

4 PLASTY

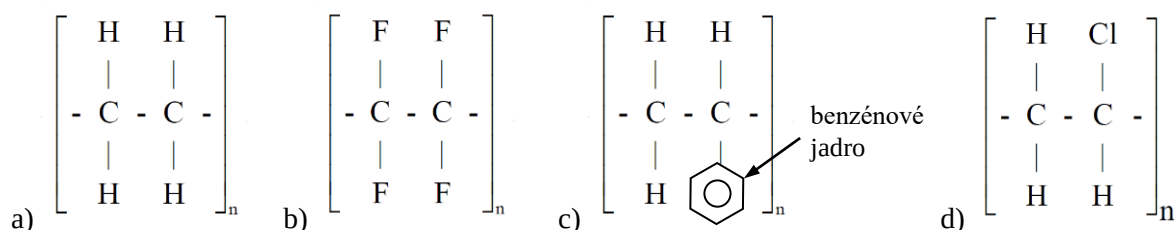
4.1 História plastov

4.2 Definícia, rozdelenie a vlastnosti plastov

4.2.1 Definovanie a rozdelenie plastov

Plasty sú materiály na báze makromolekulárnych látok. Makromolekulárne látky (*polyméry*) sú organické zlúčeniny, ktoré sa skladajú z makromolekúl, t.j. molekúl s vysokou molekulovou hmotnosťou. Jednoduché zlúčeniny, z ktorých možno pripraviť makromolekulárnu látku, sa nazývajú *monoméry*. Základné, mnohonásobne sa opakujúce stavebné jednotky v reťazcoch makromolekúl, tzv. *méry*, vznikajú spojením monomérov.

Medzi makromolekulárnymi látkami je veľké množstvo takých, ktorých makromolekuly sú tvorené opakovaním základných jednotiek (mérův), vytvorených z jednoduchých molekúl s malou hmotnosťou (monomérov). Vo väčšine polymérov nie je základná štruktúrna jednotka symetrická, ako napr. v polyetyléne ($-\text{CH}_2-$), alebo v polytetrafluoretyléne ($-\text{CF}_2-$), ale ich základom býva nesymetrický mér, ako napr. v polystyréne ($-\text{CH}_2-\text{CH}-$) alebo v polyvinylchloride ($-\text{CH}_2-\text{CHCl}-$) (obr. 1).



Obr. 1 Základné štruktúrne jednotky vybraných polymérov;

a) polyetylén, b) polytetrafluoretylén, c) polystyrén, d) polyvinylchlorid

Základom štruktúry všetkých organických zlúčenín je atóm uhlíka C. Atómy uhlíka C môžu byť medzi sebou viazané jednoduchou väzbou (nasýtené uhľovodíky) alebo násobnou dvojnou či trojnou väzbou (nenasýtené uhľovodíky). V najjednoduchších organických zlúčeninách sa na nevyužité väzby viažu atómy vodíka H (tieto zlúčeniny sa nazývajú uhľovodíky). Každý typ väzby má rôznu pevnosť danú tzv. disociačnou energiou (energia, ktorú je potrebné dodať k rozštípeniu väzby) a rôznu dĺžku (vzdialenosť spojených atómov) (tab. 1).

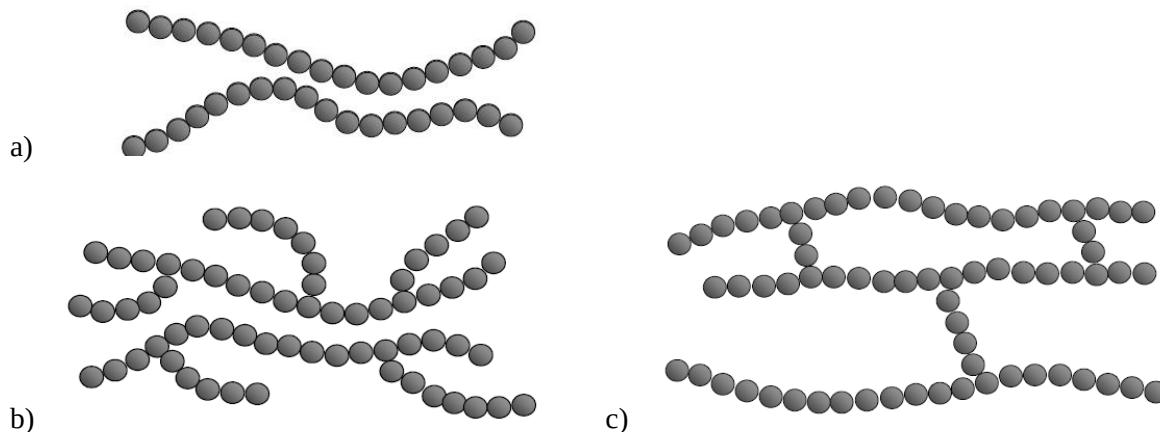
Tab. 1 Disociačná energia a dĺžka väzieb

Väzba	Disociačná energia (kJ.mol ⁻¹)	Dĺžka väzby (nm)
C – C	340	0,154
C = C	620	0,134
C ≡ C	810	0,120
C – H	420	0,109

Atómy uhlíka sú v polymérnom reťazci navzájom viazané primárnymi väzbami, ktoré majú v dôsledku elektrónovej stavby uhlíka kovalentný charakter.

Podľa stavby (štruktúry) reťazca (obr. 2) sa polyméry delia na:

- *lineárne* – jednotlivé méry sú usporiadané za sebou do reťazca (bez bočných vetiev);
- *rozvetvené* – z hlavného reťazca makromolekuly odbočujú bočné reťazce (vetvy) rôznej dĺžky;
- *zosieťované* – makromolekula vzniká spojením niekoľkých lineárnych reťazcov priečnymi väzbami ;
- *polyméry s trojrozmernou (3D) štruktúrou* – pri vysokom stupni zosietenia sú všetky pôvodné makromolekuly pospájané do priestorovej (trojrozsmerne zosietenej) makromolekuly.



Obr. 2 Ret'azec polyméru;
a) lineárny, b) rozvetvený, c) zosieťovaný

Podľa počtu typov mérov v reťazci sa polyméry rozdeľujú na homopolyméry, kopolyméry a terpolyméry. Homopolymér má v reťazci méry len jedného typu. Pri veľkej rôznorodosti stavby polymérnych makromolekúl vznikajú aj také polyméry, ktorých reťazce sú tvorené z viac než jednej mérovej jednotky. Kopolyméry sú tvorené 2 typmi mérov a terpolyméry majú v reťazci polyméru 3 typy mérov.

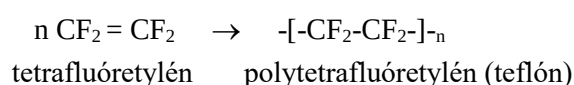
Polyméry vznikajú z monomérov tzv. *polyreakciami* (opakujúcimi sa chemickými reakciami), pri ktorých chemickými väzbami vzniká reťazec makromolekuly.

Základné polyreakcie sú:

- *polymerizácia*;
- *polyadícia*;
- *polykondenzácia*.

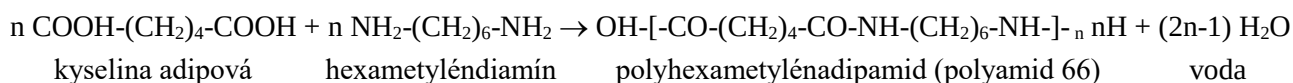
Polymerizácia je polyreakcia, pri ktorej makromolekuly vznikajú zlučovaním molekúl základnej látky (monoméru) bez toho, aby vznikli vedľajšie produkty (obr. 3). Ak sa zlučujú dva alebo viac rôznych monomérov, ide o kopolymerizáciu.

Pri tejto reakcii sa vytvára kovalentná väzba a zaniká pôvodná dvojná väzba monoméru. Vzniknutý polymér má rovnaké chemické zloženie štruktúrnej jednotky (méru) ako monomér. Polymerizácia prebieha v troch po sebe nasledujúcich krokoch – inicializácia (začiatok rastu), propagácia (rast) a terminácia (ukončenie rastu). Inicializáciou vznikne silne aktívne centrum (radikál, resp. ión), ktoré vyvolá reakciu spájajúcu monoméromne jednotky.



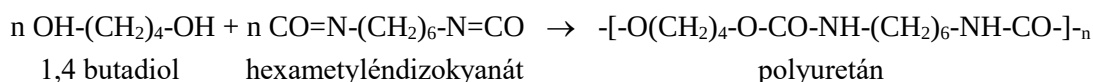
Obr. 3 Príklad polymerizácia polytetrafluóretylénu

Polykondenzácia je polyreakcia, pri ktorej makromolekuly vznikajú z jednoduchých molekúl, zväčša z dvoch látok, pričom sa vytvára vedľajšia jednoduchá nízkomolekulová splodina (napr. voda, alkohol) (obr. 4). Vznik týchto splodín si vyžaduje dodávanie tepla; táto reakcia je teda endotermická a na zastavenie polykondenzácie teda stačí prestať dodávať teplo.



