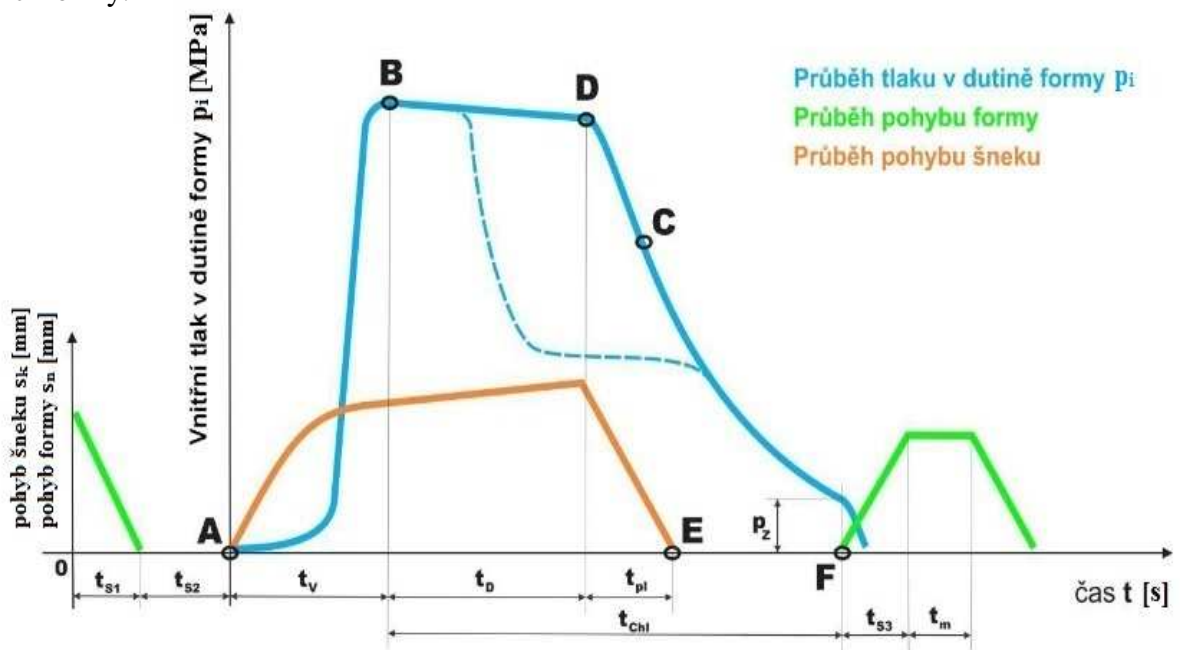
Technologie vstřikování je tvářecí proces, při kterém je potřebná dávka zpracovávaného materiálu v plastickém stavu vstříknuta velkou rychlostí pomocí pístu nebo šneku z plastikační komory do vstřikovací formy, kde následně v tvarové dutině formy důsledkem ochlazení ztuhne ve finální výrobek. Plastikační (tavící) komora je součástí vstřikovacího stroje a zásoba zpracovávaného materiálu se v ní kontinuálně doplňuje během výrobního cyklu. Vstřikováním jsou zpracovávány téměř všechny druhy termoplastů. Při vstřikování termoplastů je forma chlazená. V omezené míře jsou vstřikovány i některé reaktoplasty a kaučuky. Při vstřikování reaktoplastů a kaučuků je forma vyhřátá na 150-200 °C, ve formě probíhají sít'ující reakce.

Princip technologie vstřikování je následující: Plast, nejčastěji v podobě granulí nebo recyklátu je nasypán do násypky, z níž je dále dopravován pracovní částí vstřikovacího stroje, a to šnekem nebo pístem, hmota je dopravována do tavící komory, kde je současným působením tření a tepla plast převeden do stavu taveniny. Tavenina je poté vstřikována do tvarové dutiny formy, kterou zcela vyplní a získá její tvar a objem. Následuje fáze dotlaku pro snížení smrštění a rozměrových změn. Teplota je z výstřiku předávána formě, a výstřik postupným ochlazením ztuhne v konečný výrobek. Po ochlazení je forma otevřena a zhotovený výrobek je vyhozen, výrobní proces se opakuje (obr. 21). [9]



Obr. 21 Princip technologie vstřikování: a) plastikace, b) vstřikování a dotlak, c) ukončení vstřiku, d) otevření formy, [7]

Princip technologie vstřikování lze také popsat na vstřikovacím cyklu v diagramu $p_i - t$, který znázorňuje časovou závislost vstřikovacího tlaku v tvarové dutině vstřikovací formy.



Obr. 22 vstřikovací cyklus v $p_i - t$ diagramu, [9]

Na začátku vstřikovacího cyklu je tvarová dutina formy prázdná a forma je otevřena. V nulovém čase je stroji dán impuls, aby zahájil vstřikovací cyklus. V časovém intervalu t_{s1} je pohyblivá část formy přisunuta k pevné, a forma se uzamkne. Pokud je přisunuta vstřikovací jednotka vstřikovacího stroje k formě, je činnost popsána časovým intervalem t_{s2} . Časové intervaly t_{s1} a t_{s2} jsou strojní časy. V bodě A je šnek uveden do pohybu v tavicí komoře, a začíná vstřikování taveniny do tvarové dutiny vstřikovací formy. Tato doba je nazývána doba vstřikování a značí se t_v . Ve fázi vstřikování je dosaženo maximální hodnoty tlaku. Vstřikování je ukončeno v bodě B. Vstříknutý objem taveniny vyplňuje tvarovou dutinu formy z 95 až 97 %. Tavenina při styku se stěnami formy začne předávat teplo formě a chladnout. Během fáze vstřikování je šnekem vykonáván pouze axiální pohyb, neotáčí se a plní funkci pístu. Výstřik je chlazen až do otevření formy a jeho vyhození. Tato doba je nazývána doba chlazení a je označena t_{chl} . Během chlazení se hmota smršťuje a na výstřiku se mohou vytvořit propadliny nebo staženiny. Proto je nutné kompenzovat zmenšování objemu dodatečným dotlačením taveniny do dutiny formy. Tento úsek cyklu je nazýván doba dotlaku a je označen t_d . Dotlak může být po celou dobu stejně vysoký jako maximální tlak (plná modrá čára na obr. 22) nebo se může po několika sekundách snížit (přerušovaná modrá čára na obr. 22) a další chlazení pro-

bíhá při sníženém tlaku. Doba dotlaku je ukončena v bodě D. Při fázi dotlaku musí před čelem šneku zůstat určitý objem plastu tzv. polštář, na který bude šnek působit svým čelem. Objem polštáře je závislý na velikosti výstřiku. Bod C označuje okamžik zatuhnutí roztavené hmoty ve studeném vtokovém kanálu. Po dotlaku začíná plastikace nové dávky plastu, časový úsek t_{pl} , je ukončen v bodě E. Šnek se začne otáčet, pod násypkou nabírá granulovanou hmotu, plastikuje ji a vtlačuje do prostoru před čelem šneku. Dále může, ale nemusí následovat odsunutí vstřikovací jednotky od formy (podle typu použité trysky). Během pokračující fáze chlazení tlak ve vstřikovací formě dále klesá až na hodnotu zbytkového tlaku p_z , což je tlak, pod nímž se výstřik nachází ve formě těsně před jejím otevřením. V bodě F je vstřikovací forma otevřena a výstřik vyhozen z formy. Na tuto operaci je potřeba strojní doba t_{s3} . Je-li výstřik vyjímán z formy manipulátorem, je k tomu navíc vymezena manipulační doba t_m . [9]

5.2 Základní předpoklady pro vstřikování s definovanou jakostí

Kvalita plastových výstřiků z termoplastů je definována jejich stavem, po vyjmutí z formy a odpočínutí po dobu minimálně 16 minut až 48 hodin, nejčastěji však po době 24 hodin v normálních podmínkách. Stav zhotovených výstřiků je definován:

- Stupněm a rozložením makromolekul. U vyztužených materiálů i orientací vyztužujících plniv. Z technologického pohledu má na orientaci vliv teplota taveniny, vstřikovací rychlost, dotlaková a ochlazovací fáze vstřikování.
- Tepelným pnutím, které je ovlivněné teplotou formy a taveniny. Pnutí z nerovnoměrné orientace, pnutí z nerovnoměrné krystalizace a pnutí ze špatně zvolených parametrů dotlakové fáze vstřikovacího procesu.
- U částečně krystalických termoplastů jejich obsahem krystalické fáze.

