

## **Kapitola 2 (2 hodiny)** **Zpracování termoplastů**

### **2.1 Jak se vyrábí polymery**

#### **2.1.1 Polymerizace**

Polymery jsou tvořeny řadami řetězců nebo sítí monomerů. Zpracování polymerů jednou ze dvou metod má za následek vytvoření plastu. Při termosetové metodě jsou kapalné monomery nalévány do formy a pak nechány vychladnout. Zkapalněné monomery mají trvalý tvar a vytváří trvanlivé výrobky. U termoplastických metod se kapalné monomery ohřívají a pomalu tváří na daný tvar. Po zahřátí a zpracování na požadovaný tvar se výrobek vychladí a nechá se ztuhnout do pevné látky. Jak termoplastická, tak termosetová metoda se označují jako polymerizace.

Proces, který se tyto monomery váží, se nazývá polymerizace.

Polymerizace není komplikovaný obor, ale způsobů, kterými se monomery váží dohromady, je tolik, že vědci zjistili, že je snadnější mít více než jeden systém popisující polymerizaci. Jeden systém dělení polymerizačních procesů si klade otázku, kolik z původních molekul je ponecháno při spojení monomerů. V "doplňující polymerizaci" - polyadici - se monomery přidávají bez změny jejich struktury. V kondenzační polymerizaci - polykondenzaci - tomu tak není. Výsledkem tohoto procesu je polymer, který má menší hmotnost než dva nebo více monomerů, které se spojily k jeho vytvoření. K tomu dochází proto, že ne všem původním monomerům je umožněno zůstat v polymeru. Při vytváření monomerů tímto způsobem se ze sloučeniny obvykle vylučují voda a chlorovodík. Dobrou analogií je situace, ke které dochází, když se děti pokoušejí postavit hrad z nanukových dřívěk. Nanuk samotný je nutno zničit (nejčastěji tak, že se sní), aby bylo možno používat dřívko samotné.

I když doplňující a kondenzační systémy popisu polymerizace mohou být užitečné, nejde o jediný způsob, jak je možno nahlížet na způsob vytváření polymerů. Jiným způsobem vysvětlení způsobu tvoření polymerů z monomerů zahrnuje sledování, jak se monomery vzájemně spojují. V řetězové polymerizaci se monomery doplňují do sestavy po jednom, dokud se nevytvoří monomer. Jde o nejjednodušší proces polymerizace. Složitější způsob se nazývá stupňovitá polymerizace. Zde nemusí jít pouze o jediný monomer, který se připojuje v jednom okamžiku. Může k tomu docházet tím způsobem, ale je také možné, že se připojí celá skupina monomerů. Nakonec zde bude dost monomerů na to, aby vytvořily polymer.

Polymerizace je nezbytný proces. Pouze takovým vytvářením větších molekul může vzniknout a existovat lidský mozek. Bez polymerizace by ve skutečnosti nemohlo existovat vůbec nic, neboť bez toho, aby mozek měl zkušenost života a definoval jeho procesy, by nebyl žádný důvod k existenci.

#### **2.1.2 Polymerizační pojmy**

1. **NADOUVADLO NEBO PĚNIDLO** - chemické látky doplňované do plastů nebo pryží, které vytváří při zahřívání inertní plyny a ty způsobují vznik pórovité struktury pryskyřic.
2. **KATALYZÁTORY** - chemické látky používané ke spuštění polymerizace. Předpokládá se, že působí svou přítomností a že nejsou ovlivněny chemickou reakcí, kterou vyvolávají. U plastů se ovšem katalyzátory mohou spojovat a měnit svou strukturu.
3. **NEVRATNÉ STLAČENÍ** - měřítko odolnosti materiálu vůči trvalé deformaci. Při této zkoušce se pryžová peleta stlačí na 75% své původní výšky, drží se v tomto stupni deformaci po dobu 22 hodin o teplotě 158°F, pak se uvolní a nechá vrátit do původní výšky. Měřená hodnota je procentuální údaj míry, ve které se nevrátí do původní výšky; čím nižší je tato hodnota, tím lépe.
4. **VYTVRZOVÁNÍ** - polymerizace. Změna fyzikálních vlastností chemickou reakcí a zřetězováním složek; obvykle se dosahuje teplem a/nebo katalyzátory, s tlakem i bez tlaku.
5. **ELASTOMER** (elastomerní látka) - Elastická pryžovitá látka, jako např. přírodní či umělý kaučuk.
6. **EXOTERMNÍ REAKCE** - Chemická reakce uvolňující teplo.

7. **PLNIDLO** - Inertní látka přidávaná do plastu, aby byl méně nákladný, ke zlepšení fyzikálních vlastností, jako např. tvrdosti, tuhosti a rázové houževnatosti.
8. **OTŘEP** - Přebytečný materiál na odlitku podél dělicí čáry.
9. **Licí kanálek** - Otvor ve formě, kterou se lije kapalina.
10. **TVRDOST** - tvrdoměr dle Shoreho A, tvrdoměr dle Shoreho D; tvrdost měří odolnost materiálu vůči vniku cizího tělesa. Tyto dva přístroje pro měření tvrdosti jsou v zásadě jehly na pružině, které měří, jak hluboko vnikne jehla do materiálu. Metoda Shoreho A je tupá jehla na slabé pružině pro měření elastomerů. Metoda Shoreho D je ostřejší jehla na silnější pružině pro měření pevných materiálů. Tyto přístroje jsou výborné k měření a určování, zda litý materiál řádně vytvrdnul. Většina lidí ovšem používá hodnoty tvrdosti jako první kritérium pro určení materiálu, který potřebují, např. "Rád byl dostal pryž hodnoty Shore A, která . . ." Tvrdost poskytuje informaci o typu vlastností, které je možno od materiálu očekávat, ale není vždy dobrým ukazatelem správné funkce a chování.
11. **ISOKYANÁTOVÉ PRYSKYŘICE** - Založeny na slučování s polyoly (jako jsou polyestery, polyetery atd.). Reakce spojuje členy vytvořením uretanové vazby.
12. **VRSTVENÍ** - Proces vložení výztužného materiálu do místa formy.
13. **MODUL** - Klíčová fyzikální vlastnost, se kterou se uživatel materiálu zcela jistě setká. Modul je v zásadě tuhost materiálu, nebo konkrétněji modul je velikost síly nutné pro deformaci materiálu o stanovenou míru. Modul se měří v psi (libry na palec čtverečný). Modul je možno měřit v jakémkoliv režimu deformace, např. v tahu (napínání), v tlaku (borcení), pružnosti (ohyb) nebo v krutu (kroucení).
14. **UVOLŇOVACÍ PŘÍPRAVEK FORMY** (oddělovač nebo oddělovací činidlo) - Mazivo používané pro potření povrchu, aby se zamezilo přilepení plastu k povrchu formy.
15. **ZÁKLADNÍ FORMA** - Pevný materiál používaný pro držení nebo usazení pružné vnitřní formy.
16. **DOBA ZPRACOVATELNOSTI A DOBA ZŽELATINOVÁNÍ** - Tyto dva pojmy se někdy používají zaměnitelně, ale ve skutečnosti mají různý význam. Doba zpracovatelnosti je doba po smíchání dvou materiálů, po kterou tyto materiály zůstávají zpracovatelné, tedy odlévatelné u kapalin a mazatelná u pasty. Doba zželatinování je doba od smíchání, kdy se materiál stává spojitou hmotou.
17. **KAŠE** - Směs kapaliny a jemného plnicího materiálu.
18. **ZVRATNÉ VÝKLOPNÉ ODLÉVÁNÍ** - Způsob odlévání termoplastů, kdy se do formy nalévá kapalná pryskyřice a tvoří se viskozní vrstvy.
19. **MĚRNÁ HMOTNOST** - Měrná hmotnost vody je 1. Když má pryskyřice nižší měrou hmotnost než voda, tedy nižší než 1, pak je lehčí, bude nadnášena a má větší objem při menší hmotnosti. A naopak, pryskyřice s vyšší měrnou hmotností než voda je těžší, nebude nadnášena a má menší objem.
20. **VLASTNOSTI V TRHU** - Jak odolný je materiál v trhu, měřeno v pli (libry na délkový palec).
21. **VLASTNOSTI V TAHU** - mez pevnosti v tahu, prodloužení při přetržení, 100% modul. Mez pevnosti v tahu je síla měřená v psi nutná pro natažení materiálu, dokud se nepřetrhne. Prodloužení při přetržení je hodnota, o kterou se materiál natáhne, než se přetrhne, jako procentuální hodnota jeho původního rozměru. 100% modul je síla měřená v psi potřebná pro natažení materiálu, aby došlo ke zdvojnásobení jeho původního rozměr.
22. **TERMOPLAST** - Materiál, které při zahřátí měkne a při chlazení tvrdne.
23. **TERMOSET** - Látka, která při zahřívání neměkne.
24. **TIXOTROPIE** - Schopnost kapaliny odolávat gravitační přitažlivosti. Materiály, které jsou v klidu gelové a po smíchání tekuté.