Obr. 4 Príklad polykondenzácie polyamidu

Polyadícia je polyreakcia, pri ktorej makromolekuly vznikajú postupným sčítavaním (adíciou) alebo znásobením jednoduchých molekúl základných látok (monomérov). Polyadičné reakcie sú v podstate podobné reakciám polykondenzačným, odlišujú sa však tým, že sa pri nich nevytvárajú vedľajšie produkty (obr. 5). Polyadičné reakcie sú zvyčajne exotermické – produkujú teplo, preto nemôžu byť tak jednoducho zastavené ako polykondenzácia.



Obr. 5 Príklad polyadície polyuretánu

Počet polymérov sa zásluhou rozvoja chemického priemyslu neustále zvyšuje. Polyméry je možné rozdeliť podľa rôznych hľadísk, najčastejšie podľa pôvodu a podľa spôsobu spracovania a použitia.

Podľa pôvodu sa polyméry delia na:

- *prírodné* – vznikli v živých rastlinných alebo živočíšnych organizmoch;

Príkladom prírodných polymérov sú napríklad bielkoviny, škrob, celulóza. Za prírodné polyméry možno považovať aj látky získané reakciou predchádzajúcich látok s jednoduchými organickými alebo anorganickými látkami, ako sú napr. celuloid, viskóza, umelá rohovina a ďalšie.

- *syntetické* – boli pripravené z jednoduchých surovín, ako sú uhlie, ropa, dusík.

Podľa spôsobu spracovania a použitia sa polyméry delia na:

- a) *plastoméry* – polyméry, ktoré zostávajú deformované, aj keď deformujúce napätie prestane pôsobiť; ich plastické vlastnosti sa menia v závislosti od teploty;
 - *termoplasty* – lineárne polyméry, ktoré možno opakovane ohrevom roztaviť a ochladením previesť do tuhého stavu; pri ohreve mäknú, čo umožňuje ich tvárnenie;
 - *reaktoplasty* – husto zosietené polyméry, ktoré sú netaviteľné, preto nie je možné ich tvárnenie;
- b) *elastoméry* – vysokoelastické látky, ktoré sa po odstránení zaťaženia rýchlo vracajú do pôvodného tvaru a rozmerov, z ktorých boli podstatne deformované malým napätím;
 - *kaučuky* a *gumy*.

4.2.2 Vlastnosti plastov

Na výsledné vlastnosti polymérneho materiálu majú vplyv rôzne faktory, napr. molekulová hmotnosť, stupeň kryštalinity, teplota.

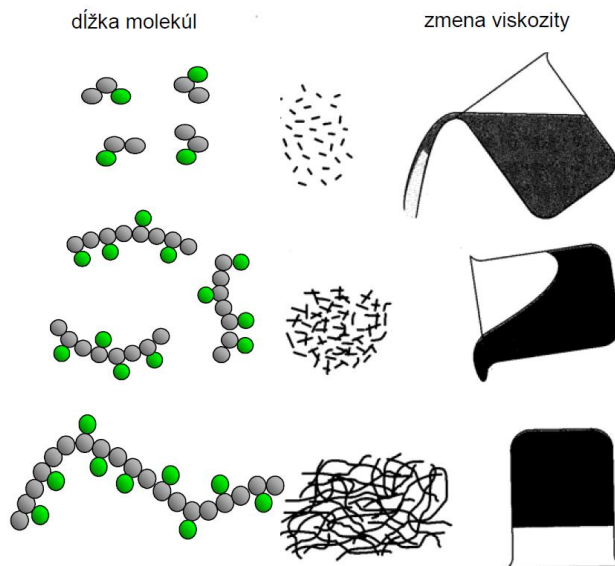
Počet mero v reťazci polyméru sa nazýva *polymerizačný stupeň* a určuje dĺžku polymérneho reťazca, ktorá je dôležitá pre mnohé ďalšie vlastnosti materiálu. Polymerizačný stupeň určuje tiež molekulovú hmotnosť jedného reťazca.

Molekulová hmotnosť M je daná počtom mérov n zapojených v reťazci polyméru a hmotnosťou m základného méru

$$M = n \cdot m$$

Pri polyreakciách vznikajú súčasne reťazce rôznej dĺžky; molekulová hmotnosť výsledného polyméru má preto štatistický charakter.

S rastúcou molekulovou hmotnosťou stúpa viskozita (obr. 6) aj pevnosť v ťahu.



Obr. 6 Vplyv dĺžky reťazcov na viskozitu

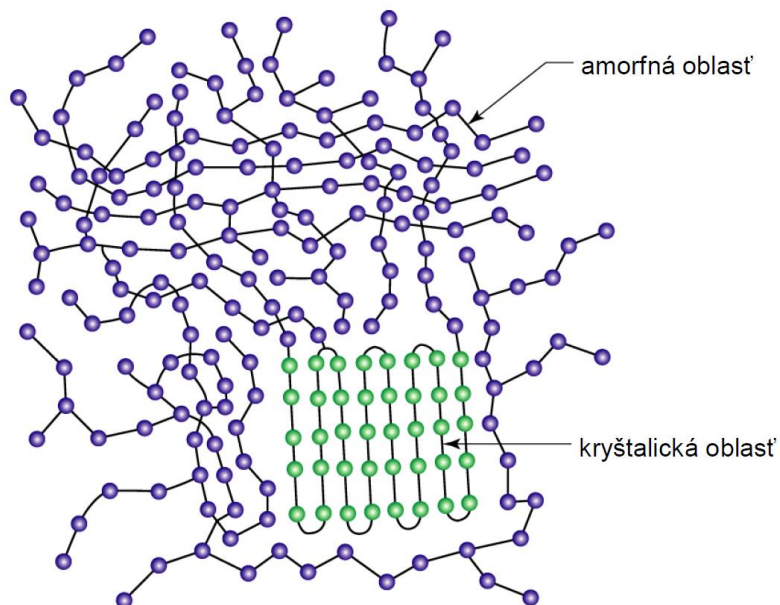
Pri kryštalizácii kovov alebo keramiky ide o pravidelnosť v priestorovom usporiadaní atómov, resp. iónov. Kryštalická štruktúra polymérov je zložitejšia ako kovov. V tejto súvislosti sa pre polyméry používa termín *kryštalinita*, ktorou sa označuje stupeň (obsah) kryštalickej fázy v polymérnom materiáli. Pojem kryštál sa nahrádza pojmom *kryštalit*.

V dôsledku tvaru a zložitej stavby sú polymérne makromolekuly len čiastočne kryštalické (semikryštalické), pretože každá nepravidelnosť či natočenie reťazca bráni usporiadaniu segmentov reťazca a spôsobuje amorfnosť materiálu. Kryštalické oblasti sú rozložené v amorfnom zvyšku materiálu a semikryštalické polyméry sú akosi analógiou dvojfázových štruktúr v kovoch. Pre daný polymér s určitou molekulovou hmotnosťou bude hustota jeho kryštalickej formy vyššia ako hustota amorfnej formy, lebo v kryštalovej štruktúre sú reťazce tesnejšie usporiadané.

Stupeň kryštalinity k je daný rýchlosťou ochladzovania počas tuhnutia materiálu a konfiguráciou reťazca. Pohybuje sa od 0 až do 95 % (obr. 7).

Lineárne reťazce kryštalizujú dobre, neexistujú vážne prekážky na ich usporiadanie. Rozvetvené polyméry majú nízky stupeň kryštalinity. Väčšie rozvetvenie môže kryštalizáciu úplne vylúčiť. Zosieťované polyméry môžu dosiahnuť istý stupeň kryštalinity, naopak polymérne materiály tvorené 3D-sieťami sú takmer amorfné.

S rastúcim stupňom kryštalinity stúpa pevnosť v ťahu, modul pružnosti, tvrdosť.



Obr. 7 Model polymérneho materiálu s kryštalickou oblasťou

Mechanické vlastnosti polymérov závisia nielen od stupňa kryštalinity a stupňa zosieťovania, ale aj od teploty. Už pri malom zvýšení teploty dochádza k značnému poklesu modulu pružnosti a pevnosti a nárastu tvárnosti.

4.2.3 Druhy plastov

Termoplasty je možné teplom tvárniť, pôsobením tepla mäknú a chemicky sa pritom nemenia. Po zohriatí je možné ich tvárniť a spracovávať. Zohrievanie a chladenie možno opakovať bez toho, aby to ovplyvnilo základné vlastnosti materiálu. Termoplasty majú obvykle molekuly pretiahnuté do jedného smeru.