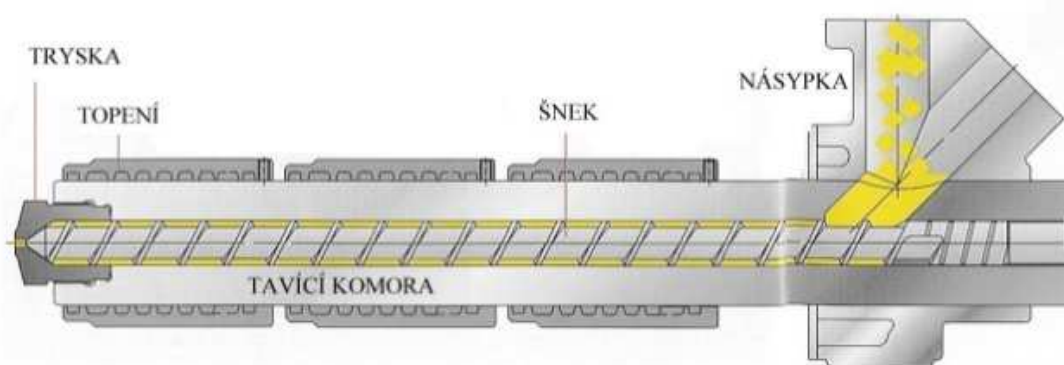
Jakost výstřiků závisí na všech faktorech, které zasahují do vstřikovacího procesu. Mezi tyto faktory patří:

- typ vstřikovaného materiálu a jeho vlastnosti (smrštění, anizotropie, modul pružosti),
- vstřikovací stroj,
- použitá přidružená zařízení (sušení, doprava a dávkování materiálů),
- konstrukce formy,
- technologické parametry vstřikování.

Nejdůležitější zastoupení ve vztahu ke kvalitě má konstrukce výstřiku a konstrukce vstřikovací formy. Pokud je chybná konstrukce formy nebo vstřiku, tak ani to nejkvalitnější technologické nastavení parametrů vstřikování vady nekvalitních výrobků neodstraní. Při vyhodnocování aspektů působících na kvalitu je nutné brát ohled zejména na tloušťku stěn výstřiku a jejich rovnoměrnost. Na tvarovou složitost výstřiku, úkosity a zaoblení hran. Při konstrukci formy musí být kladen důraz na dostatečnou tuhost, dokonalé odvzdušnění v místech tvarové dutiny, temperační systém určující teplotu stěn formy, vtokovou soustavu, počet a umístění vtokových ústí. Dále na technologické parametry vázané na konkrétní typ materiálu. Vstřikovací cyklus lze rozdělit na čtyři hlavní fáze, které ovlivňují stav a kvalitu výstřiku. [15] O těchto fázích bude pojednáno níže.

5.3 Plastikace materiálu

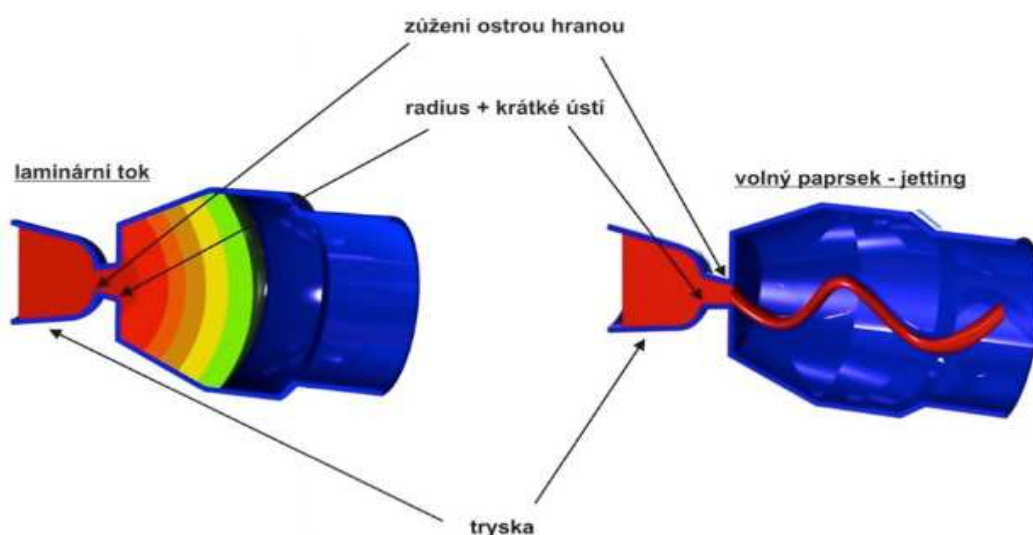
Základní podmínka pro správné naplnění tvarové dutiny formy je dosažení teplotní a viskozitní homogenity v tavenině před čelem šneku. Během fáze plastikace je plast převeden do stavu taveniny vlivem rotačního a současně zpětného pohybu šneku a třením taveniny o stěny tavící komory, třením mezi granulemi mezi sebou a vlivem tepla od elektrických topných těles umístěných na obvodu tavící (plastikační) komory (obr. 23). Během fáze plastikace se musí dosáhnout požadované teploty taveniny, která byla nastavena pro konkrétní materiál na vstřikovací stroji pro výrobu daného dílu, protože tato teplota ovlivňuje velikost a průběh tlaku ve formě, viskozitu plastu, dobu vstřikování, dobu dotlaku, dobu chlazení. Nehomogenita taveniny se projeví záporně na jakosti povrchu výstřiku – tokové čáry, lesk, vnitřní pnutí. U částečně krystalických materiálů se nehomogenita taveniny projeví nerovnoměrnou tvorbou makromolekulární struktury. Rozhodující vliv na orientaci makromolekul ve výstřiku má teplota taveniny. [9]



Obr. 23 Plastikací (tavící) komora, [9]

5.4 Vstřikování materiálu

Proces plnění tvarové dutiny vstřikovací formy je jedním z nejdůležitějších prvků technologie vstřikování. Rozhoduje o tom, zda dojde k zaplnění tvarové dutiny formy, ale i o dalších vlastnostech hotového výrobku. Jde o velmi krátký časový úsek, při kterém nesmí dojít k zatuhnutí čela taveniny plastu. Časový interval plnění se pohybuje v řádech několika málo sekund, u výstřiků s velkou hmotností je doba vstřikování delší. Plnění tvarové dutiny vstřikovací formy by mělo být co nejkratší z toho důvodu, že tavenina plastu se stykem s formou ochlazuje a ztrácí tekutost. Plnění by mělo probíhat tak, aby tavenina plastu nevtékala do tvarové dutiny vstřikovací formy volným tokem, ale laminárním tokem (obr. 24). [9]



Obr. 24 Princip procesu plnění laminárním tokem a volným tokem, [9]

Teplota na lici vstřikovací formy je nižší než teplota taveniny, a proto tavenina při kontaktu se stěnou formy okamžitě tuhne a tvoří vrstvu nepohyblivé hmoty a vrstvu tepelné izolace. Uvnitř stěny je plastické jádro s vysokou tekutostí, které umožňuje další průtok taveniny plastu do tvarové dutiny formy. Tavenina se poté roztéká směrem ke stěnám, až dojde k postupnému zaplnění celého objemu tvarové dutiny vstřikovací formy.

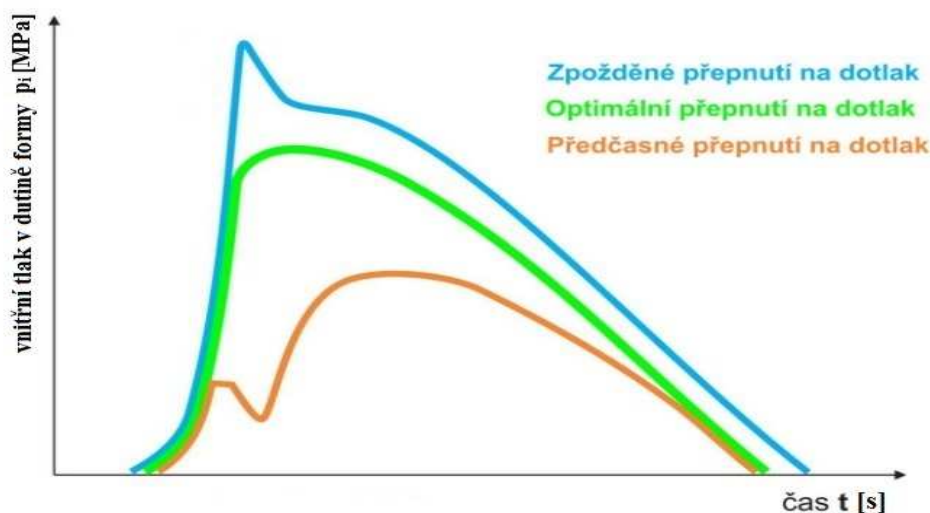
Rychlost vstřikování závisí na několika faktorech, mezi které patří vstřikovací tlak p , teplota taveniny T_{tav} , tloušťka stěny a tvar výrobku, dále objem výstřiku. Pro jednoduchý výstřik o malém objemu je doba vstřikování kratší, pro výstřik s velkým objemem a slo-

žitým tvarem je doba výstřiku delší. Rychlost vstřikování také závisí na druhu materiálu, průměru vstřikovací trysky, tekutosti a typu přísad, a v neposlední řadě také na konstrukci a druhu vtokové soustavy výstřiku. [15]

5.5 Dotlak

Po fázi vstřikování následuje fáze dotlaku. Úkolem fáze dotlaku je kompenzovat zmenšování objemu, tzv. smrštění výstřiku během jeho chladnutí ve formě. Fázi dotlaku je možné vykonávat pouze do doby, než zatuhne tavenina plastu ve vtokové soustavě. Dotlakovou fázi je výhodné ukončit dříve, než dojde k zatuhnutí vtoku. Při pozdějším ukončení dotlakové fáze dochází k přetlačení taveniny v blízkosti vtoku, a k velkému pnutí v této oblasti.