25. ZÁŘEZ - Výčnělek nebo odsazení, které zajišťuje pevné těleso v jeho formě a zamezuje jeho vyjmutí.
26. PRŮDUCH - Mělký kanálek nebo otvor vyřezaný do formy pro umožnění úniku vzduchu při jeho nahrazování kapalinou.
27. VISKOZITA - Jednoduše jde o odolnosti materiálů vůči tečení, měřeno v centipoisech (cpi). Materiál s nízkou viskozitou má nízkou hodnotu cps potoče snadno. Viskozita vody je 1 cps. Materiály s vysokou viskozitou, tedy vysokou hodnotou cps, nepotečou snadno. Arašídové máslo má viskozitu přibližně 250 000 cps.

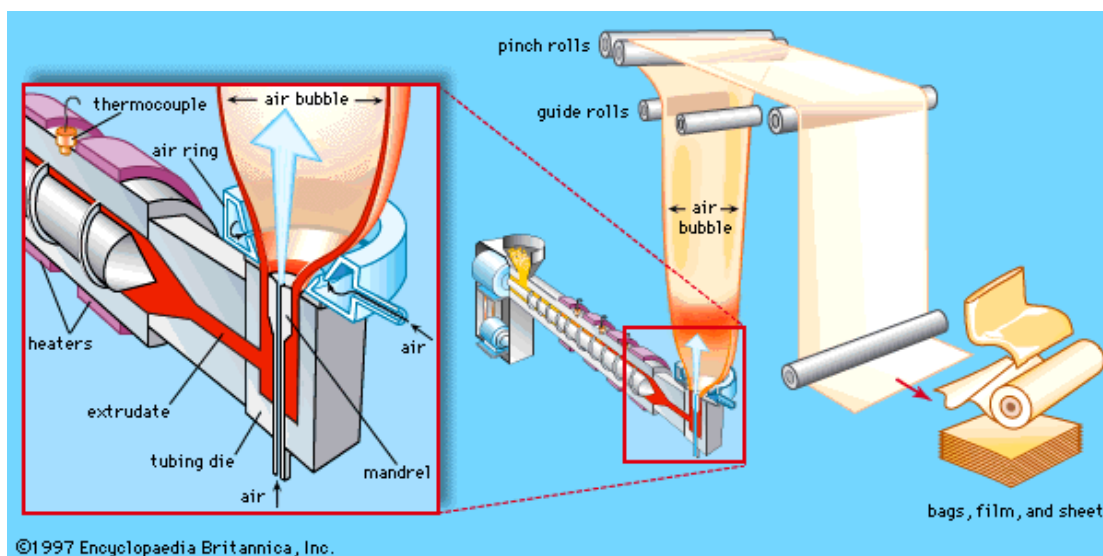
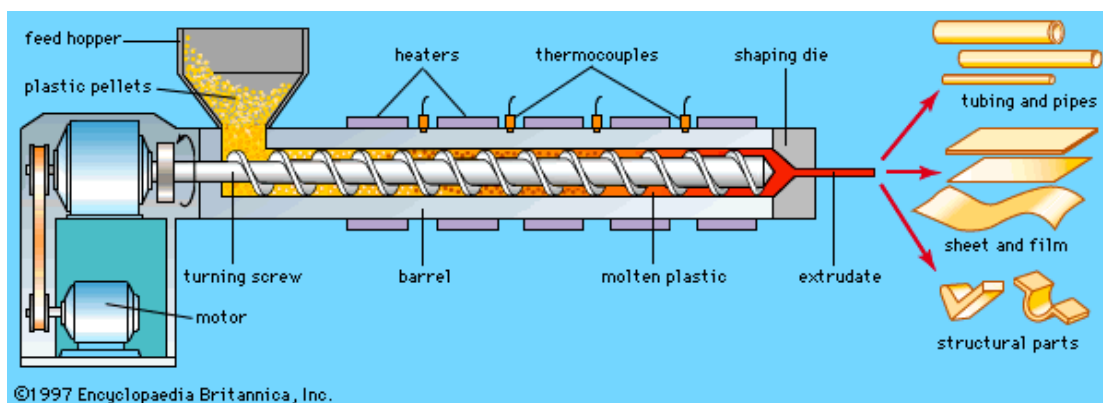
## 2.2 Protlačování polymerů

### 2.2.1 Obecně

Anglický výraz pro protlačování “extrusion” pochází z řečtiny a má význam ‘vytlačovat’. Jde o spojitý proces, při kterém se roztavený materiál (plast) protlačuje tvarové protlačovací tlakem, např. roztavení plastové pryskyřice + doplnění směsných plniv.