V tab. 2 a 3 sú uvedené vybrané termoplasty a základné informácie o nich, t.j. polyreakcia, ktorou vznikajú, charakteristika ich stavby, vybrané fyzikálne a mechanické vlastnosti a použitie.

Tab. 2 Vybrané termoplasty

Termoplast	Skratka	Polyreakcia	Stavba	Hustota (kg.m ⁻³)	Pevnosť (MPa)	Ťažnosť (%)
Polyetylén	PE	polymerizácia	čiastočne kryštalická	950	10	80-100
Polypropylén	PP			900	30	700
Polytetrafluóretylén	PTFE			2200	30-40	20-200
Polystyrén	PS		amorfná	1050	28-50	8-35
Polyvinylchlorid	PVC			1400	40-90	5-53
Polymetylmetakrylát	PMMA			1180	40-84	3-7
Polyamid	PA	polykondenzácia	čiastočne kryštalická	1120	60	300
Polyuretán	PUR	polyadícia		50-200	15-35	300-600

Tab. 3 Použitie termoplastov

Termoplast	Skratka	Použitie
Polyetylén	PE	najpoužívanéjšie termoplasty vo forme rúr, fólií, nádob, elektrických izolácií a obalov
Polypropylén	PP	
Polytetrafluóretylén (teflón)	PTFE	odolný proti zvýšeným teplotám, malý koeficient trenia => klzné ložiská, pokrytia kuchynských pánví
Polystyrén	PS	lacné predmety formované vstrekom; v penovej forme obaly
Polyvinylchlorid	PVC	použitie v stavebníctve (okenné rámy) a v textilnom priemysle (umelé vlákna)
Polymetylmetakrylát (plexisklo)	PMMA	prieľadné dosky, okenné tabule
Polyamid	PA	výrobky tvarované vstrekom, materiál na vlákna
Polyuretán	PUR	vstrekané a lisované súčiastky (napr. ozubené kolesá); v penovej forme čalúnenie (molitan) v nábytkárstve a v dopravných prostriedkoch, tepelné a hlukové izolácie

Polyetylén a **polypropylén** majú nižšiu pevnosť a tuhosť, veľkú húževnatosť (tab. 4), dosahujú vysoký stupeň creepu. Navyše majú veľmi dobré elektroizolačné vlastnosti. Sú horľavé, majú nízku odolnosťou voči UV žiareniu a poveternostným vplyvom. Sú nenavlhavé, majú veľmi dobrú chemickú odolnosť voči kyselinám, zásadám, soľným roztokom, alkoholom a rozpúšťadlami, čiastočne sú odolné voči benzínu, neodolávajú oxidáčnym činidlami a chlórovaným uhlíkovodíkom.

Rozvetvený PE (LDPE, vysokotlaký) je relatívne mäkký, vysokoťažný, húževnatý, má teplotnú odolnosť -60 až $+90$ °C (krátkodobu). Kryštalický podiel je 40 až 55 %, medza klzu 8 až 10 MPa, tvarová stálosť za tepla 35 až 45 °C. Spracovateľnosť je veľmi dobrá. Druhy s nízkou kryštalinitou sú prieľadnejšie. Rastúci stupeň kryštalinity vedie k rastu hustoty, modulu pružnosti, medze klzu, tvrdosti povrchu, tvarovej stálosti i chemickej odolnosti, ale aj k poklesu ťažnosti, húževnatosti a prieľadnosti. Rastúca molekulová hmotnosť vedie k rastu pevnosti v ťahu, ťažnosti, húževnatosti a k poklesu tekutosti.

Lineárny PE (HDPE, nízkotlakový) je tuhší, pevnejší a menej húževnatý. Kryštalický podiel je obvykle 60 až 80 %, preto má vyššiu hustotu, vyšší modul pružnosti, vyššiu medzu klzu (15 až 25 MPa), mierne vyššiu teplotnú odolnosť, tvarovú stálosť za tepla a chemickú odolnosť. Má nižšiu húževnatosť a sklon k praskaniu vplyvom poveternostných podmienok. Spracovateľnosť je veľmi dobrá.

Polypropylén je stredne pevný, tuhý a húževnatý materiál. Stupeň kryštalinity je 50 až 70 %, v porovnaní s PE má nižšiu hustotu, vyšší modul pružnosti a medzu klzu (30 až 38 MPa), húževnatosť je približne rovnaká ako u lineárneho PE, ale už pri 0 °C prudko klesá. Má vyššiu teplotnú odolnosť a tvarovú stálosť za tepla ako lineárny PE. Odolnosť voči UV je rovnako nízka ako odolnosť u lineárneho PE. Materiál nebýva prieľadný, môže byť nanajvýš priesvitný.

Tab. 4 Porovnanie vybraných vlastností polyetylénu a polypropylénu

Termoplast	Hustota (g.cm ⁻³)	Modul pružnosti (MPa)	Medza klzu (MPa)	Ťažnosť (%)	Stupeň kryštalinity (%)
PE rozvetvený	0,914 – 0,928	200 – 400	8 – 10	≥ 50	40 – 55
PE lineárny	0,935 – 0,963	600 – 1400	15 – 25	< 50	60 – 80
Polypropylén	0,900 – 0,910	1100 – 1600	30 – 38		50 – 70

Polystyrén je tvrdý, veľmi tuhý materiál s pevnosťou 30 až 55 MPa a ťažnosťou 3 až 4 % (tab. 5). Húževnatosť je veľmi nízka. Trvalá teplotná odolnosť materiálu je 55 až 80 °C, tvarová stálosť je do teploty 70 až 80 °C. Polystyrén má výborné elektroizolačné vlastnosti. Horí čadivým plameňom, je nenavlhavý a má nízku odolnosť voči UV. Spracovateľnosť je veľmi dobrá, výrobky vyrábané vstrekomávaním majú tvrdý, vysoko lesklý povrch.

Húževnatý PS (SB) je kopolymér styrénu s butadiénom. Rastúci podiel kaučuku znižuje tuhosť, tvrdosť a pevnosť, ale zvyšuje ťažnosť a húževnatosť. Má zlepšenú odolnosť voči UV, ale zhoršenú chemickú odolnosť. Má nižší lesk než tvrdý polystyrén.

Kopolymér styren-akrylonitril (SAN) má v porovnaní s polystyrénom vyššiu tuhosť, pevnosť aj húževnatosť, tá je však nižšia ako pri húževnatom PS. Má pomerne vysokú medzu únavy. Teplotná odolnosť a tvarová stálosť za tepla je vyššia ako pri PS a húževnatom PS. Je mierne navlhavý. Odolnosť voči UV a chemickej korózii je vyššia ako pri PS. Spracovateľnosť je rovnaká ako pri PS. Materiál má vysoký povrchový lesk, môže byť aj priehľadný. Používa sa na výrobu kuchynského riadu, škatuliek na potraviny, telies a krytov kuchynských zariadení, téglíkov na kozmetiku a liečivá, kief a zubných kefiek, skriniek telefónnych prístrojov, farebných krytov zadných svetiel automobilov.

Kopolymér akrylonitril-butadien-styren (ABS) má podobnú tuhosť, pevnosť a ťažnosť ako húževnatý PS, avšak značne vyššiu húževnatosť (aj za mrazov). Tlmí nárazy a vibrácie, má pomerne nízku medzu únavy. Jeho teplotná odolnosť a tvarová stálosť za tepla je vyššia ako pri ostatných styrenových polyméroch. Je mierne navlhavý. Spracovateľnosť je veľmi dobrá, povrchový lesk je nižší ako pri PS a SAN.

Polyvinylchlorid je amorfny termoplast, má pevnosť 45 až 65 MPa, modul pružnosti 2900 až 3400 MPa, má nízku ťažnosť a húževnatosť (najmä pri nízkych teplotách pod bodom mrazu). Je trvalo teplotne odolný pri teplotách okolo 60 °C, tvarovo stály pri teplotách 70 až 80 °C, má veľmi dobré elektroizolačné vlastnosti, je samozhášavý, nenavlhavý. Chemická odolnosť je veľmi dobrá voči kyselinám, zásadám, alkoholom, olejom a tukom, horšia chemická odolnosť je voči rozpúšťadlám a chlórovaným uhlíkovodíkom. Dá sa dobre lepiť. Spracovateľnosť je obtiažna vzhľadom na nízku tekutosť a náchylnosť na tepelnú degradáciu.

Húževnatý PVC má oproti tvrdenému PVC nižšiu tuhosť a pevnosť, ale vyššiu húževnatosť pri izbovej a zníženej teplote. Je odolnejší voči UV, nie je transparentný. Používa sa na výrobu nádrží a žľabov na odpadovú vodu, na výrobu potrubných tvaroviek a krytov elektrických prístrojov.