Dotlaková fáze ve vstřikovacím cyklu má plnit funkci zmenšení tlaku uvnitř dutiny vstřikovací formy. Při naplnění tvarové dutiny vstřikovací formy následuje stlačování hmoty, kdy tlak prudce naroste a rychlost náhle klesne. Kdyby tlak zůstal stejný a hodnota rychlosti vstřikování také, došlo by ke vzniku tlakové špičky, ke zvětšení rozměrů a hmotnosti výstřiku a k vysokému namáhání formy. Takovéto namáhání formy by mohlo vést ke vzniku velkého pnutí ve výrobku, dále k částečnému a krátkému otevření vstřikovací formy v dělicí rovině tzv. dýchnutí anebo k prasknutí některé části vstřikovací formy. Aby nedošlo k těmto jevům, musí se po určité době (po doplnění objemu a stlačení taveniny plastu v dutině vstřikovací formy) snížit vstřikovací tlak přepnutím na dotlak. Když se přepnutí na dotlak opozdí, stoupne tlak příliš vysoko a dojde k výše popsaným nežádoucím jevům. Při předčasném přepnutí dochází k nedostříknutí výrobku (obr. 25). Fáze dotlaku ve vstřikovacím cyklu má tedy velký vliv na výsledné vlastnosti výstřiku a její správný průběh pomáhá k dokonalému vyplnění formy. [15]

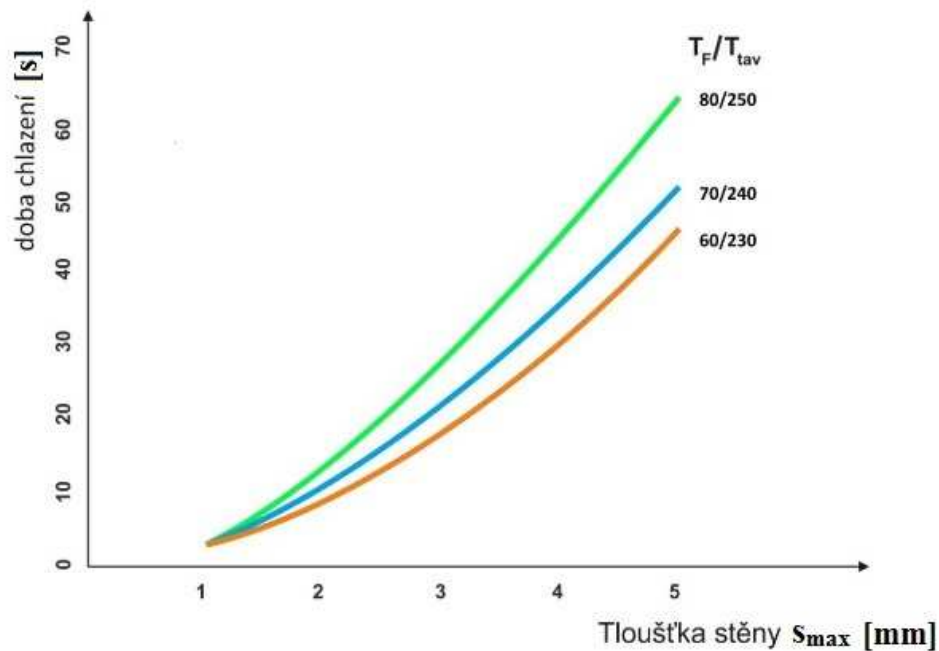


Obr. 25 Vliv doby přepnutí na průběh tlaku, [9]

5.6 Chladnutí hmoty ve formě

Ochlazování výstřiku začíná již v okamžiku začátku plnění dutiny taveninou, resp. po objemovém naplnění tvarové dutiny, a trvá až do vyhození výstřiku z formy. Základní parametry ochlazování jsou teplota formy a čas potřebný k ochlazení. Doba ochlazení musí zaručit dostatečnou tuhost výstřiku, aby nedošlo k deformaci při vyhození z formy. Z hlediska jakosti je určující faktor teplota formy při ochlazování. Rychlost ochlazování je rozhodující pro orientační a tepelné pnutí, krystalickou strukturu.

Doba chlazení dále závisí na tloušťce stěny výstřiku, na druhu plastu, teplotě taveniny T_{tav} , teplotě formy T_F a na teplotě výstřiku v okamžiku vyjímání z formy (obr. 26). Z ekonomického hlediska je snaha zkrátit dobu chlazení na minimum. Chlazení vstřikovacích forem se obvykle provádí průtokem chladícího média, nejčastěji vodou. [15]

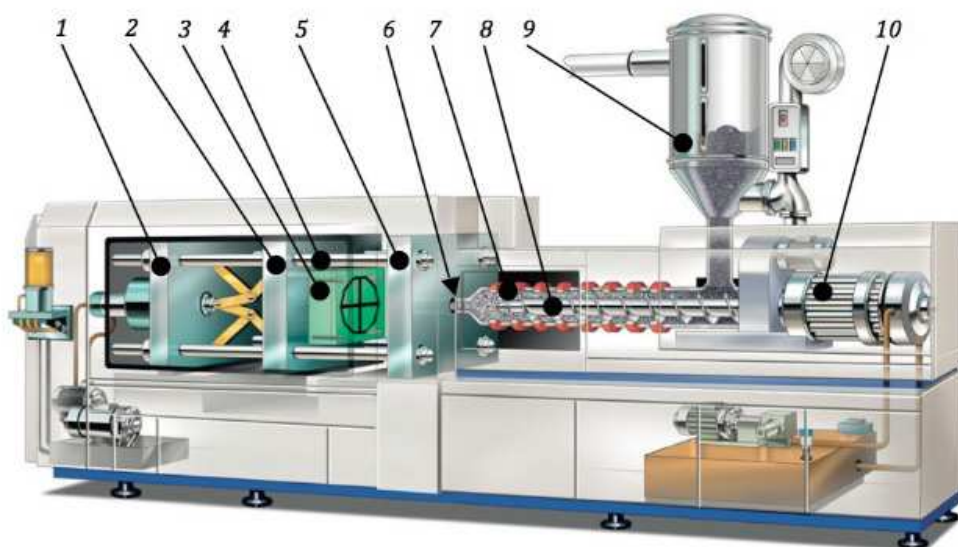


Obr. 26 Doba chlazení v závislosti na tloušťce stěny, teplotě formy a taveniny, [9]

6 VSTŘIKOVACÍ STROJE

Ke vstřikování plastů se používají vstřikovací stroje, které se také mohou označovat jako vstřikolisy. Tyto stroje jsou primárně určeny pro zpracování plastů především v podobě granulí. Vstřikovací stroje mají dvě na sobě nezávislé jednotky, vstřikovací a uzavírací jednotku, které jsou řízeny mikroprocesorovou jednotkou. Vstřikovací proces probíhá většinou plně automaticky, takže se dosahuje vysoké produktivity práce. Pořizovací cena strojního zařízení i vstřikovací formy je však vysoká, a proto je vhodná pro velkosériovou a hromadnou výrobu. Vstřikovací stroje můžeme dělit do skupin dle následujících kritérií:

- dle pohonu zajišťující pohyb v hlavních osách stroje (posuvy vstřikovací a uzavírací jednotky). Tyto pohony mohou být hydraulické motory nebo elektrické motory. Existují i hybridní vstřikovací stroje, které kombinují přednosti obou typů pohonů.
- podle pracovního členu v tavící komoře vstřikovací jednotky na pístové vstřikovací stroje a šnekové vstřikovací stroje. V dnešní době převažují vstřikovací jednotky se šnekem.
- dle typu zpracovávaného plastu pro zpracování termoplastů, reaktoplastů či kaučuků,
- podle otáček šneku na rychloběžné a pomaloběžné. [11]