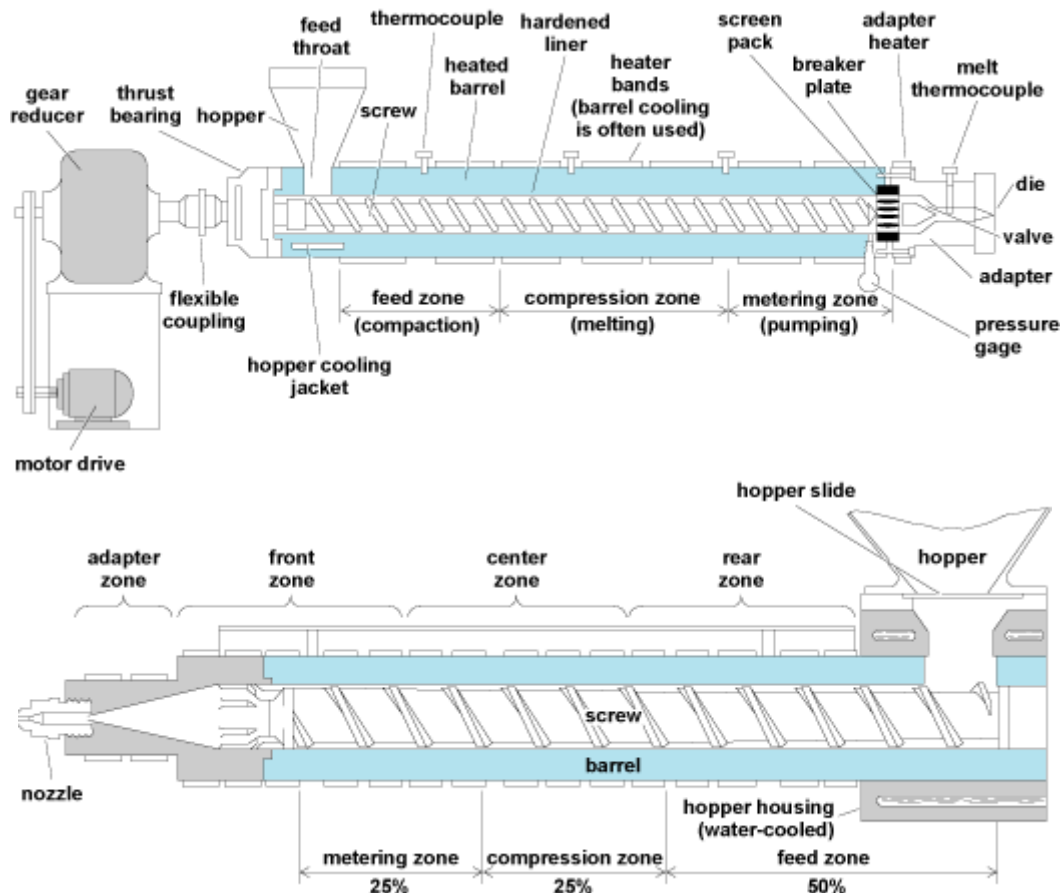
V tomto procesu se pro posun polymeru v roztaveném nebo pryžovém stavu podél bubnu stroje používají šneky.

Běžně se používá jednošnekový protlačovací stroj, ovšem v případě nutnosti dokonalého smísení se používají i dvoušnekové protlačovací stroje.



Obr. 2.1 Protlačování polymerů

Pevný polymer je přiváděn na jedné straně uvnitř se polymer taví a homogenizuje a roztavený protlačovaný polotovár vychází na druhé straně. Jsou zde 3 oblasti: podávací zóna, stlačovací zóna a dávkovací zóna (obrázek 2.2)



Obr. 2.2 Zařízení a jednotlivé oblasti zpracování

Materiál je přiváděn do zásobníku, padá otvorem v horní části protlačovacího stroje (podávací hrdlo) na šnek. Tento šnek posouvá roztavený plast směrem ke straně bubnu protlačovacího stroje, ke které je připevněno protlačovadlo. Protlačovadlo dává tvar roztavenému plasty, který je chlazen ve vodní nádrži.

## 2.2.2 Zařízení pro protlačování

Součásti protlačovacího stroje jsou následující:

- Hnací motor - otáčí šnekem, zajišťuje výkon pro provoz protlačovacího stroje, pro protlačování plastových materiálů

Požadovaný výkon protlačovacího stroje se zvyšuje, když:

- se zvýší výstupní kapacita
- se zvýší průměr bubnu
- se zvýší délka šneku
- vyšší výkon je požadován při vyšší teplotě.

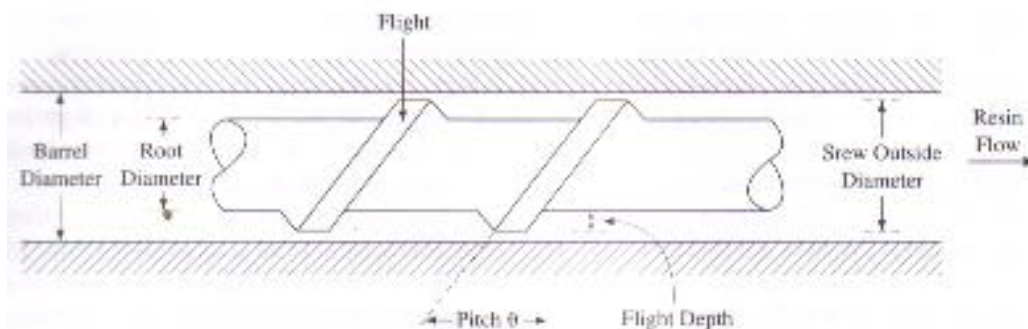
Požadavek výkonu závisí na typu pryskyřice a konstrukci formy

- Velké axiální ložisko - instalované na šneku. Zamezuje zpětnému pohybu šneku

- Buben - komora, v níž se otáčí šnek a protéká pryskyřice (vyroben z kalené oceli). Vnitřní průměr bubnu určuje kapacitu / velikost protlačovacího stroje. Vnější část bubnu je obalena elektrickými vyhřívacími prvky. Vyhřívací prvky jsou rozděleny do různých regulačních zón
- Podávací hrdlo - otvor v horní části bubnu, těsně za axiálním ložiskem (vstup pro pryskyřici)
- Zásobník - instalovaný nad podávacím hrdlem
- Šnek protlačovacího stroje - připevněný k pohonu přes axiální ložisko a otáčí se uvnitř bubnu. Funkce:
  - posun pryskyřice protlačovacím strojem
  - míchání různých složek dohromady
  - vytvoření tlaku v protlačovacím stroji (aby byla pryskyřice protlačována přes protlačovadlo)
  - dodávání mechanické energie jako součást zavíracího procesu

### 2.2.2.1 Šnek protlačovacího stroje

- Šnek je vyroben z pevné tyče.
- Je podobný hřídeli s vytvořenou šroubovicí na povrchu
- Každé otočení šroubovice se nazývá šnekovice.
- Důležitý parametr = L/D šneku (délka šnekové části šroubu / vnitřní průměr bubnu).
- Poměr L/D měří schopnost šneku míchat materiály a tavit materiály, které se obtížně taví. Typické poměry L/D jsou 16:1 až 32:1.