S rastúcim podielom zmäkčovadla klesá tuhosť a tvrdosť PVC. Zväčšuje sa jeho ohybnosť a schopnosť tlmieť nárazy a vibrácie. Trvalá teplotná odolnosť je pri teplote 50 až 60 °C. Má zlepšenú tekutosť taveniny a teda i spracovateľnosť. Môže byť priehľadný. Používa sa napríklad na výrobu ochranných krytov, tlmičov nárazov, obruči kočíkových koliesok, rukovätí, potápačských okuliarov, podrážok topánok, hračiek.

Polymetylmetakrylát je amorfny, tuhý a pevný (pevnosť 60 až 80 MPa) termoplast. Má nízku ťažnosť (5 až 6 %) a relatívne nízku húževnatosť. Trvalá teplotná odolnosť je 65 až 75 °C. PMMA je horľavý, veľmi dobre odolný voči vplyvom UV, mierne navlhá. Z dôvodu nízkej tekutosti je ťažko použiteľný na vstrekomávanie. Použitie nachádza pri výrobe priehľadných krytov prístrojov, zadných svetiel automobilov, svietidiel a pod.

Kopolymér PMMA/PS má mechanické a elektrické vlastnosti rovnaké ako PMMA, avšak horšiu odolnosť voči UV. Naopak, má lepšiu spracovateľnosť ako PMMA. Používa sa pri výrobe súčastí elektroprístrojov, TV a rádioprijímačov, súčastí meracích a optických prístrojov a kuchynských zariadení, téglíkov na liečivá, kozmetiku, potraviny.

Tab. 5 Porovnanie vybraných vlastností polystyrénu, polyvinylchloridu a polymetylmetakrylátu

Termoplast	Hustota (g.cm ⁻³)	Modul pružnosti (MPa)	Pevnosť (MPa)	Ťažnosť (%)	Stupeň kryštalinity (%)
Polystyrén	1,05	3100 – 3300	30 – 55	3 – 4	
Polyvinylchlorid		2900 – 3400	45 – 65		0
Polymetylmetakrylát	1,15 – 1,19	3100 – 3300	60 – 80	2 – 6	0

Polyamid je semikryštalický termoplast, ktorý obsahujú dusík. Kryštalický podiel je 20 až 40 %. Ide o tuhý, pevný a ťažný materiál, s výraznou medzou klzu a vysokou húževnatosťou (tab. 6). Navlhavé druhy strácajú pri vysušení húževnatosť a ťažnosť. Vykazujú vysokú oteruvzdornosť. Trvalá teplotná odolnosť je okolo 80 °C. Relatívne dobré elektroizolačné vlastnosti sa navlhnutím zhoršujú. Polyamidy vykazujú nižšiu horľavosť. Odolnosť voči UV žiareniu je nižšia.

Jednotlivé druhy sa od seba líšia spôsobom výroby a v menšej miere aj niektorými mechanickými vlastnosťami a navlhavosťou. Označujú sa číslami, ktoré znamenajú počet uhlíkov v základných monoméroch. S rastúcou molekulovou hmotnosťou sa zvyšuje húževnatosť a zhoršuje tekutosť taveniny. Spracovateľnosť je veľmi dobrá, tavenina má vysokú tekutosť, ale rýchlo tuhne.

Lineárny polyuretán je amorfný termoplast charakteru tuhého kaučuku, podobne ako polyamidy obsahuje dusík. Pevnosť v ťahu je 40 až 55 MPa, ťažnosť a húževnatosť je podobná ako pri kaučukoch. Kaučukovité správanie PU sa v rozmedzí teplôt –40 až 120 °C mení len veľmi málo. Oteruvzdornosť je vysoká, trvalá teplotná odolnosť je do 80 °C, teplotná rozťažnosť je veľká. Polyuretán je horľavý, odolnosť voči UV je dobrá. Materiál je navlhavý a jeho spracovateľnosť je dobrá.

Používa sa na výrobu tesniacich krúžkov, membrán, protiprašných krytov, tesnení, kladiek, značkovacích prívěskov zvierat (s odolnosťou proti mikróboch), lyžiarskych topánok, opätokov, ozubených kolies, ložísk.

Tab. 6 Porovnanie vybraných vlastností polyamidu a polyuretánu

Termoplast	Hustota (g.cm ⁻³)	Modul pružnosti (MPa)	Pevnosť (MPa)	Ťažnosť (%)	Stupeň kryštalinity (%)
Polyamid 66	1,13 – 1,16	3000/ 1600 *	85/ 60 *	25/ 50 *	35 – 45
Polyuretán		10 – 600	40 – 55		

* pozn. údaj pre suchý materiál/ materiál s vlhkosťou 2,7 %

Reaktoplasty sú makromolekulárne látky, pri spracovaní ktorých nastáva zosieťovanie molekúl, tzv. vytvrdenie. Vytvrdené reaktoplasty sú už ďalej netaviteľné. V porovnaní s termoplastami vynikajú reaktoplasty vysokou tuhosťou a tvrdosťou, teplotnou odolnosťou a tvarovou stálosťou za tepla, odolnosťou proti vplyvom UV žiarenia a nerozpustnosťou. Mechanické vlastnosti nie sú v rozmedzí obvyklých teplôt použitia tak premenlivé ako u termoplastov. Nevýhodou je nepatrná ťažnosť.

Spracovateľnosť reaktoplastov je určená predovšetkým tekutosťou (je všeobecne horšia ako pri termoplastoch), ktorá závisí od druhu živice a typu plniva. Pri vstrekaní nastáva silná orientácia plniva, anizotropia vlastností a vzniká veľké vnútorné pnutie, ktoré vzhľadom na veľkú krehkosť reaktoplastov môže viesť až k prasknutiu výrobku. Výrobné cykly pri vstrekaní výrobkov z reaktoplastov sú dlhšie ako pri termoplastoch.

Vybrané reaktoplasty a základné informácie o nich, t.j. polyreakcia, ktorou vznikajú, charakteristika ich stavby a použitie, sú uvedené v tab. 7.

Tab. 7 Vybrané reaktoplasty

Termoplast	Skratka	Polyreakcia	Stavba	Použitie
epoxidová živica	EP	polyadícia	amorfná	matrice v kompozitoch spevnených vláknami, lepidlá
nenasýtené polyester	UP	polymerizácia	amorfná	matrice v kompozitoch spevnených vláknami
fenolformaldehydová živica	PF	polykondenzácia	amorfná	matrice v kompozitoch spevnených práškovým plnivom

Nenasýtené polyester (UP) plnené sklenenými vláknami majú široký rozsah vlastností; modul pružnosti je 4000 až 15000 MPa, pevnosť v ťahu 20 až 30 MPa, teplotná odolnosť 110 až 130 °C, tvarová stálosť 125 až 135 °C. Materiál má veľmi dobré elektroizolačné vlastnosti a veľmi dobrú odolnosť voči UV, navlhavosť je nízka až stredná. Spracovateľnosť je dobrá, zmrštenie veľmi malé. Materiál je nepriehľadný. Použitie nachádza vo výrobe skriniek, krytov, podstavcov a iných tepelne namáhaných elektroizolačných súčiastok.

Fenoplasty sú fenolformaldehydové živice (PF) s rôznymi plnivami. Materiály sú tuhé, tvrdé a krehké. Majú modul pružnosti 6000 až 15000 MPa, pevnosť v ťahu 20 až 30 MPa, húževnatosť je veľmi nízka. Trvalá teplotná odolnosť je do 100 °C, tvarová stálosť za tepla 125 až 135 °C. Majú nízku teplotnú rozťažnosť, dobré elektroizolačné vlastnosti, dobrú odolnosť voči UV. Navlhavosť je vyššia pri PF s organickými plnivami, nízka pri PF s anorganickými plnivami. Chemická odolnosť je ovplyvnená druhom plniva. Spracovateľnosť je dobrá, tekutosť rôzna podľa typu.

PF plnená drevenou múčkou sa používa na výrobu elektroizolačných súčiastok bez rázového namáhania. PF plnená textilnými vláknami má nižšiu tuhosť, vyššiu húževnatosť, zvýšenú navlhavosť. Používa sa pri výrobe súčastí namáhaných rázom, krytov, klzných ložísk a elektroizolačných súčiastok. PF plnená azbestom má vyššiu tuhosť, zvýšenú trvalú teplotnú odolnosť a tvarovú stálosť za tepla do 150 °C. Takisto má zvýšenú odolnosť voči horeniu. Používa sa na výrobu súčiastok určených pre vyššie teploty.