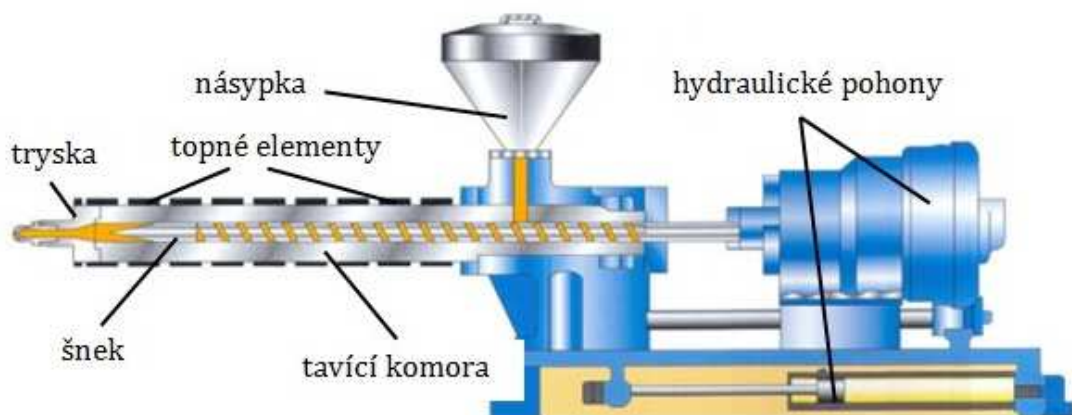
Obr. 27 Vstřikovací stroj, 1 – uzavírací jednotka, 2 – pohyblivá upínací deska, 3 – pohyblivá část formy, 4 – vodící sloupky, 5 – pevná upínací deska, 6 – vstřikovací tryska, 7 – tavící komora, 8 – šnek, 9 – násypka, 10 – pohonná jednotka, [2]

6.1 Vstřikovací jednotka

Základní úkolem vstřikovací jednotky pro zpracování plastů je převedení tuhého polymeru do stavu taveniny a následný přesun taveniny do tvarové dutiny vstřikovací formy. Vstřikovací jednotka je připevněna k posuvné konzole, ta zajišťuje její pohyb, a to přísun trysky vstřikovací jednotky ke vstřikovací formě a vytvoření a udržení potřebné přítlačné síly. Pohony vstřikovací jednotky musí zajistit rotaci šneku při plastikaci dávky taveniny a následný přesun této dávky do tvarové dutiny formy dopředným pohybem šneku, kdy šnek působí jako píst, který vytlačuje taveninu polymeru z tavicí komory vstřikovací jednotky. Šnek takto působí na taveninu i během fáze dotlaku.

Příslušenství, kterým je vstřikovací jednotka osazena musí zajistit velmi přesnou kontrolu pozice, rychlost šneku a celé jednotky, a rovněž velikosti působících tlaků. Vstřikovací jednotka je složena z několika částí. Vstupní část je tvořena násypkou, na níž navazuje tavicí komora, která je obklopena topnými pásy. Tavicí komora je ukončena tryskou, která dosedá na vtokovou vložku vstřikovací formy, skrze kterou tavenina plastu proudí dále do tvarové dutiny formy. Uvnitř tavicí komory je umístěn šnek s charakteristickou geometrií. [10] Mezi charakteristické parametry vstřikovací jednotky patří:

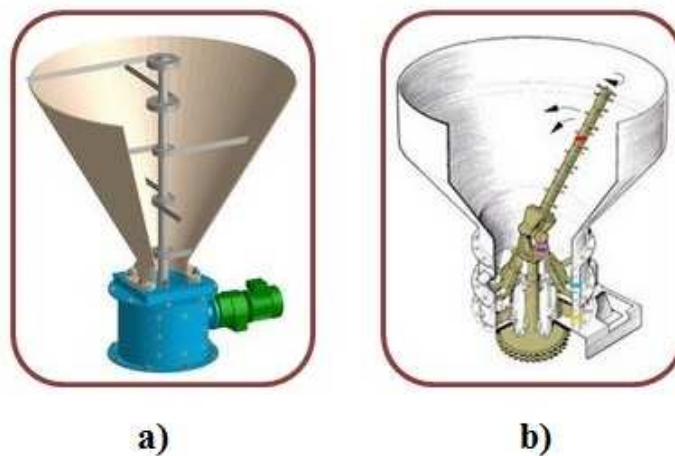
- průměr D [mm] a délka šneku L [mm]
- vstřikovací kapacita Q_v [cm^3]
- plastikační kapacita Q_p [$\text{kg}\cdot\text{h}^{-1}$]
- vstřikovací tlak $p_{\text{vstř}}$ [Mpa]
- objemovou vstřikovací rychlost v [$\text{m}^3\cdot\text{s}^{-1}$]



Obr. 28 Vstřikovací jednotka, [11]

6.1.1 Násypka

Násypkou je do tavicí komory přiváděn granulovaný plast. Standardní násypka je konstruována tak, aby zajišťovala samovolný přesun působením gravitace a vlastní hmotnosti zpracovávaného materiálu do tavicí komory k dopravníkové části šneku. Pro kontinuální zpracování granulovaného plastu je také důležité zabránit ohřevu násypky v těsné blízkosti tavicí komory, proto aby nedocházelo k natavení materiálu v ústí násypky do tavicí komory. Při použití recyklovaného materiálu bývají do násypky vkládána síta, která mají zabránit průniku větších úlomků v recyklátu k dopravníkové oblasti šneku, čímž je zamezeno ucpání spodní části násypky. Násypka může plnit i více funkcí. Může plnit funkci směšovacího systému pro přesné odměřování a přimíchávání např. recyklátu nebo barviv k základnímu materiálu. Do násypky může být přiveden teplý vzduch pro sušení materiálu před jeho zpracováním. Násypka může být vybavena i střásacím systémem, a to šnekovým nebo rotačním, který zajišťuje kontinuální přísun sypkých materiálů do tavicí komory vstřikovací jednotky. Tento systém se používá např. při zpracování plastů ve formě prášku. [11]

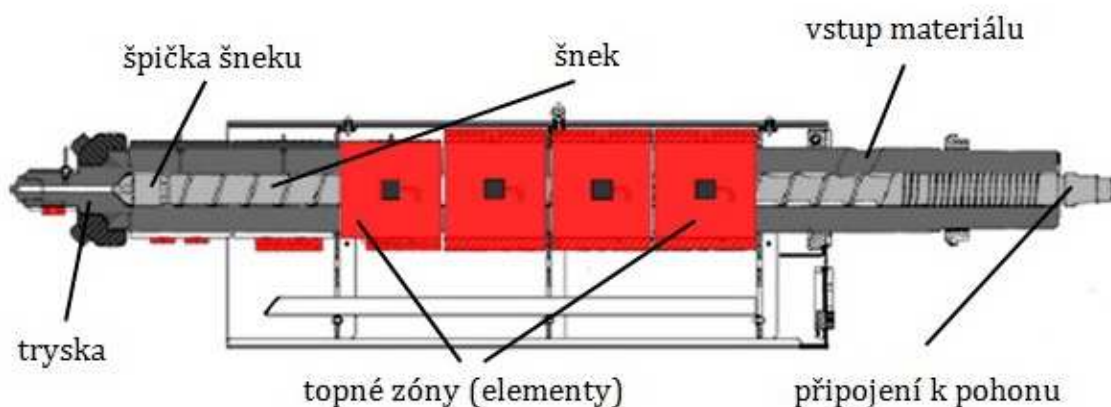


Obr. 29 Násypky se střásacím mechanismem, a) rotačním, b) šnekovým, [11]

6.1.2 Tavicí komora

Z násypky putuje zpracovávaný materiál dále do tavicí komory vstřikovací jednotky, která je zakončena tryskou (obr. 30). Tavicí komora je obklopena topnými pásy a vnější strana je tvořena izolací. Uvnitř tavicí komory je vedený šnek. Souvislý tok taveniny uvnitř tavicí komory vyžaduje velmi hladký povrch této dutiny. V tavicí komoře by nemělo dojít k hromadění materiálu. Tento jev by měl za následek jeho tepelnou degradaci, ane-

bo by znemožňovalo výměnu zpracovávaného materiálu v tavící komoře. Šnek uvnitř tavící komory nemá žádnou podporu. Vlivem hmotnosti šneku může docházet ke kontaktu mezi šnekem a povrchem tavící komory, což minimalizuje vrstva zpracovávaného materiálu, která funguje jako mazivo. Povrchy tavící komory a šneku jsou upraveny na vysokou tvrdost, aby odolávaly abrazi. Přímý kontakt by je mohl poškodit, proto by měl být pohyb šneku uvnitř tavící komory bez přítomnosti plastu minimální. [11]



Obr. 30 Tavící komora, [11]

6.1.3 Šnek

Standardní šneky, určené pro zpracování termoplastů, jsou složeny ze tří funkčních zón. První je označena jako dopravní nebo vstupní a hloubka závitů šroubovice šneku je zde největší, tato zóna se nachází pod násypkou. Hlavní funkcí první zóny je odebírat granulát z násypky a jeho další přesun do tavící komory zahřívané topnými pásy. Ve druhé zóně se stoupání i hloubka šroubovice šneku postupně zmenšuje. Materiál je v této zóně intenzivně stlačován, tato zóna se označuje jako kompresní. Poslední zóna šneku, je nazývána homogenizační, a jejím úkolem je zajištění intenzivního promíchání a prohnětení taveniny plastu - tím je zajištěno rovnoměrné rozložení teploty taveniny před jejím vstupem do prostoru, ve kterém dochází k hromadění připravené dávky taveniny (mezi tryskou a čelem šneku). Podle typu polymeru se odvíjí délka jednotlivých zón na šneku. V dopravní zóně je materiál ve formě granulátu, v kompresní zóně se zvyšuje intenzita tření a začíná vznikat tavenina. V homogenizační zóně je zastoupena pouze tavenina bez přítomnosti pevné fáze. Mezi nejdůležitější charakteristiky šneku patří:

- poměr délky šneku a jeho průměru L/D. Poměr se liší podle typu materiálů. Pro termoplasty je ideální poměr L/D roven 20:1,
- parametry závitů šneku, procentuální zastoupení délky jednotlivých zón. Délka dopravní zóny zaujímá přibližně 60%. Kompresní zóna 20% délky šneku a homogenizační také 20% délky šneku.
- kompresní poměr, který vyjadřuje rozdíl mezi výškou závitů dopravní a kompresní zóny, nabývá v závislosti na průměru šneku hodnot od 2:1 až 3:1 (šneky pro zpracování reaktoplastů a silikonů musí zajistit pouze dostatečnou homogenizaci materiálu),
- podle typu zpracovávaného plastu dělíme šneky pro zpracování, termoplastů, reaktoplastů, elastomerů a silikonů. [11]

Standardní šnek pro zpracování termoplastů



Typická délka (L/D)	20:1
Kompresní poměr	2:1
Materiály	Široké použití pro amorfni a semikrystalické materiály

Šneky pro zpracování reaktoplastů



Typická délka (L/D)	14:1
Kompresní poměr	1:1
Poznámka	Bez komprese materiálu
Materiály	Reaktoplasty

Šneky pro zpracování silikonů



Typická délka (L/D)	14:1
Kompresní poměr	1:1
Poznámka	Bez komprese materiálu
Materiály	Silikony

Obr. 31 Typy šneků, [11]

6.1.4 Tryska

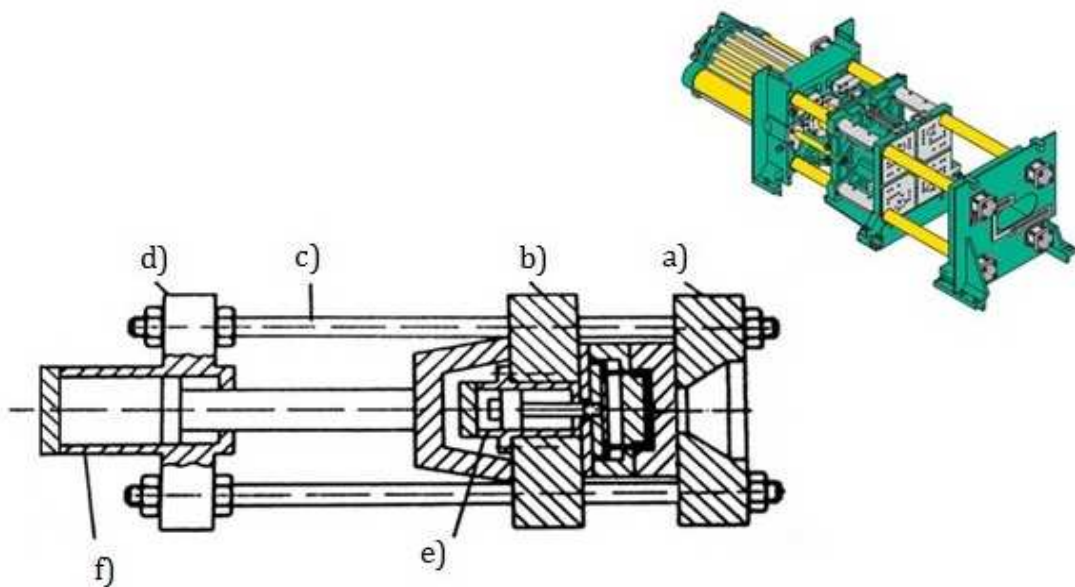
Tryska zajišťuje přesné dosednutí vstřikovací jednotky na vstřikovací formu a jejich vzájemné vycentrování. Trysky jsou konstruovány buď jako otevřené s vnitřním kanálkem o průměru 3 až 8 mm, nebo jako uzavíratelné. U uzavíratelných trysek je mechanismus k uzavření trysky mechanický nebo hydraulický (obr. 32). Uzavíratelné trysky se otevřou pouze při dosedu vstřikovací jednotky na vstřikovací vložku formy. Poté co tryška najede do vstřikovací vložky formy, posuvný mechanismus vstřikovací jednotky vyvodí přítlačnou sílu, která zabrání únikům taveniny na rozhraní trysky vstřikovací jednotky a vtokové vložky formy. Výše zmíněné funkce jsou zajištěny rádiusem na špičce trysky. Tento rádius musí být menší než rádius na dosedací ploše. Trysky nemusí být vždy zakončeny rádiusem. Trysky používané při vstřikování do dělicí roviny rádius na konci špičky nemají, protože by působil jako klín a otevíral by formu v dělicí rovině. Tryskou je uvnitř veden kanál, který je ke špičce trysky rozšířený. Tryska musí zajišťovat plynulý tok taveniny bez velkých tlakových ztrát. Délka trysky by měla být co nejmenší s ohledem na tlaky, kterým musí odolávat (přítlaku trysky na vtokovou vložku formy a tlaku taveniny). Vyvozeným tlakům musí odpovídat uchycení trysky k tavící komoře. Uchycení bývá standardně realizováno šrouby. Tryska je osazena tepelným čidlem, aby v ní nedocházelo k chladnutí taveniny. Tryska může být osazena filtrem, který zabraňuje průniku nečistot do vstřikovací formy. Při zanesení filtru začne klesat tlak taveniny na špičce trysky, proto je nutná neustálá kontrola tlaku taveniny za filtrem. Pro takový případ jsou trysky osazeny i senzory tlaku. [11]



Obr. 32 Konstrukční řešení uzavíratelných trysek, a) s pružinou, b) s hydraulickým mechanismem, [11]

6.2 Uzavírací jednotka

Funkcí uzavírací jednotky vstřikovacího stroje je zajištění upnutí a plynulý pohyb vstřikovací formy. Mezi základní prvky uzavírací jednotky patří vodící sloupky, pevná a pohyblivá upínací deska stroje s potřebným upínacím systémem a mechanismus, který je zdrojem síly potřebné pro otevírání a uzavírání formy, a který umožní vytvoření uzamykací síly, která působí proti vstřikovacímu tlaku a drží formu uzavřenou během fází vstřiku a dotlaku. Uzamykací síla je vyvozena buďto mechanicky, hydraulicky nebo kombinací obou systémů. Podle pohonu, který zajišťuje posuvy pohyblivé desky, se uzavírací jednotky dělí na elektrické nebo hydraulické). [11]



Obr. 33 Hydraulická uzavírací jednotka, a) pevná část formy, b) pohyblivá část formy, c) vodící tyče, d) rám stroje, e) hydraulický vyhazovač, f) hydraulický válec pro ovládání pohyblivé části formy, [11]

Hydraulický píst může být napojen přímo na pohyblivou upínací desku (hydraulický uzavírací systém), nebo stejně jako u elektromotoru je síla přenášena přes další mechanický systém. Tyto systémy jsou potom nazývány hydraulicko-mechanické nebo elektro-mechanické. [11]