Obr. 2.3 Šnek protlačovacího stroje

- Průměr bubnu je konstantní po celé délce protlačovacího stroje
- Kořen je měřítkem průměru hřídele šroubovice (kořenový průměr se může po délce šneku měnit)
- Šnekovice roste nad hřídel, což vytváří kořenovou hloubku (rozdíl mezi horní částí šnekovice a kořenovým průměrem)
- Se změnou kořenového průměru se odpovídajícím způsobem mění kořenová hloubka (je-li kořenová hloubka malá, je hloubka šnekovice velká a opačně)

### 2.2.2.2 Podávací zóna

- Účel; předehřev polymeru a jeho posun k následujícím zónám
- Vytahuje pelety polymeru ze zásobníku
- Hloubka šneku je konstantní

- Podávací zóna má malý, konstantní kořenový průměr, což má za následek velkou šnekovici kontaktní hloubky pro možnost zpracování velkých pevných pryskyřic a dalších přísad

### 2.2.2.3 Stlačovací zóna

- Druhá zóna - snižující se hloubka kanálu
- Obvykle se nazývá 'stlačovací' a 'přechodová' zóna
- Stlačuje materiál přidávaný z podávací zóny a uvádí jej o plastického stavu
- Může být charakterizována postupným zvýšením průměru kořene po celé délce této zóny
- Zvyšování kořenového průměru znamená postupné snižování hloubky šnekovice ve stlačovací sekci za současného stlačování pryskyřice a vytlačování vzduchu/těkvavých látek z roztavené pryskyřice
- Těkvavé látky unikají dozadu přes průduchový kanálek nebo mezerou mezi šnekem a bubnem
- Odvod těchto těkvavých látek je důležitý pro výrobu pórovitého/nepórovitého výrobku

### 2.2.2.4 Formovací zóna

- V této oblasti je filtrační modul (složený z děrovaného ocelového plechu nazývaného homogenizační deska a síťový modul)
- Homogenizační deska-síť má tři funkce:
  - odfiltrovat/odstranit nežádoucí částice, např. nečistoty, cizí tělesa (protlačovadla jsou nákladná a obtížně opravitelná)
  - vyvinout výstupní tlak, který zajišťuje hnací sílu protlačovadla
  - odstranění 'otáčející se zbytků podél spirálového šneku' z taveniny (polymery jsou tvořeny dlouhými řetězci molekul, které mají tendenci k elastickému zotavení)

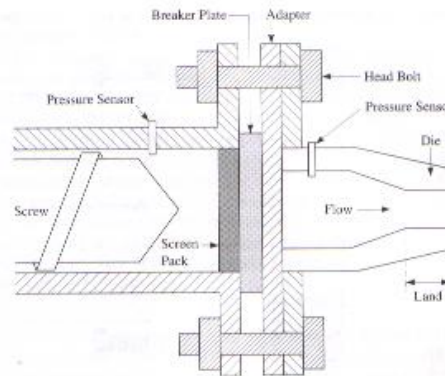
### 2.2.2.5 Dávkovací zóna

- Konstantní hloubka šneku a velmi malá hloubka šnekovice
- Funkcí je homogenizace taveniny a podávání k oblasti formy (poskytuje závěrečné mísení)
- Nízká hloubka šnekovice zajišťuje velký stříh pryskyřice pro dosažení roztavení veškerých pevných zbytků.
- Velký stříh také vytváří tlak na roztavenou taveninu a tlačí na konec protlačovacího stroje
- Důležitý parametr protlačování: kompresní poměr (měří práci, která je předávána do pryskyřice)
- kompresní poměr = hloubka šnekovice v podávací zóně / hloubka šnekovice v dávkovací sekci (od 1,1/1 až po 5:1, obvykle 2,25:1)

### 2.2.2.6 Čelní zóna

- Část protlačovacího stroje za koncem šneku
- Po opuštění konce šneku protéká plst přes filtrační modul a pak přes homogenizační desku (deska z pevného kovu s mnoha vyvrtanými otvory)

- Filtrační modul – sada drátěných sít (obvykle různé síťování) pro odfiltrování veškeré neroztavené taveniny nebo nečistot
- Filtrační modul se ucpává odfiltrovaným materiálem a musí se vyměňovat (zde hovoříme o jeho zacpání). Upozorní vás na to zvýšení zpětného tlaku v protlačovacím stroji



Obr. 2.4 Čelní zóna

## 2.2.3 Vady

### 2.2.3.1 Popraskání taveniny

- Popraskání taveniny - prasknutí horní vrstvy obvykle vzniká pouze na vnějším povrchu vrstvy, dochází-li k natahování a vychlazování příliš rychle s důsledkem mikroskopických trhlinek.
- Popraskání taveniny způsobené prasknutím horní vrstvy vzniká při příliš rychlém natahování vrstvy při opouštění protlačovadla.
- Výtlaček má hrubý povrch s krátkými trhlinkami, které jsou orientovány ve směru stroje nebo ve šroubovici podél výtlačku.
- Vzniká vlivem nízké teploty taveniny vysoké molekulové hmotnosti, nesprávným osovým seřízením protlačovadla atd.
- Řešení: osově seřízení protlačovadla, zvýšení teploty taveniny, výběr pryskyřice s nízkou molekulovou hmotností atd.

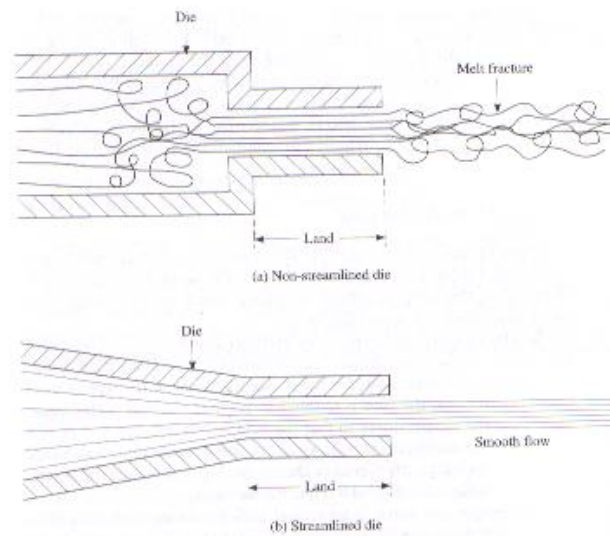


Figure 11.10 The effect of streamlining in a die to prevent melt fracture.

Obr. 2.5 Vliv osového vyrovnaní protlačovadla pro zamezení popraskání taveniny

- Nestabilní výstup z protlačovadla
  - Žraločí kůže – vnější povrch části je drsný s čarou běžící kolmo na směr průtoku (přetržení vnějšího povrchu - obvykle doprovázené napětími ve výtlačku vlivem přilepení ke stěně protlačovadla)
  - Pomerančová kůra - vada na povrchu výtlačku, kdy jsou vytvořeny velmi malé důlky
  - Bambusování - vada na povrchu výtlačku podobná bambusu

### 2.2.3.2 Degradace

- detekování změnou barvy a zhoršením fyzikálních a mechanických vlastností
- Příčiny: velké množství tepla pro rychlost protlačování, průchod pryskyřice, která nebyla zela vyčištěná apod.
- Řešení: správná kombinace tepla a rychlosti protlačování, lepší čištění materiálů/dokonalejší čisticí postupy atd.