Melamínové plasty sú to melamínformaldehydové živice (MF) s rôznymi plnivami. Mechanické, elektrické a fyzikálne vlastnosti sú podobné ako pri PF, odlišnosti sú v trvalej teplotnej odolnosti (do 110 °C) a v mierne vyššej navlhavosti. Chemická odolnosť je podobná ako pri PF, môžu prísť do styku s potravinami. Spracovateľnosť je horšia ako pri PF, niekedy sa modifikujú fenolom na zlepšenie tekutosti. To však zhoršuje zdravotnú nezávadnosť. Materiál je nepriehľadný. Používa sa pri výrobe elektroizolačných súčiastok, krytov meracích prístrojov, súčastí ističov, spínačov, regulačných gombíkov, rukovätí.

Elastoméry sú prevažne lineárne polyméry s malou hustotou zosietenia, v ktorých sa už pri izbovej teplote sekundárne väzby rozpadli. Základné elastoméry sa nazývajú *kaučuky*. Zosietením makromolekúl získava elastomér vďaka priečnym väzbám „tvarovú pamäť“, t.j. po odstránení zaťaženia sa vracia do pôvodného tvaru. Tieto materiály sa nazývajú *gumy*.

Kaučuky je možné podľa pôvodu rozdeliť na prírodné a syntetické.

Prírodný kaučuk sa vyrába z kaučukového mlieka (latexu), ktoré sa vyskytuje v mliečnych bunkách niektorých tropických stromov, z ktorých po narezaní kôry vyteká. Podstatou je *polyizoprén*, sprevádzaný malým množstvom nekaučukovitých látok. Surový kaučuk je plastický a má veľmi malú pevnosť v ťahu. Zahrievaním na vzduchu mäkne, pri 160 °C je lepkavý a okolo 220 °C sa topí. Svetlo (najmä ultrafialové) spôsobuje rýchle starnutie kaučuku; kaučuk stráca svoju elasticnosť, stáva sa nerozpustným a krehkým. Technický význam nadobúda až po odstránení nevýhodných vlastností vulkanizáciou.

Syntetické kaučuky sa vyrábajú vo väčšom počte druhov, z ktorých každý vyniká niektorými špecifickými vlastnosťami. Syntetické kaučuky (podobne ako prírodný kaučuk) je možné vulkanizovať. Rozdeľujú sa na kaučuky pre všeobecné použitie a kaučuky špeciálne. Kaučuky pre všeobecné použitie sa svojimi vlastnosťami blížia prírodnému kaučuku a väčšinou sa používajú ako jeho náhrada. Najdôležitejším z nich je *polybutadién*. Kaučuky špeciálne sa vyrábajú v menšom množstve ako predchádzajúce, niektorými vlastnosťami predčia prírodný kaučuk. Napr. *polychloroprén* je odolný proti účinkom olejov a používa sa na tesnenia.

Guma je vulkanizovaná kaučuková zmes. Vulkanizácia je proces sietenia lineárneho elastoméru, pri ktorom dochádza pôsobením vulkanizačného činidla (síry) k štruktúrnym zmenám, ktoré menia kaučuk s prevažne plastickým charakterom na gumu s prevažne elastickým charakterom. Vulkanizáciou sa zvyšuje pevnosť kaučuku, odolnosť proti zmenám teploty, účinkom svetla a rôznych chemikálií. Podľa množstva síry, ktorá sa použije k vulkanizácii, sa rozlišuje *mäkká guma* (obsah síry do 3 %) a *tvrdá guma* (obsah síry až 3,6 %).

Mäkká guma sa vyznačuje nízkou tvrdosťou a vysokou elasticitou. Používa sa na výrobu pneumatík, tesnení, izolácií elektrických zariadení, obklady podláh, výrobu dopravných pásov, v spotrebnom priemysle (hračky a pod.). Tvrdá guma sa vyznačuje vyššou tvrdosťou, dobrými mechanickými vlastnosťami a výbornou chemickou odolnosťou. Používa sa na výrobu armatúr, nádrží a pod.

4.2.4 Pomocné látky

Medzi pomocné látky patria:

- mazivá,
- zmäkčovadlá,
- pigmenty a farbivá,
- opticky zjasňujúce látky,
- plnivá,
- absorbéry ultrafialového žiarenia,
- nadúvadlá,
- činidlá znižujúce horľavosť,
- separačné činidlá.

Účelom **mazív** je uľahčiť niektoré technologické kroky (najmä ťažko spracovateľných polymérov). Nemali by pritom ovplyvňovať iné vlastnosti výrobkov, ako napr. priehľadnosť, tepelnú stabilitu, mechanické vlastnosti. Mazivá zlepšujú tekutosť, čo uľahčuje napríklad plnenie formy. Ako mazivá sa používajú mastné kyseliny, ako napr. kyselina stearová, ale aj prírodné vosky, mikrokryštalické parafíny, minerálne a rastlinné oleje.

Zmäkčovadlá sú kvapalné alebo tuhé organické látky, ktoré poskytujú organickým polymérom ohybnosť, tvárnosť a zväčšujú ich termoplastickosť tým, že znižujú viskozitu taveniny, teplotu skelného prechodu a modul pružnosti. Princípom pôsobenia zmäkčovadiel je zvýšenie vnútornej pohyblivosti makromolekúl. Malá pohyblivosť makromolekúl je totiž príčinou tuhosti materiálu. Ako zmäkčovadlá možno použiť takmer všetky organické kvapaliny, v technickej praxi sa používajú estery kyseliny ftalovej, adipovej, fosforečnej, ale tiež alkoholy a étery, príp. niektoré vysokomolekulárne látky, ako estery kyseliny polyakrylovej a pod. Dôležitým kritériom praktického použitia zmäkčovadla je jeho znášanlivosť s polymérom. Ak sa polymér rozpúšťa v zmäkčovadle v rozsahu technicky významných koncentrácií, potom sa takéto zmäkčovadlo označuje ako znášanlivé.

Pigmenty a farbivá sa používajú na zmenu farebného vzhľadu plastu. Farbenie plastických hmôt je dôležitou súčasťou spracovateľskej technológie. Použitie pigmentov a farbív pri plastických hmotách nie je iba otázkou ochrany polymérov pred rôznymi vplyvmi, ako napr. svetlo, ale neustále viac vystupuje do

popredia ich estetický vzhľad, čo vyžaduje dokonalé zvládnutie farbiaceho procesu. Pigmenty sú farebné látky, ktoré sa nerozpúšťajú. Naopak, farbivá sú rozpustné buď v monoméroch alebo tavenine polyméru.

Optické zjasňovače sú látky, ktoré neabsorbujú svetelné žiarenie z viditeľnej oblasti, ale časť ultrafialového svetla (340 – 400 nm). Získanú energiu vyžarujú počas osvetľovania vo forme žiarenia s väčšou vlnovou dĺžkou (430 až 460 nm), tzv. fluorescence. Touto vlastnosťou sa vyznačujú prevažne organické zlúčeniny obsahujúce systém najmenej štyroch dvojných väzieb, ako zlúčeniny so stilbenovým skeletom. Fluorescenciu zlúčenín ovplyvňuje i priestorové usporiadanie ich molekúl. Prevažná časť optických zjasňovacích prípravkov slúži najmä na dosiahnutie mimoriadnej belosti papiera a textilu, ale začínajú sa uplatňovať aj v technológii spracovania plastických hmôt. Používajú sa najmä na plastické látky farbené do modrých, ružových, resp. fialových odtieňov.

Plnivá sú prísady, ktorými sa upravujú vlastnosti základného materiálu alebo sa nimi znižuje cena výrobku. V mnohých prípadoch zvyšujú pevnosť (plnivá vlákňitého charakteru), zlepšujú elektrické vlastnosti, oteruvzdornosť, odolnosť voči vznieteniu, chemickú odolnosť atď. Je však nutné mať na zreteli vhodnú voľbu plniva a jeho množstvo. Prítomnosťou plniva sa menia takmer všetky vlastnosti od hustoty, tvrdosti, pevnosti, spracovateľnosti atď. až po finálny vzhľad výrobku.

Absorbéry ultrafialového žiarenia sú látky, ktoré absorbujú tú časť spektra, ktorá z energetického hľadiska umožňuje degradačnú reakciu polymérov. Absorbéry ultrafialového žiarenia nesmú prepúšťať svetlo s vlnovými dĺžkami 300 – 400 nm, medzi absorbérom a polymérom nesmie dochádzať k žiadnej chemickej reakcii, absorbér musí prijatú energiu premeniť na energiu neškodnú, t.j. na dlhé vlny alebo na teplo, pričom uvoľnená energia musí byť nižšia ako hodnota potrebná na rozklad polymérov. Absorbér musí byť stály, t.j. prijatá energia má byť premenená bez akejkoľvek jeho zmeny.