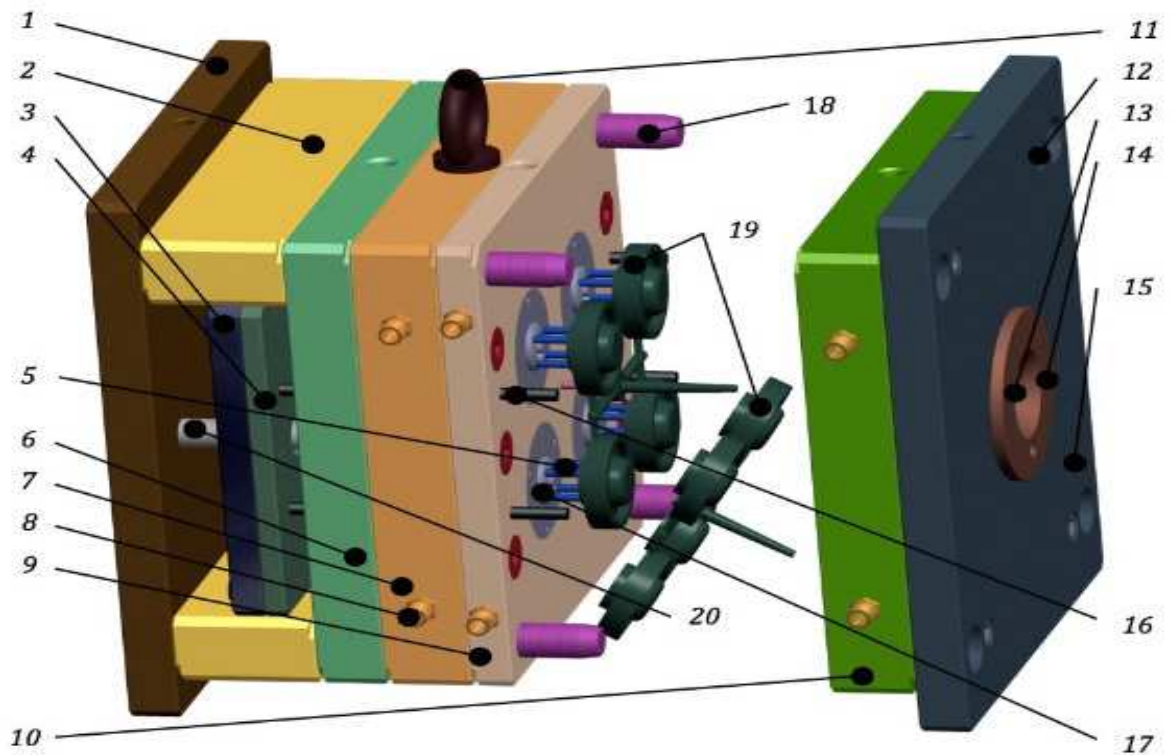
6.3 Vstřikovací forma

Forma pro vstřikování musí splňovat několik kritérií. Musí odolávat vysokým tlakům, produkovat výrobky o přesných rozměrech, umožnit snadné vyjmutí výrobku, a pracovat automaticky po celou dobu své životnosti. Konstrukce a výroba vstřikovacích forem je velice náročná na odborné znalosti a na finanční náklady. Při volbě materiálu, z kterého bude forma zkonstruována, musíme brát ohled na druh zpracovávaného plastu, na použité vstřikovací technologie, na velikost výrobku a jeho složitost, na tepelnou odolnost formy a odolnost proti opotřebení, na počet vyrobených kusů, na cenu. Dalším důležitým úkolem při konstrukci forem je stanovení rozměrů a výrobních tolerancí tvarových částí. Pro určení a výpočet těchto rozměrů jsou rozhodující smrštění, tolerance jednotlivých rozměrů vylisku a opotřebení činných částí nástroje. [10]

Vstřikovací formy lze rozdělit do skupin podle:

- podle násobnosti na jednonásobné a vícenásobné,
- podle konstrukčního řešení na dvoudeskové, třídeskové, etažové, čelist'ové, vytáčecí apod.,
- podle způsobu vstřikování na formy se vstřikem kolmo na dělicí rovinu a na formy se vstřikem do dělicí roviny.

Vstřikovací forma je složena z dílů vymezujících tvarovou dutinu formy (desky „A“, „B“ a „C“ na obr. 34), z vtokového systému, z temperančního systému, z vyhazovacího systému a z upínacích a vodících elementů. Vtokový systém je systém kanálků, které zajišťují správné naplnění dutiny formy, snadné oddělení od výstřiku a jednoduché vyhození vtokového zbytku. Vtoková soustava je navrhována podle počtu tvarových dutin a podle jejich rozmístění. Konstrukční řešení vtokového systému je závislé na tvaru výstřiku a na násobnosti formy. Temperační systém je systém kanálků a dutin, které umožňují přestup tepla z taveniny do formy a temperovací kapaliny. Teplota formy je udržována na požadované výši pomocí chladicího média, které protéká soustavou chladicích kanálků. Je žádoucí, aby hmota byla ochlazována ve všech místech konstantní rychlostí. Důsledkem nerovnoměrného ochlazení je projev vnitřního pnutí nebo deformace a vznik trhlin. Vyhazování výstřiků z formy je nejčastěji prováděno mechanicky a to pomocí vyhazovacích kolíků nebo pomocí stíracích desek, stíracích kroužků. Jednotlivé způsoby vyhazování se mohou kombinovat. [2]



Obr. 34 Otevřená dvoudesková vstřikovací forma, 1 – upínací deska pohyblivé části vstřikovací formy, 2 – rozpěra, 3 – hlavní vyhadzovací deska, 4 – přidržovací vyhadzovací deska, 5 – vyhadzovač, 6 – podpěrná deska, 7 – „B“ deska, 8 – přípojka chlazení, 9 – „C“ deska, 10 – „A“ deska, 11 – manipulační oko, 12 – hlavní montážní šrouby, 13 – vtoková vložka, 14 – středící kroužek pevné části vstřikovací formy, 15 – upínací deska pevné části vstřikovací formy, 16 – vraccí kolíky, 17 – pevné jádro, 18 – vodící sloupky, 19 – vstřikovaný díl, 20 – podpěrné válce, [2]

7 SPECIÁLNÍ ZPŮSOBY VSTŘIKOVÁNÍ

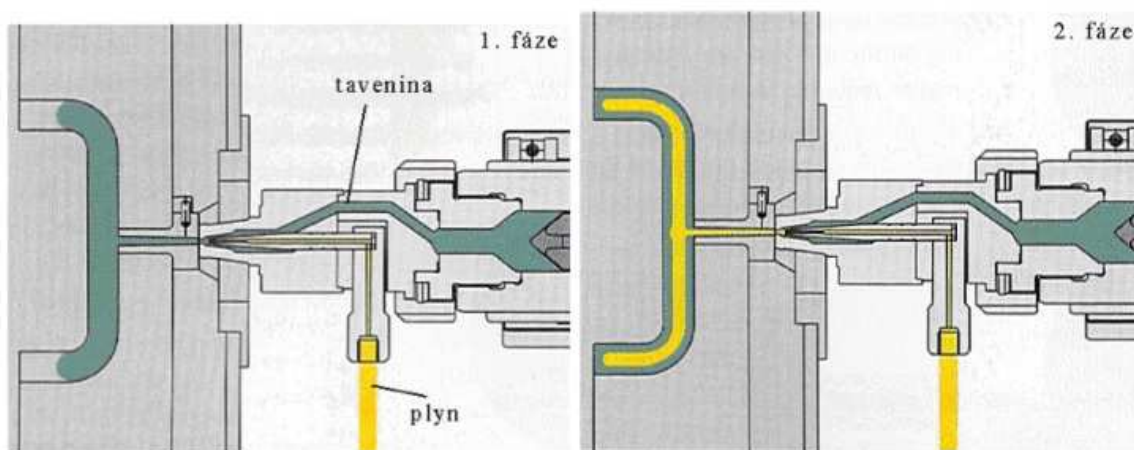
Kromě klasického způsobu vstřikování plastů je možné použít i speciální vstřikovací metody. Tyto metody se mohou lišit v parametrech vstřikovacího procesu, použitým materiálem a konstrukcí vstřikovacího stroje. Mezi tyto metody se řadí např.:

- GIT vstřikování s podporou plynu
- WIT vstřikování s podporou vody
- vstřikování sendvičů
- mramorové vstřikování
- vstřikování strukturních pěn
- vícekomponentní vstřikování

- intervalové vstřikování
- tandemové vstřikování

7.1 GIT vstřikování s podporou plynu

GIT (gas injection technology) technologie vstřikování plastů s podporou plynu je založena na přivedení inertního plynu do určitých míst výstřiku za účelem vytvoření dutiny. Nejdříve je vstříknut plast a teprve potom plyn, protože při současném vstřikování by se plyn dostal na povrch výstřiku. Nejčastěji je používán čistý dusík (s čistotou min. 99,8 %). Dusík je stlačován v rozsahu 10 až 40 MPa a přebírá funkci dotlaku. Mezi výhody technologie vstřikování s podporou plynu patří možnost vyrábět tlustostěnné plastové díly s uzavřenými dutinami bez vzniku propadlin a dlouhých časů chlazení, doba chlazení je zkrácena až o 50 % vlivem zmenšení tloušťky stěny. Hmotnost výrobku je možné snížit až o 50 %. Další výhody zahrnují nízkou deformaci plastových výrobků, snížení spotřeby materiálu a zachování vysoké kvality povrchu vyrobených dílů. Technologií vstřikování s podporou plynu je zpracovávána většina plastů, např. PP, PS, PE, PA, ABS, SAN, PPO, PC, PBT. Mezi nevýhody této technologie patří vyšší pořizovací cena stroje, složitější řízení procesu. [10]