### 2.2.3.3 Znečištění

- Detekované jamkami (malými důlky) ve výtlačku někdy nazývané 'rybí oko'
- Příčiny: nečistoty (prach, jiná pryskyřice) padají do zásobníku nebo cizí částice v systému přívodu pryskyřice
- Řešení: přikrytí zásobníku, kontrola vstupního materiálu atd.

### 2.2.3.4 Bubliny ve výtlačku

- Pryskyřice mohla absorbovat příliš vlhkosti/těkavých látek, které se pak odpařují při průchodu taveniny protlačovadlem s důsledkem bublinek ve výtlačku
- Řešení: vysušení pryskyřice před přívodem do zásobníku, skladování pryskyřice na místě o nízké vlhkosti apod.

## 2.3 Svařování polymerů



### 2.3.1 Svařování horkým tělesem na tupo



Obr. 2.6 Svařování horkým tělesem na tupo

#### 2.3.1.1 Popis svařovací metody

Spojovací oblasti plastových částí se přitlačí vhodně nahřátému tělesu, dokud se neroztaví dostatečné množství materiálu.

Horké těleso se odstraní a plastifikované povrchy plastových dílů se přitlačí k sobě. Díly chladnou pod tlakem nebo řízeně, dokud tavenina opět neztuhne. Není nutný žádný přídavný materiál.

#### 2.3.1.2 Popis variant

##### Svařovací metody při standardní teplotě

Teplota horkého tělesa je v rozsahu teploty tavení plastových materiálů, které mají být svařovány. Horká tělesa jsou obvykle opatřena protipřílnavým povlakem nebo potahem. Mohou být zpracovávány termoplasty s teplotou tavení do přibližně 270°C.

##### Svařovací metody při vysoké teplotě

Teplota horkého tělesa je v vyšší než teplota tavení plastových materiálů, které mají být svařovány. Horká tělesa obvykle nejsou opatřena povlakem. Mohou být zpracovávány prakticky všechny termoplasty bez ohledu na jejich teplotu tavení. Tato metoda způsobuje velké emise kouře.

### 2.3.2 Hrdlové svařování horkým tělesem



Obr. 2.7 Hrdlové svařování horkým tělesem

#### 2.3.2.1 Popis svařovací metody

Konce plastových částí se tlačí do nebo přes vhodně nahřáté těleso, dokud se neroztaví dostatečné množství materiálu. Horké těleso se odstraní a plastifikované povrchy plastových dílů se přitlačí do sebe. Díly chladnou při vzájemném kontaktu, dokud tavenina znovu neztuhne. Není nutný žádný přídavný materiál.

### 2.3.2.2 Popis variant

#### Standardní svařovací metoda bez vyhřívání cívkou

Teplota horkého tělesa je v rozsahu teploty tavení plastových materiálů, které mají být svařovány. Horká tělesa jsou obvykle opatřena protipřilnavým povlakem. Mohou být zpracovávány termoplasty s teplotou tavení do přibližně 270°C. Přívod energie se realizuje pomocí čepů a hrdel horkého tělesa.

#### Svařování vyhříváním cívkou

Je možno zpracovávat různé termoplasty v závislosti na dostupnosti armatur. Přívod energie se realizuje pomocí zabudované vyhřívání cívkou připojené k vnějšímu zdroji proudu.

### 2.3.3 Svařování horkým plynem



Obr. 2.8 Svařování horkým plynem

#### Popis svařovací metody

Plastové díly jsou k sobě připevněny ve spojovacích plochách. Spoj se roztaví horkým vzduchem, dokud povrchy netečou pod tlakem. Spoj je možno zpevnit pomocí přídavného materiálu stejného plastového materiálu.

### 2.3.4 Svařování s protlačováním



Obr. 2.9 Svařování s protlačováním

#### Popis svařovací metody

Plastové díly jsou k sobě připevněny ve spojovacích plochách. Spoj se roztaví horkým vzduchem, dokud není možno díly svařit s přídavným materiálem. Přídavný materiál ze stejného plastového materiálu se roztaví v bubnovém protlačovacím stroji, vyhodí se a přitlačí na předem nahřátý spoj.

### 2.3.5 Infračervené svařování



Obr. 2.10 Infračervené svařování

### Popis svařovací metody

Plastové díly se umísťují a spojují stanovených rozměrů k vhodně nahřátému tělesu, dokud se neroztaví dostatečné množství materiálu. Přívod tepla je proveden bezkontaktním způsobem ve formě infračerveného záření a z tohoto důvodu nejsme omezeni maximální teplotou protipřilnavého povlaku. Horké těleso se odstraní a plastifikované povrchy plastových dílů se přitlačí k sobě. Díly chladnou pod tlakem nebo řízeně, dokud tavenina opět neztuhne. Není nutný žádný přídavný materiál.

### 2.3.6 Laserové svařování

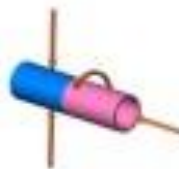


Obr. 2.11 Laserové svařování

### Popis svařovací metody

Plastové díly jsou vzájemně připevněny a vystaveny působení laserového záření. Přívod tepla je realizován absorpcí energie na povrchu vystavenému působení záření. Plastové díly chladnou pod tlakem nebo řízeně, dokud tavenina opět neztuhne. Není nutný žádný přídavný materiál.

### 2.3.7 Rotační třecí svařování



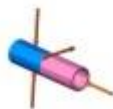
Obr. 2.12 Rotační třecí svařování

### Popis svařovací metody

Spojovací plochy rotačně symetrických plastových dílů jsou přitlačeny k sobě a uvedeny do vzájemného rotačního pohybu. Přívod tepla je zajištěn třecími ztrátami v oblasti dotyku. Plastové díly chladnou pod tlakem nebo řízeně, dokud tavenina opět neztuhne. Není nutný

žádný přídavný materiál.

### 2.3.8 Vibrační třecí svařování



Obr. 2.13 Vibrační třecí svařování

#### Popis svařovací metody

Spojovací plochy plastových dílů jsou přitlačeny k sobě a uvedeny do oscilačního pohybu. Tento oscilační pohyb může být upraven přímočarým, orbitálním nebo radiálním způsobem s nastavitelnou amplitudou. Přívod tepla je zajištěn třecími ztrátami v oblasti dotyku. Plastové díly chladnou pod tlakem nebo řízeně, dokud tavenina opět neztuhne. Není nutný žádný přídavný materiál.

### 2.3.9 Indukční svařování



Obr. 2.14 Indukční svařování

#### Popis svařovací metody

Feromagnetické elektrické obvody se vloží do spojovacích ploch plastových dílů, plastové díly se přitlačí k sobě a jsou vystaveny působení elektromagnetického pole. Přívod tepla je zajištěn elektrickými ztrátami ve feromagnetickém elektrickém obvodu. Plastové díly chladnou pod tlakem nebo řízeně, dokud tavenina opět neztuhne. Je nutný přídavný materiál ve formě feromagnetických nosičů.