Nadúvadlá sú látky, ktoré sa pri určitej teplote ľahko rozkladajú pri silnej tvorbe plynu. Sú prísadami na prípravu ľahčených plastických hmôt a kaučukov. Nadúvadlá majú mať tieto vlastnosti – dobrú dispergovateľnosť v plastickej hmote, konštantnú teplotu rozkladu, kontrolovateľnú rýchlosť vyvíjania plynu, rozklad nemôže spôsobiť príliš veľký vzostup teploty, musí sa vyvíjať čo najväčšie množstvo plynu, rozkladné produkty nemôžu byť toxické ani korozívne, nadúvadlá musia byť lacné.

Činidlá znižujúce horľavosť, príp. zamedzujúce horeniu (tzv. zhášadlá) sa používajú pri výrobe konektorov na elektrotechnické aplikácie a tiež na aplikáciu nehorľavých náterov. Túto funkciu môžu splniť napr. nehorľavé zmäkčovadlá.

Pre mnohé spracovateľské technológie, ako napr. lisovanie, vytlačanie, tepelné zváranie atď., je dosť závažným problémom lepenie plastických materiálov na formy alebo tvarovacie súčasti spracovateľských zariadení. Často nedochádza k priamemu priťahovaniu plastických hmôt ku konštrukčným materiálom technologického zariadenia vplyvom medzimolekulových síl, ale nastáva mechanické priľnutie taveniny pri zvýšených teplotách následkom sklzu. Uvoľňovaniu výrobkov z foriem napomáha vhodná konštrukcia formy (skosené uhly, prieduchy a pod.), dokonale lesklý a čistý povrch tvárniacich zariadení, malý koeficient trenia použitého polyméru a pod. Okrem toho sa na ľahšie uvoľňovanie výrobku z tvárniacich zariadení používajú **separačné činidlá**, ktoré prispievajú k zvýšeniu produktivity výroby.

4.3 Postupy spracovania plastov

Medzi základné technológie spracovania plastov patrí:

- *lisovanie* – priame, nepriame (pretláčanie),
- *vytlačovanie*,
- *vyfukovanie*,
- *vstrekovanie*.

Lisovanie je všeobecný názov technológie spracovania plastických hmôt, pri ktorej spracovávané materiály nadobúdajú požadovaný tvar pôsobením tlaku a teploty. Lisovaním možno spracovávať termoplasty aj reaktoplasty. Najčastejšie používané spôsoby lisovania sú priame lisovanie a nepriame lisovanie (pretláčanie).

Priame lisovanie je jedna z najstarších metód tvárnenia plastických hmôt. Materiál sa pre tento spôsob spracovania dodáva spravidla vo forme práškov, tabliet alebo granúl.

Rozdiel medzi priamym lisovaním termoplastov a reaktoplastov je v tepelnom režime. Pri priamom lisovaní termoplastov je potrebné formu najskôr vyhriať a po lisovaní opäť ochladiť, aby si výlisok zachoval získaný tvar. Tým sa celý proces predlžuje a zároveň trpia nástroje. Preto sa táto technológia na spracovanie termoplastov používa zriedkavo. Naopak, pri spracovaní reaktoplastov je používaná často.

Materiál, ktorý bude lisovaný, sa plní do otvorenej dutiny formy. V ohriatej lisovacej forme prechádza do plastifikovaného stavu. Na materiál následne pôsobí tlakom lisovník. V dôsledku toho materiál zaplní tvarovú dutinu formy a vytvorí sa kópia povrchu formy. V prípade reaktoplastu prebieha následné vytvrdzovanie priamo vo forme a pod priamym tlakom lisovníka. Z toho vyplýva názov priame lisovanie.

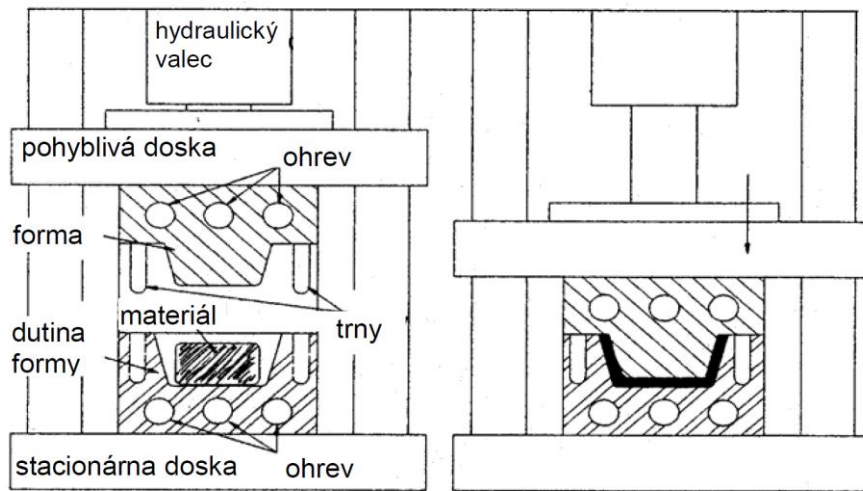
Technologický postup pri priamom lisovaní sa skladá zo štyroch fáz:

- plnenie formy,
- uzavretie formy a samotné lisovanie,
- otvorenie formy a vyňatie výlisku,
- čistenie formy.

Pri plnení formy je dôležité dodržať potrebné množstvo suroviny. Pri preplnení formy dochádza k pretokom a teda stratám materiálu. Pri nedostatočnom plnení sú produkované chybné výrobky. V procese uzavretia a samotného lisovania sa spočiatku pri nižšom tlaku odvádza vzduch, plyny a para. Lisovacie teploty závisia od druhu materiálu. Reaktoplasty pomerne zle znášajú dlhšie pôsobenie teploty, preto je potrebné správne zvoliť dobu trvania lisovania. Otvorenie formy pri lisovaní reaktoplastov sa robí bežne pri lisovacej teplote. Vyberanie výlisku z formy je zabezpečené mechanickým alebo pneumatickým zariadením. Čistenie formy sa robí ručne alebo pomocou prípravkov, prípadne stlačeným vzduchom. Ak sa na čistenie používajú nástroje, musia byť vyrobené z mäkkých materiálov, aby sa nepoškodil vysokoleštený povrch formy.

Formy na priame lisovanie sa zhotovujú z nástrojovej ocele. Dutina formy je často pokovovaná vrstvou tvrdého chrómu. V porovnaní s formami na vstrekovanie sú relatívne jednoduché. Sú konštruované tak, aby vydržali vysoké tlaky a vysoké teploty (200 – 250 °C). Musia tiež odolávať vysoko abrazívnemu pôsobeniu prípadného plniva. Životnosť foriem sa predpokladá okolo 500 000 cyklov.

Princíp lisovania reaktoplastu je uvedený na obr. 8. Lisovaný materiál je vložený do dutiny formy, kde je pôsobením tepla a tlaku prevedený do plastického stavu, ktorý umožňuje tvárnenie. Po vytvrdnutí je ešte teplý vybraný v tvare definitívneho výlisku.



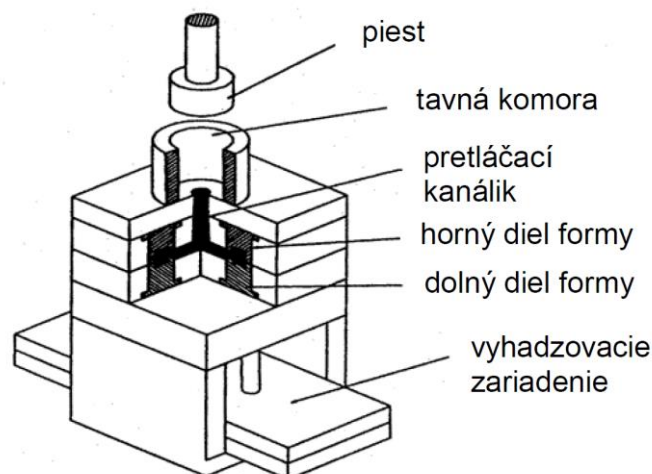
Obr. 8 Priame lisovanie

Priame lisovanie umožňuje maximálne využitie lisovanej hmoty. Vnútorne pnutie vo výliskoch je minimálne, pretože hmota je pri lisovaní v dutine formy vystavená iba krátkemu a mnohosmernému tlaku. Lisovanie je ľahko automatizovateľné a je vhodné na výlisky s tenkými stenami. Na výlisky s hmotnosťou nad 1,5 kg je vhodnejšie lisovanie ako pretláčanie a vstrekovanie, pretože zariadenie na lisovanie je lacnejšie. Veľkosť výlisku je obmedzená iba lisovacou silou lisu. Lisovanie je zvlášť vhodné na lisovanie hmôt plnených vláknami, ktorými iba ťažko možno plniť napr. zásobníky vstrekovacích strojov.

Nepriame lisovanie (pretláčanie) je konštrukčným variantom priameho lisovania. Základný rozdiel je v tom, že materiál, ktorý sa lisuje, sa taví v tavní komore, ktorá je súčasťou lisovacej formy. Z tejto tavní komory sa materiál po roztavení tlakom piesta vtláča kanálom do dutiny formy. Ďalší proces prebieha rovnako ako u priameho lisovania (obr. 9).