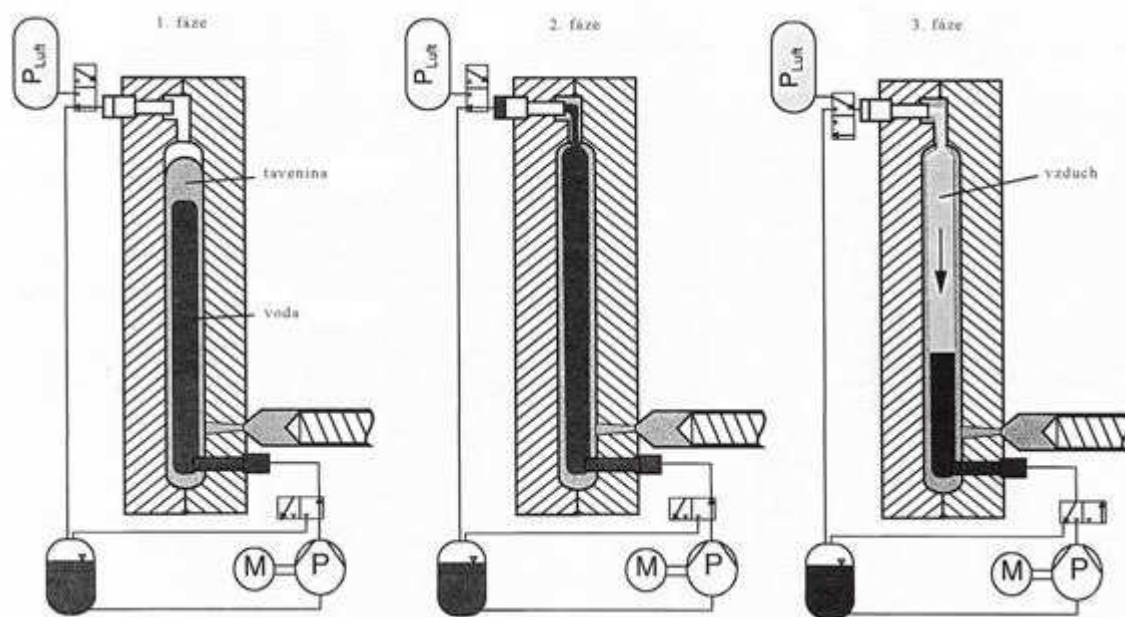


Obr. 35 Vstřikování s podporou plynu, [10]

7.2 WIT vstřikování s podporou vody

WIT (water injection technology) je technologie vstřikování s podporou vody, kdy je voda vstřikována jednou nebo více pumpami do taveniny za účelem vytvoření dutiny. Technologické principy vstřikování plastů s podporou vody jsou obdobné jako u technologie vstřikování s podporou plynu, voda, stejně jako plyn, přebírá funkci dotlaku. Na konci vstřikovacího procesu je voda z plastového dílu vytlačena tlakovým vzduchem, a je vylita do zásobníku mimo formu.

Mezi výhody technologie vstřikování s podporou vody patří výroba tlustostěnných plastových dílů a zkrácení délky vstřikovacího cyklu. Doba chlazení se zkrátí až o 90 %, voda má větší chladicí účinek než plyn. Další výhody zahrnují snížení hmotnosti výrobku, snížení spotřeby materiálu. Mezi nevýhody technologie patří vyšší pořizovací cena stroje, složitější řízení procesu, potřeba dodatečných zařízení. [10]



Obr. 36 Vstřikování s podporou vody, [10]

8 EKONOMICKÉ ZHODOCENÍ

Pro ekonomické zhodnocení výroby vstřikováním jsem si vybral elektroinstalační krabici pod omítku s označením KD150, která je vyráběna na vstřikovacím stroji ENGEL ES 500/110 HL ve firmě ČEGAN s.r.o. se sídlem ve Šlapanicích. Při výpočtu vycházím z dat, které mi byly poskytnuty firmou ČEGAN s.r.o.



Obr. 37 Elektroinstalační krabice pod omítku KD 150 [4]

Data potřebná pro výpočet nákladu na výrobu součásti.

Počet kusu v sérii:	$N = 60\,000$	[ks]
Násobnost formy:	$n = 1$	[-]
Čas vstřikovacího cyklu:	$t_c = 26$	[s]
Spotřeba el. energie stroje	$N_S = 13$	[kWh]
Koeficient opotřebení stroje:	$k = 0,9$	[-]
Cena elektrické energie:	$N_E = 2,8$	[Kč · kW ⁻¹ h ⁻¹]
Cena jednoho gramu materiálu:	$C_m = 0,018$	[Kč · g ⁻¹]
Hrubá hodinová mzda obsluhy:	$N_{MZ} = 90$	[Kč]

Náklady na výrobu

Počet vstřikovacích cyklů

$$c = \frac{N}{n} \quad [-]$$

$$c = \frac{60000}{1} = 60000 \quad [-]$$

Hmotnost výstřiku

$$M_v = 80,6 \quad [\text{g}]$$

Celková spotřeba materiálu

$$M_c = M_v \cdot c \quad [\text{g}]$$

$$M_c = 80,6 \cdot 60000 = 4800000 \quad [\text{g}]$$

Náklady na materiál celkově

$$N_{MC} = C_m \cdot M_c \quad [\text{Kč}]$$

$$N_{MC} = 0,018 \cdot 4800000 = 86400 \quad [\text{Kč}]$$

Náklady na pořízení formy

$$N_F = 120000 \quad [\text{Kč}]$$

Náklady na provoz stroje

Náklady na hodinový provoz

$$N_{HP} = \frac{N_s \cdot N_E}{k} \quad [\text{Kč} \cdot \text{h}^{-1}]$$

$$N_{HP} = \frac{13 \cdot 2,8}{0,9} = 40,44 \quad [\text{Kč} \cdot \text{h}^{-1}]$$

Čas výroby celé série

$$t_{\text{cel}} = \frac{t_c \cdot N}{n} \quad [\text{s}]$$

$$t_{\text{cel}} = \frac{26 \cdot 60000}{1} = 1560000 \text{ [s]} = 433,33 \text{ [h]}$$

Náklady na provoz stroje pro sérii

$$N_{CS} = N_{HP} \cdot t_{\text{cel}} \quad [\text{Kč}]$$

$$N_{CS} = 40,44 \cdot 433,33 = 17523,86 \quad [\text{Kč}]$$

Náklady na mzdu obsluhy – sociální a zdravotní pojištění ve výši 34 % z hodinové mzdy

$$N_O = N_{MZ} \cdot 1,34 \cdot t_{\text{cel}} \quad [\text{Kč}]$$

$$N_O = 90 \cdot 1,34 \cdot 433,33 = 52259,59 \quad [\text{Kč}]$$

Výrobní režie - obsahuje ostatní náklady spojené s výrobou a je vypočítána přírážkou ve výši 200 % ze mzdových nákladů

$$N_{VR} = N_O \cdot 2 \quad [\text{Kč}]$$

$$N_{VR} = 52259,59 \cdot 2 = 104519,18 \quad [\text{Kč}]$$

Správní režie – obsahuje náklady spojené s řízením firmy a je vypočítána přírážkou ve výši 120 % ze mzdových nákladů

$$N_{SR} = N_O \cdot 1,2 \quad [\text{Kč}]$$

$$N_{SR} = 52259,59 \cdot 1,2 = 62711,5 \quad [\text{Kč}]$$

Náklady na výrobu série celkově

$$N_C = N_{MC} + N_F + N_{CS} + N_{VR} + N_{SR} + N_O \quad [\text{Kč}]$$

$$N_C = 86400 + 120000 + 17523,86 + 104519,18 + 62711,5 + 52259,59 \\ = 443414,13 \quad [\text{Kč}]$$

Náklady na jeden kus

$$N_{KS} = \frac{N_C}{N} \quad [\text{Kč}]$$

$$N_{KS} = \frac{443414,13}{60000} = 7,39 \quad [\text{Kč}]$$

Výsledné náklady na jeden kus jsou nejvíce ovlivněny pořizovací cenou formy a počtem kusů v sérii. Z předloženého výpočtu je zřejmé, že technologii vstřikování plastů lze aplikovat na velkosériovou výrobu v rozmezí desítek až stovek tisíc kusů. Cena elektroinstalační krabice pod omítku KD 150 se v obchodech s elektrotechnikou pohybuje v rozmezí 50–60 Kč.

9 ZÁVĚR

Cílem bakalářské práce bylo seznámení s technologií vstřikování plastických hmot. V práci je také nastíněno základní rozdělení technologických operací pro zpracování plastů a základní popis vybraných tvářecích, tvarovacích a doplňkových technologií.

U technologie vstřikování je práce zaměřena na základní popis jednotlivých fází vstřikovacího cyklu a jejich vlivem na jakost zhotoveného výrobku. Dále byly v práci popsány základní prvky vstřikovacího stroje, a to zejména vstřikovací jednotka, její části a uzavírací jednotka, vstřikovací forma.

V části zabývající se ekonomickým zhodnocením výroby vstřikováním jsem určil finanční náklady na zhotovení elektroinstalační krabice pod omítku, kterou vyrábí firma ČEGAN s.r.o.

Zadaným rozsahem nemůže předkládaná bakalářská práce zcela pojmut celou problematiku technologie vstřikování plastů. Téma bakalářské práce je mnohem obsáhlejší, jenom zevrubný popis vstřikovací formy by vydal na samostatnou práci.