### 2.3.10 Vysokofrekvenční svařování



Obr. 2.15 Vysokofrekvenční svařování

#### Popis svařovací metody

Spojovací plochy plastových dílů s dielektrickými vlastnostmi jsou přitlačeny k sobě a vystaveny působení elektromagnetického pole vysoké frekvence. Přívod tepla je zajištěn

dielektrickými ztrátami v základním materiálu. Plastové díly chladnou pod tlakem nebo řízeně, dokud tavenina opět neztuhne. Není nutný žádný přídavný materiál.

### 2.3.11 Mikrovlnné svařování



Obr. 2.16 Mikrovlnné svařování

#### Popis svařovací metody

Spojovací plochy plastových dílů s dielektrickými vlastnostmi jsou přitlačeny k sobě a vystaveny působení mikrovlnného pole. Přívod tepla je zajištěn fázovým posunem a účinky polarizace způsobujícími ztráty energie v základním materiálu. Plastové díly chladnou pod tlakem nebo řízeně, dokud tavenina opět neztuhne. Není nutný žádný přídavný materiál.

### 2.3.12 Ultrazvukové svařování



Obr. 2.17 Ultrazvukové svařování

#### Popis svařovací metody

Spojovací plochy plastových dílů s vodiči energie jsou přitlačeny k sobě a přiloží se ultrazvukové záření. Přívod tepla je zajištěn třecími ztrátami ve vodiči energie. Plastové díly chladnou pod tlakem nebo řízeně, dokud tavenina opět neztuhne. Není nutný žádný přídavný materiál.

## 2.4 Vstřikování polymerů

### 2.4.1 Vstřikování termoplastů a termosetů

#### 2.4.1.1 Vstřikování termoplastů

Vstřikování termoplastů je nejběžnějším způsobem výroby plastových dílů. Termoplasty jsou polymery, které mohou být nahřaty pro změknutí a roztavení, a vychlazeny pro ztuhnutí v rámci změny fyzikálního skupenství spíše než chemickou změnou, která probíhá během tavení termosetových materiálů.

Proces vstřikování termoplastů začíná doplněním materiálu ve formě pelet do zásobníku. Ve většině případů musí být materiál před tavením vysušen a často je před naložením vyžadováno přidání barvicího koncentráту. Materiál je gravitačně podáván do ohřátého bubnu a šneku.

Otáčení šneku má za následek stříh surových pelet s jejich roztavením. Otáčení šneku také tlačí roztavený plast podél bubnu směrem k formě. Pak je materiál pod vysokým tlakem vstříknut do uzavřené formy přes vtokovou soustavu, aby byly vyplněny všechny dutiny.

Forma je uzavřena dostatečnou silou tak, aby obě poloviny držely u sebe během průtoku roztaveného plastu. Ve studené vtokové soustavě plast ve vtoku tuhne a je nutno jej vyhodit nebo rozezlít na palety pro opakované použití, což označujeme jako “přemílání.” Při použití horké vtokové soustavy zůstane plast ve vtoku roztavený a nevyhodí se žádný materiál.

Po zaplnění dutin formy díly chladne, dokud není dostatečně tuhý pro vyhození. Chlazení součástí ve formě probíhá pomocí vodních kanálek vytvořených ve formě.

Po skončení vychlazovacího cyklu se forma otevře a díl (díly) jsou vyhozeny pro umožnění jejich vyjmutí.

Obecně výrobci používají proces zvaný “přerušování” pro vstřikování termoplastů. V tomto procesu jsou dutiny vyplněny přibližně na 95 % své kapacity pomocí vysokých vstřikovacích tlaků.

Ve stanovených naprogramovaných polohách vstřikovacího šneku se tlak sníží a zbývajících 5 % dutiny formy se zaplňuje nižším tlakem. Tento proces minimalizuje přeplnění tvářené části s důsledkem vysokých vnitřních pnutí způsobených přeplněním.

#### **2.4.1.2 Vstřikování termosetů**

Vstřikování termosetů je automatizovaný proces převádějící granulový materiál na tvářené tvary, které výrobci vyrábí dle objednávek společností. Obvykle jde o nejehospodárnější způsob tváření termosetových materiálů.

Termosety jsou materiály, které jsou vytvrzovány chemickou reakcí spouštěnou teplem a tlakem při vytváření pevné molekulové vazby. Tato molekulová vazba umožňuje zachování fyzikálních vlastností termosetových materiálů za zvýšených teplot, což je důvod, proč se používají v takových aplikacích, jako jsou pláště elektrických konektorů, popelníky automobilů a rukojeti knoflíky kuchyňského nádobí.

Proces vstřikování termosetů začíná doplněním materiálu ve formě granulí nebo pelet do zásobníku. Materiál je gravitačně podáván do bubnu a šneku, který ohřívá a posouvá materiál směrem k formě. Materiál je vstřikován do horké formy, která je zavřená dostatečnou silou tak, aby byla forma udržena pohromadě při nuceném zaplňování dutin formy materiálem pod vysokým tlakem. Plast protéká přes vtokovou soustavu do formy a zaplní všechny dutiny. Po zaplnění dutin formy části tvrdnou do pevného stavu. Pak se forma otevře za účelem vyjmutí součástí, některé části jednoduše padají do koše, zatímco jiné se vyjímají ručně nebo automaticky.

#### **2.4.1.3 Vstřikování termosetů versus vstřikování termoplastů**

Na rozdíl od vstřikování termoplastů nemohou být vytvrzené termosety přemlety a smíchány se surovinou pro opětovné zpracování. Termosetové materiály mají nízkou viskozitu, takže když materiál vyplní dutinu formy pod tlakem, určité množství materiálu unikne mezi oběma polovinami formy obvykle v prostoru dutiny, kde jsou přidány průduchové kanálky pro umožnění úniku plynů a vzduchu. Tato část se nazývá ořep. Zatímco tomuto problému je obvykle možno zamezit při vstřikování termoplastů vhodnou konstrukcí formy a technologickými parametry, u vstřikování termosetů nelze ořepům vyhnout. Proto je nutno ořep odstranit následnou pomocnou operací. Je-li to možné, u dílů jsou ořepy odstraňovány raději automatickou čisticí operací v bubnu než ručním odstraňováním ořepů z důvodu úspory nákladů.

Doby cyklů jsou u termosetových materiálů delší než u termoplastických materiálů vlivem chemické reakce a vytvrzování, které probíhají ve formě. Jelikož jsou termosety abrazivnější než termoplasty, jsou výrobci značně specializovaní na konstrukci forem (včetně nástrojových ocelí, tepelného zpracování a požadavků na zařízení); kromě toho řádná údržba forem zajistí dlouhou provozní životnost formy.