Forma je pred vstupom materiálu uzatvorená, preto nevzniká výronok a výrobky majú veľmi presný tvar. V porovnaní s priamym lisovaním je táto operácia rýchlejšia, opotrebenie formy je menšie. Tento spôsob lisovania si vyžaduje predbežný ohrev lisovacej hmoty. Formy na pretláčanie sú zložitejšie ako formy používané pri priamom lisovaní.

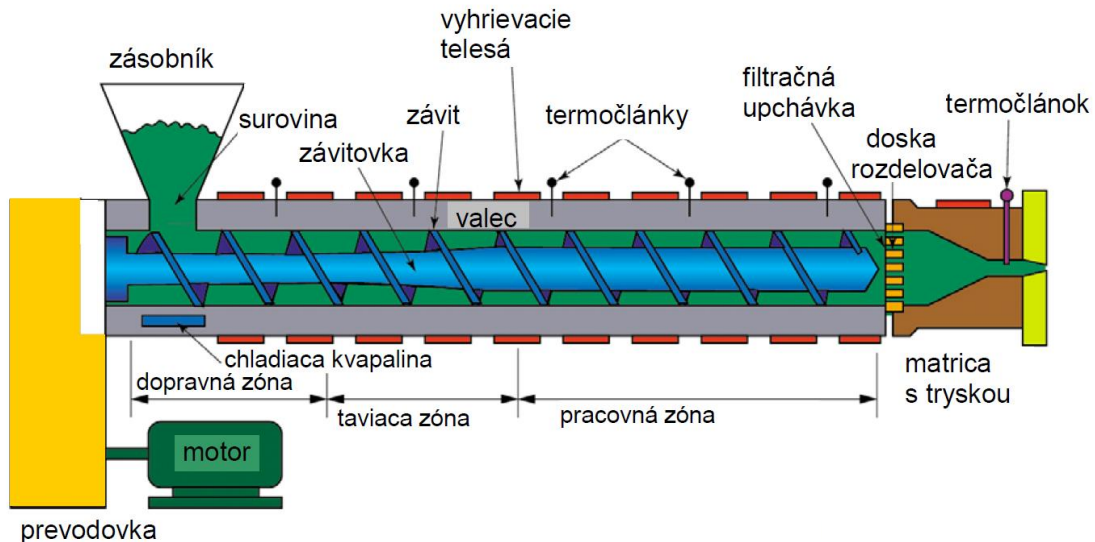
Pretláčacie formy sú vyrábané z nástrojovej ocele. Musia byť odolné proti opotrebeniu pri toku abrazívneho materiálu pod veľkým tlakom. Často sú pokovované tvrdým chrómom na zlepšenie oteruvzdornosti a hladkosti povrchu. Formy zvyknú byť konštruované z niekoľkých dielov tak, aby mohli byť najviac namáhané časti (vtokové kanáliky) vymenené bez deštrukcie celej formy.



Obr. 9 Nepriame lisovanie (pretláčanie)

Vytlačovanie je jedna z najznámejších a najproduktívnejších metód spracovania termoplastov, no možno ju použiť aj pre reaktoplasty. Vytlačovaním sa vyrábajú dosky, rúry, fólie, káble a pod.

Princíp vytlačovania je uvedený na obr. 10. Materiál sa zo zásobníka dostáva do valca so závitovkou, ktorá ho posúva cez vyhrievanú zónu extrudéra, kde sa roztaví. Následne tlačí taveninu cez otvor trysky, kde sa plast tvaruje do požadovaného tvaru.

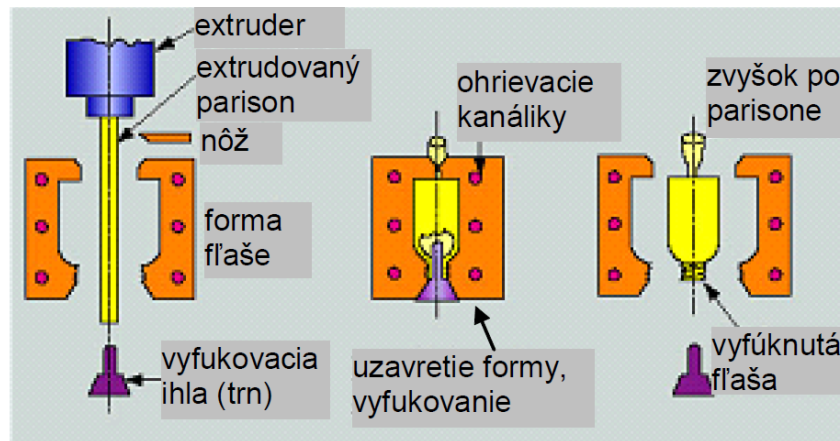


Obr. 10 Vytlačovanie

Vo valci jednozávitovkového extrudéra s vyhrievacím telesom prebieha v prvej časti iba posúvanie materiálu (tzv. dopravná zóna závitovky). Smerom ku koncu valca stúpa tlak a teplota, čo spôsobuje, že závitovka má v rôznych častiach rôzny typ závitú z hľadiska jeho hĺbky, šírky a stúpania. Navyše tlak je ovplyvnený aj odporom hlavice na konci valca (tzv. protitlak). Po prejdení určitej dĺžky vo valci sa materiál dostane do taviacej zóny, v ktorej sa roztaví na taveninu s určitými tokovými parametrami. Táto zóna môže mať rôznu dĺžku. Následne sa materiál dostáva do plastikačnej zóny. Táto zóna má zvyčajne dĺžku rovnajúcu sa jednej štvrtine až jednej polovici z celkovej dĺžky závitovky. V tejto zóne sa zníži hĺbka závitú, čím sa zabráni prudkému poklesu tlaku. Následne je materiál vytlačovaný cez trysku (extrudérovú matricu), kde sa chladnúcí plast tvaruje do požadovaného tvaru.

Vyfukovanie je veľmi jednoduchý spôsob tvarovania dutých výrobkov, najmä z polyetylénu, ktorý má dobrú tekutosť. Spravidla ide o výrobky na obalovú techniku (fľašky, tuby, kanistre a pod.). V súčasnosti sa táto technológia realizuje dvomi spôsobmi – *vyfukovanie s využitím extrúzie* a *vyfukovanie s využitím vstrekovania*.

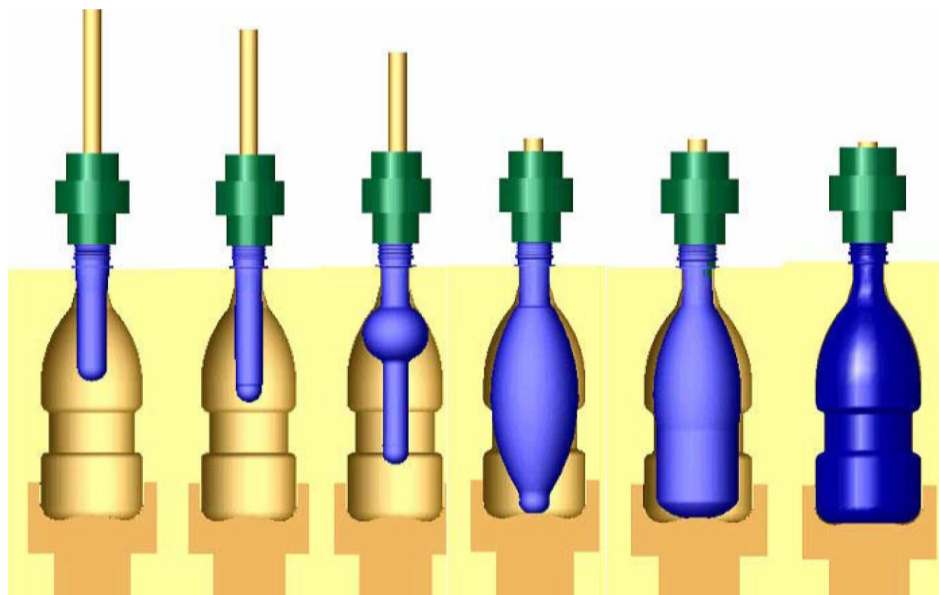
Pri **vyfukovaní s využitím extrúzie** sa pomocou extrudéra vytlačí do formy hrubostenná rúrka, tzv. parison. Okolo parisonu sa zovrú časti formy, stlačia obidva jeho konce a podržia ho vo vnútri temperovanej dutiny formy. Potom do dutiny formy vnikne nafukovacia ihla a prepichne parison. Cez ihlu je vtlačený vzduch a nafúkne parison do tvaru dutiny formy. Výrobok je následne ochladený v uzavretej forme. Potom sa forma otvorí a výrobok je vybraný z formy von (obr. 11).