10 SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] AUSPERGER A., 2016: Technologie zpracování plastů [online]. ISBN 978-80-88058-77-9 [vid. 29. 1. 2016]. Dostupné z: <https://publi.cz/books/183/Impresum.html>
- [2] BOBEK J., 2016: Vstříkovací formy pro zpracování termoplastů [online]. ISBN 978-80-88058-65-6 [vid. 25. 1. 2016]. Dostupné z: <https://publi.cz/books/179/Cover.html>
- [3] CRAWFORD R. J., THRONE J. L., 2002: Rotational Molding Technology [online]. ISBN 1-884207-85-5 [vid. 20. 1. 2016]. Dostupné z: <http://www.2active.ru/files/book/ROTATIONAL%20MOLDING%20TECHNOLOGY%20Roy%20J.%20Crawford%20and%20James%20L.%20Throne%202002.pdf>
- [4] ČEGAN s.r.o., Lisovna termoplastů [online]. Dostupné z: <http://www.cegan.eu/cz/vyroba/vyroby>
- [5] FILÍPEK J. a kol., 2016: Nauka o materiálu, distanční výukové opory [online]. Dostupné z: <http://materialy.af.mendelu.cz/nom2/data/1zacni.swf>
- [6] GRODA B., VÍTĚZ T., 2013: Termomechanika I. Brno: Mendelova zemědělská a lesnická univerzita v Brně, 234 s. ISBN 978-80-7375-160-9
- [7] HLUCHÝ M., KOLOUCH J., PAŇÁK R., 2001: Strojírenská technologie 2, Polotovary a jejich technologičnost, 1 díl, Praha: Scientia, 316 s. ISBN 80-7183-244-8
- [8] HORAKOVÁ M., Technologie zpracování plastů, příprava polymerních směsí [online]. Dostupné z: <http://slideplayer.cz/slide/2874349/>
- [9] LENFELD P., 2016: Technologie vstříkování [online]. ISBN 978-80-88058-74-8 [vid. 18. 1. 2016]. Dostupné z: <https://publi.cz/books/184/Cover.html>
- [10] LENFELD P., 2005: Technologie II [online]. Technická univerzita v Liberci. Dostupné z: http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce_plasty/01.htm
- [11] SEIDL M., 2016: Stroje pro zpracování polymerních materiálů [online]. ISBN 978-80-88058-71-7 [vid. 11. 1. 2016]. Dostupné z: <https://publi.cz/books/181/Cover.html>
- [12] ŠŇUPÁREK Z., 2014: Makromolekulární chemie Úvod do chemie a technologie polymerů. 3 vydání, Pardubice: Univerzita Pardubice, 187 s. ISBN 978-80-7395-761-2

- [13] ŠPIČÁK P., 2011: Technologie výroby součástí z plastu. Brno. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav strojírenské technologie. Vedoucí práce Ing. Ladislav Žák, Ph.D.
- [14] ZEHNÁLEK J., 2005: Chemie, paliva a maziva. 2. vydání, Brno: Mendelova zemědělská a lesnická univerzita v Brně, 179 s. ISBN 80-7157-900-9
- [15] ZEMAN L., 2009: Vstřikování plastů. Praha: BEN - technická literatura, 248 s. ISBN 978-80-7300-250-3

11 SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK

Symbol / Zkratka	Jednotka	Popis
α	[K ⁻¹]	součinitel teplotní roztažnosti
ABS	[-]	akrylonitril-butadien-styrol
c	[-]	počet vstřikovacích cyklů
C _m	[Kč · g ⁻¹]	cena jednoho gramu materiálu
D	[mm]	průměr šneku
E	[MPa]	modul pružnosti
F	[N]	síla
k	[-]	koeficient opotřebení stroje
L	[mm]	délka šneku
l	[mm]	konečná délka vzorku
l ₀	[mm]	počáteční délka vzorku
M _c	[g]	celková spotřeba materiálu
M _v	[g]	hmotnost výstřiku
n	[-]	násobnost formy
N	[ks]	počet kusů v sérii
N _C	[Kč]	náklady na výrobu série celkově
N _{CS}	[Kč]	náklady na provoz stroje pro sérii
N _E	[Kč · kW ⁻¹ h ⁻¹]	cena elektrické energie
N _F	[Kč]	náklady na pořízení formy
N _{HP}	[Kč]	náklady na hodinový provoz stroje
N _{KS}	[Kč]	náklady na jeden kus
N _{MC}	[Kč]	náklad na materiál celkově
N _{MZ}	[Kč]	hrubá hodinová mzda obsluhy
N _O	[Kč]	náklady na mzdu obsluhy
N _S	[kWh]	spotřeba elektrické energie
N _{SR}	[Kč]	správní režie
N _{VR}	[Kč]	výrobní režie
p	[MPa]	tlak
PA	[-]	polyamid
PBT	[-]	polybutylen-tereftalát
PC	[-]	polykarbonát
PE	[-]	polyetylen

p_i	[MPa]	tlak v dutině formy
PMMA	[-]	polymethylmethakrylát
PP	[-]	polypropylen
PPO	[-]	polyfenylenoxid
PS	[-]	polystyren
PVC	[-]	polyvinylchlorid
$p_{vstř}$	[MPa]	vstřikovací tlak
p_z	[MPa]	zbytkový tlak
Q_p	[kg·h ⁻¹]	plastikační kapacita
Q_v	[cm ³]	vstřikovací kapacita
R	[MPa]	napětí v tahu
S	[m ²]	Plocha
SAN	[-]	styrol-akrylonitril
s_{max}	[mm]	tloušťka stěny výstřiku
t	[s]	Čas
T	[°C]	Teplota
t_c	[s]	čas vstřikovacího cyklu
t_{cel}	[s]	čas výroby celé série
t_d	[s]	doba dotlaku
T_F	[°C]	teplota formy
T_f	[°C]	teplotu viskózního toku
T_g	[°C]	teploty zesklnění
t_{ch}	[s]	doba chlazení
T_m	[°C]	teploty tání
t_m	[s]	manipulační doba
t_{pl}	[s]	doba plastikace
t_s	[s]	strojní čas
T_{tav}	[°C]	teplota taveniny
t_v	[s]	doba vstřikování
v	[m ³ ·s ⁻¹]	objemovou vstřikovací rychlost
ϵ	[-]	deformace na jednotku délky vzorku
τ	[MPa]	střížné napětí

12 SEZNAM OBRÁZKŮ A GRAFŮ

Obr. 1 Makromolekulární struktura polymerů, [5].....	11
Obr. 2 Nadmolekulární struktura polymerů, [13].....	13
Obr. 3 Závislost modulu pružnosti na teplotě, [5].....	14
Obr. 4 Závislost deformace na napětí, [5]	15
Obr. 5 Schéma vytlačovacího stroje s hubicí na vytlačování trubek, [7]	18
Obr. 6 Linka na výrobu fólií vyfukováním, [7].....	18
Obr. 7 Schéma lisovacího stroje, [7]	19
Obr. 8 Schéma přetlačovacího stroje, [7]	19
Obr. 9 Naválcování vrstvy termoplastu na nosnou textilní tkaninu, [7].....	20
Obr. 10 Princip rotačního odlévání, [3].....	20
Obr. 11 Vrtáky na obrábění plastů, [13].....	21
Obr. 12 Ohýbání desek, trubek, [7]	21
Obr. 13 Princip vyfukování dutých výrobků, [7]	22
Obr. 14 Postup výroby lahví z PE na vyfukovacím stroji, [7].....	22
Obr. 15 Postup při jednoduchém vakuovém tvarování, [7].....	23
Obr. 16 Vakuové tvarování s tažením, [7].....	23
Obr. 17 Základní typy lepených spojů, [10].....	24
Obr. 18 Postup nýtování, [7]	24
Obr. 19 Svařovací metody, [1]	25
Obr. 20 Princip svařování horkým plynem s přídavným materiálem:, [1].....	25
Obr. 21 Princip technologie vstřikování, [7]	26
Obr. 22 vstřikovací cyklus v $p_i - t$ diagramu, [9]	27
Obr. 23 Plastikační (tavící) komora, [9]	29
Obr. 24 Princip procesu plnění laminárním tokem a volným tokem, [9].....	30
Obr. 25 Vliv doby přepnutí na průběh tlaku, [9]	31
Obr. 26 Doba chlazení v závislosti na tloušťce stěny, teplotě formy a taveniny, [9].....	32
Obr. 27 Vstřikovací stroj, [2]	33
Obr. 28 Vstřikovací jednotka, [11].....	34
Obr. 29 Násypky se střešacím mechanismem, [11]	35
Obr. 30 Tavící komora, [11].....	36
Obr. 31 Typy šneků, [11]	37
Obr. 32 Konstrukční řešení uzavíratelných trysek, [11].....	38

Obr. 33 Hydraulická uzavírací jednotka, [11]	39
Obr. 34 Otevřená dvoudesková vstřikovací forma, [2]	41
Obr. 35 Vstřikování s podporou plynu, [10]	42
Obr. 36 Vstřikování s podporou vody, [10]	43
Obr. 37 Elektroinstalační krabice pod omítku KD 150 [4]	44