#### **2.4.2 Tlakové lisování a přetlačování termosetů**

Tlakové lisování termosetů je obvykle ruční proces, který převádí materiál ve formě granulí na tvářené tvary doplňováním materiálu přímo do otevřené dutiny formy a pak uzavřením této formy. Přetlačování termosetů je podobný proces, který zahrnuje přídavný krok předběžným tvářením “dávky” materiálu před tím, než je vstříknut do uzavřené formy přes vtokovou soustavu formy. Výrobci používají oba procesy od přijetí materiálu do příslušné společnosti.

Termosety jsou materiály, které jsou vytvrzovány spíše nevratnou chemickou reakcí spouštěnou teplem a tlakem, než vychlazením do pevného stavu, jak to probíhá u vstřikování termoplastových materiálů. Tato chemická reakce má za následek pevnou vysoce svázanou molekulární strukturu a je důvodem, proč mají termosetové materiály schopnost uchovat si své vlastnosti za zvýšených teplot. Typickými oblastmi použití jsou pláště elektrických konektorů, popelníky automobilů, držáky a knoflíky kuchyňských spotřebičů.

Proces tlakového lisování termosetů začíná doplněním materiálu ve formě granulí přímo do dutiny (dutin) formy. Uzavření formy zajišťuje sílu potřebnou pro průtok materiálu do volných míst v dutině; nahřátá forma (teplota 300° F a vyšší) spouští chemické vytvrzování. Jelikož ve stlačovací formě není žádná vtoková soustava, mechanické vlastnosti tlakově lisovaných částí jsou poněkud lepší než u stejných částí tvářených přetlačováním nebo vstřikováním termosetů.

Přetlačování termosetů obvykle vyžaduje umístění předběžné tvarování materiálu za tepla do tvářecí “misky” před tím, než membrána působí tlakem na materiál a vhání materiál přes vtokovou soustavu do dutiny formy. Přetlačování termosetů se obecně považuje za přesnější a vytváří méně ořepů než tlakové lisování. Přetlačování je ideální pro vložkové tvářením, jelikož svorky tvářecího stroje se otevírají a zavírají svisle a udržení vložky se lépe provádí přes zavřenou formu.

Na rozdíl od vstřikování termoplastů je nutno vyhodit přebytečný materiál ponechaný za formou, jelikož vytvrzený termosetový materiál z průduchů a vtoků nemůže být znovu semletý a přepracován. Po zaplnění dutin formy části tvrdnou do pevného stavu. Forma se otevře za účelem vyjmutí dílu a díly se vyhodí a vyjmou ručně nebo automatickým zařízením.

#### **2.4.3 Výhody a nevýhody tlakového lisování a přetlačování termosetů**

Hlavní výhodou tlakového lisování a přetlačování termosetů je použití určitých termosetových materiálů pro velmi vysoké teploty. V porovnání s termoplasty jsou tyto materiály rozměrově stabilnější - to znamená, že se smrštění nemění s technologickými a okolními podmínkami, a dále jsou méně citlivé na změny tloušťky stěny. Mnoho z těchto materiálů není dostupných ve formě vhodné pro vstřikování a nástroje mohou být méně nákladné než u vstřikování termosetů.

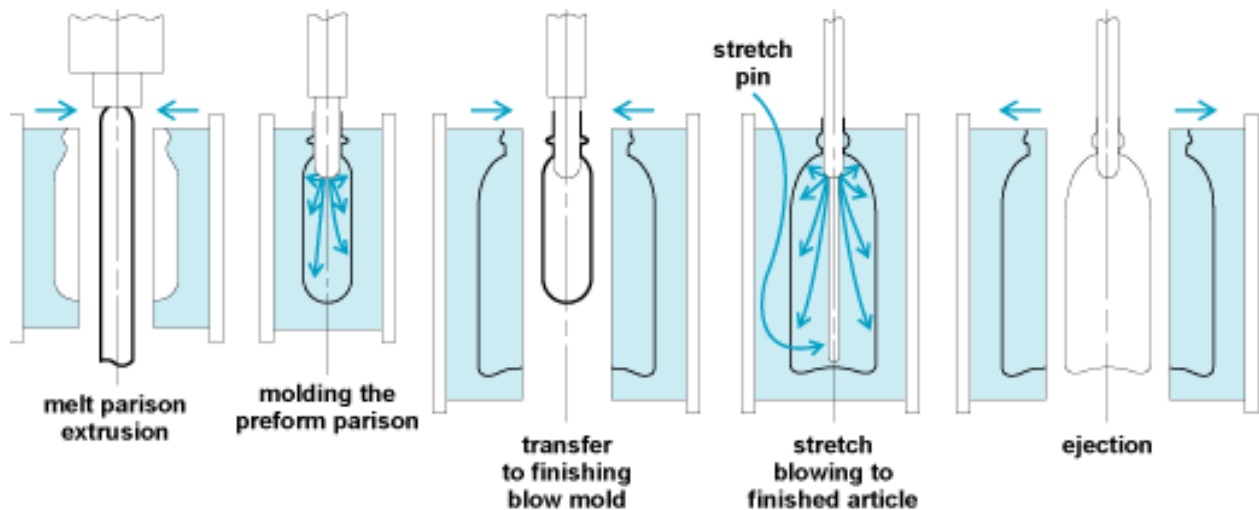
Stejně jako u vstřikování termosetů vytváří přetlačování i tlakové lisování ořep. Obecně mají termosetové materiály nízkou viskozitu. Když tedy materiál vyplní dutinu formy pod tlakem, určité množství materiálu unikne mezi polovinami formy. Tato část se nazývá ořep. Zatímco tomuto problému je obvykle možno zamezit při vstřikování termoplastů vhodnou konstrukcí formy a technologickými parametry, u vstřikování termosetů se nelze ořepům vyhnout a v

mnoha případech je žádoucí. Proto je nutno otřep odstranit následnou pomocnou operací. Je-li to možné, u dílů jsou otřepy odstraňovány raději automatickou čisticí operací v bubnu než ručním odstraňováním otřepů z důvodu úspory nákladů.



Obr. 2.18 Tvářený díl

Množství odpadu u přetlačování termosetů je také podobné jako u vstřikování termosetů. Ztvrdnutý materiál vtoků a otřepů nemůže být roztaven a znovu použit, takže se likviduje jako odpad. Termosetové materiály také mají sklon k rychlejšímu opotřebení formy, takže náklady na údržbu a výměnu nákladů jsou obvykle vyšší než u termoplastů.

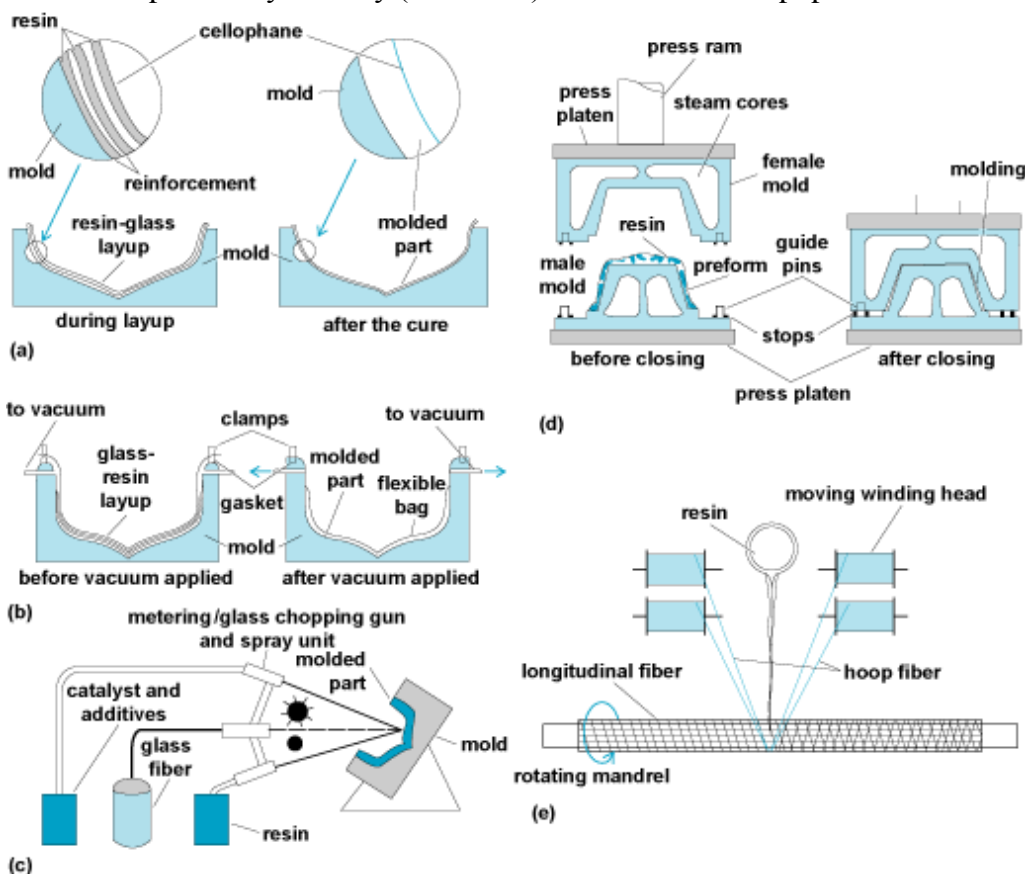


Obr. 2.19 Modernizovaný vyfukovací systém využívající předběžnou tvářecí formu pro úpravu vyfukovaného plastu před závěrečným vyfouknutím lahve. (Dle G. R. Smoluk, *Moderní plasty*, str. 47, McGraw-Hill, únor 1981)

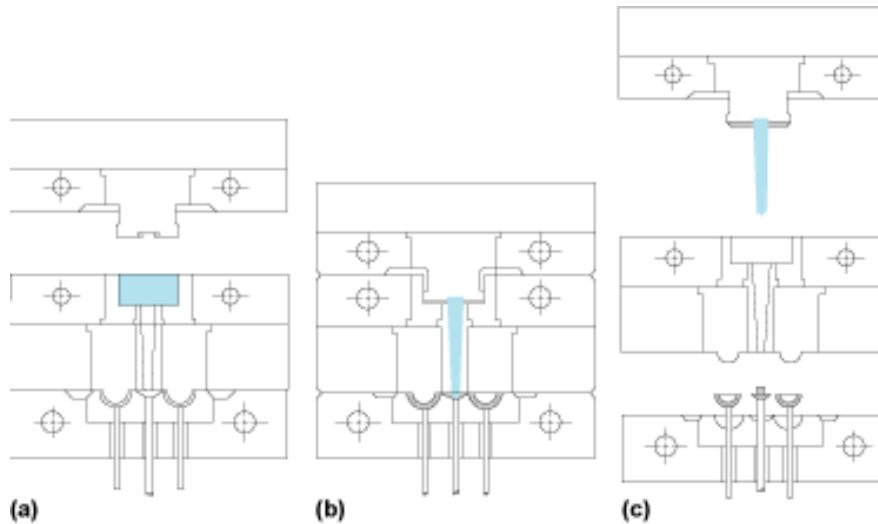




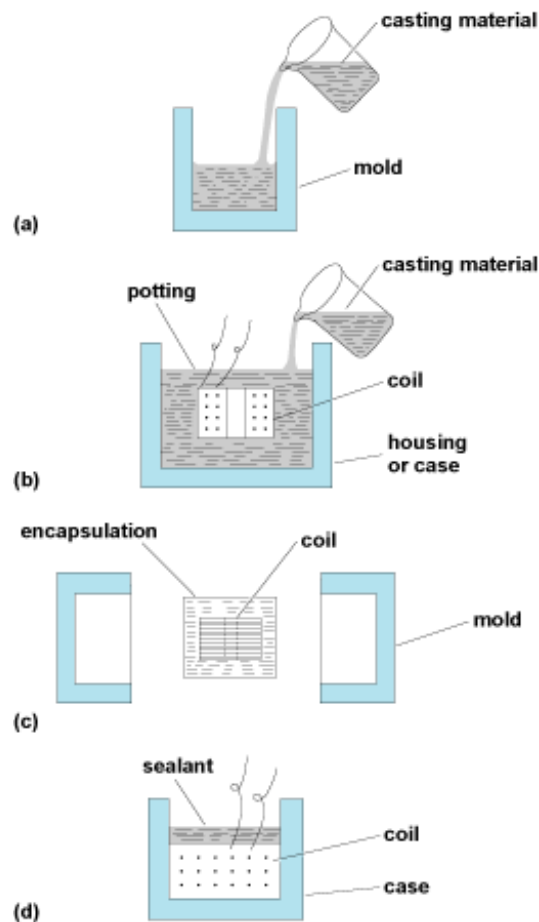
Obr. 2.20 Běžné profukované výrobky s určitými předem profouknutými vstříkovanými předběžnými tvary (trubicemi) vlevo od středu v popředí.



Obr. 2.21 Metody výroby vyztužených plastů a kompozitů. (a) Ruční vrstvená metoda vyztužených termosetů. (b) Vakuová vaková tvářecí metoda. (c) Rozstříkovací metoda. (d) Zápustkové tvářecí kovů. (e) Vinutí vláken. (Dle R. S. Morrison, *Vyztužené termosety, Moderní encyklopedie plastů, díl. 45, č. 14a, str. 628–637, McGraw-Hill, 1968–1969*)



Obr. 2.22 Přetlačování. (a) V tomto tvářecím cyklu se materiál nejprve položí do přetlačovací misky. (b) Pak se materiál vháší přes clonu do uzavřené formy. (c) Po otevření formy se odstraní zbytky materiálu a licí kanálky jako celek a díl se zvedna z dutiny vyhazovacími kolíky. (Dle E. W. Vaill, *Tváření termosetů, Moderní encyklopedie plastů, díl 45, č. 14a, str. 714–731, McGraw-Hill, 1968–1969*)



Obr. 2.23 Nízkotlaké zpracování plastů: (a) lití, (b) zalití, (c) zapouzdření a (d) utěsnění. (Dle H. Lee a K. Neville, *Příručka epoxydových pryskyřic, McGraw-Hill, 1967*)