Obr. 11 Vyfukovanie fľaše s využitím extrúzie

Vyfukovacia ihla (trň) sa pred vložením do vyfukovacieho zariadenia musí vždy ochladiť, aby sa materiál na ňu nelepil a nevznikali pri výrobe nepodarky. Nevýhodou extrúzneho vyfukovania je nepravidelná hrúbka stien, zvlášť v porovnaní s hrúbkou hrdla, ktoré sa musí vždy opracovávať a zbavovať pretokov. Vnútorňa strana na dne nádoby nebýva hladká, čo spôsobuje ťažkosti pri udržiavaní nádob v čistote.

Tieto závary odstraňuje **vyfukovanie s využitím vstrekovania**. Napr. pri výrobe fliaš je najskôr vstrekaním vyrobený polotovár so závitom (parison), ktorý sa vloží do predhriatej vyfukovacej formy a následne je nafúknutá fľaša v tvare dutiny formy (obr. 12).



Obr. 12 Vyfukovanie fľaše s využitím vstrekovania

Formy používané pri vyfukovaní nie sú zaťažené takým tlakom ako pri iných technológiách. Prevádzkové podmienky umožňujú vyrábať formy z hliníka namiesto foriem z nástrojovej ocele (cena hliníkovej formy je zlomkom ceny oceleovej formy). Ďalšou výhodou je, že hliníkové formy lepšie vedú teplo. V dôsledku toho výrobok rýchlejšie chladne a výrobný cyklus je kratší. Do formy musí byť zapracovaná nafukovacia ihla a ventily, ktoré odvádzajú vzduch z formy počas nafukovania. Formy na vstrekové vyfukovanie sú zložitejšie ako na extrúzne vyfukovanie. Na vstrekovanie je nutná oceľová forma a na vyfukovanie môže byť použitá forma oceľová alebo hliníková. Na výrobu PET fliaš je volená skôr forma oceľová z dôvodu jej trvanlivosti a možnosti dosiahnuť vysokolesklý povrch.

Vstrekovanie termoplastov je spôsob tvárnenia, pri ktorom presne stanovená dávka roztavenej hmoty je vstreknutá veľkou rýchlosťou do uzatvorenej tvarovej dutiny kovovej formy. Vo forme hmota ochladením stuhne na finálny výrobok. Potom sa forma v deliacej rovine otvorí, výrobok sa vyberie a celý proces sa po uzatvorení opakuje.

Výrobky zhotovené vstrekaním (výstreky) sa vyznačujú veľmi dobrou rozmerovou i tvarovou presnosťou a vysokou reprodukovateľnosťou mechanických a fyzikálnych vlastností. Tvar môže byť veľmi jednoduchý, ale aj značne zložitý. Hmotnosť výrobkov môže byť niekoľko gramov, ale aj niekoľko desiatok kilogramov. Táto technológia sa používa najmä na termoplasty s dobrou tekutosťou taveniny. Typy a variácie výrobkov vyrobených vstrekaním sú takmer nekonečné.

Postup pri vstrekaní pozostáva z nasledujúcich etáp:

- plastifikácia,
- vstreknutie taveniny do formy,
- plnenie formy,
- stlačenie materiálu vo forme,
- dotlak,
- chladnutie vo forme,
- otvorenie formy,
- vyhodenie výrobku,
- uzavretie formy.

Účelom *plastifikácie* je roztavenie granúl, homogenizácia materiálu a príprava na vstreknutie do formy. Robí sa v taviacej komore stroja, v ktorej sa pri plastifikácii otáča a posúva závitovka. Granulát padá medzi závit, taví sa, hnetie sa, homogenizuje, komprimuje a zhromažďuje sa pri čele závitovky. Je potrebné udržiavať teplotu taveniny, lebo tá má priamy vplyv na viskozitu taveniny, veľkosť a priebeh tlakov vo forme, dobu chladnutia výstrelu, stupeň orientácie makromolekúl a pod.

Pri *vstreknutí taveniny do formy* je potrebné dokonale naplniť dutinu formy taveninou tlakom 50 až 200 MPa. Tlak závisí od viskozity taveniny, členitosti formy a hrúbky stien výstrelu. Závitovka sa už neotáča, ale ako piest je posunutá dopredu a vytlačí taveninu cez trysku do formy. Plnenie formy musí byť dostatočne rýchle ($100 \text{ až } 200 \text{ m.s}^{-1}$), aby sa zabránilo chladnutiu a tuhnutiu hmoty.

Plnenie formy je sprevádzané rýchlymi zmenami tlaku, teploty a viskozity taveniny, ktoré sú väčšie u zložitých tvarov a pri vyššom pomere dĺžky toku taveniny k hrúbke steny. Môžu preto vznikať nerovnomernosti v štruktúre, orientácii a vnútorné pnutia. V takom prípade je potrebné upraviť tvar výstrelu z hľadiska optimalizácie prúdenia taveniny vo forme.

Účelom *dotlaku* je po dokončení vstrekovania dotlačenie taveniny do formy a nahrádzanie úbytku objemu spôsobeného zmrštením materiálu pri chladnutí. Časovo sa fáza dotlaku prekrýva s fázou chladnutia výstrelu vo forme. Dotlak má trvať tak dlho, kým nestuhne všetka tavenina až po ústie vtoku. Skoré ukončenie dotlaku má za následok vznik prepادلín, dutín a spätný tok taveniny z formy, sprevádzaný orientáciou materiálu. Neskoré ukončenie je naopak neúčelné a predlžuje pracovný cyklus.

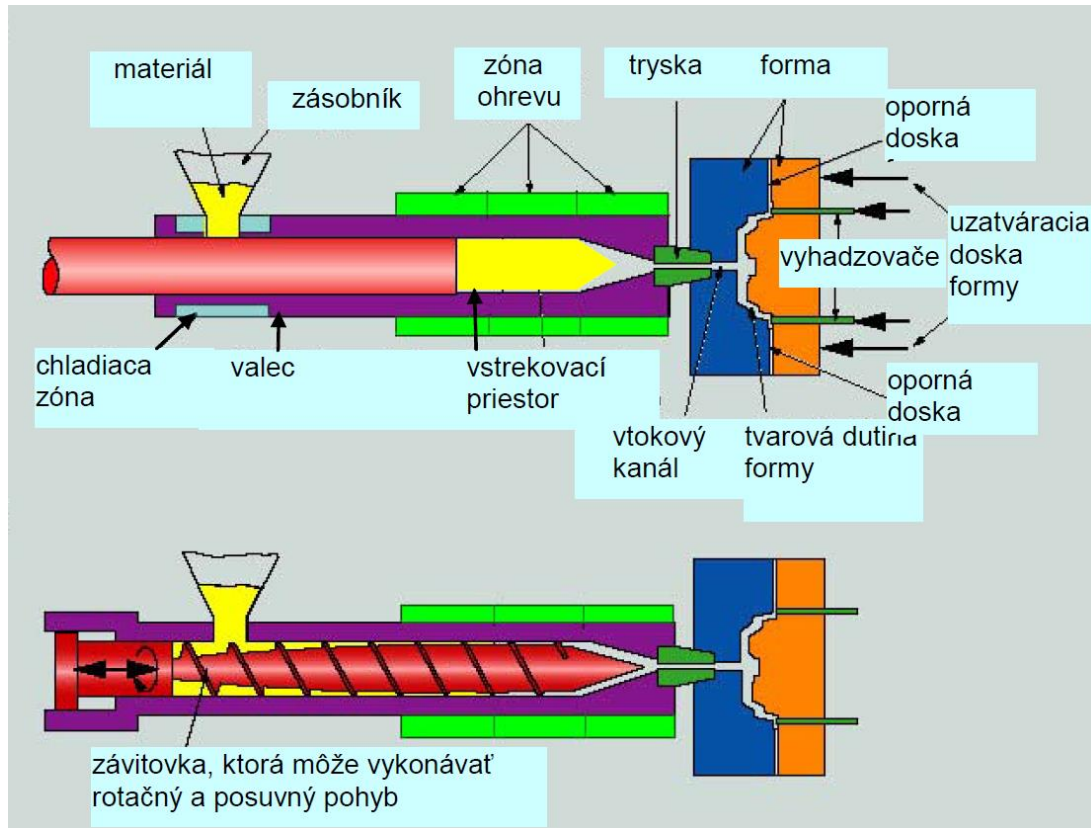
Chladnutie vo forme sa začína už počas vstrekovania a pokračuje počas dotlaku. Dochádza k značným časovým i lokálnym zmenám stavových veličín (tlak, objem, teplota). Ich priebeh je v rôznych miestach výstrelu rôzny a je ovplyvnený tvarom výrobku, hrúbkou stien, vstrekovacím tlakom a dotlakom, vstrekovacou rýchlosťou, teplotou taveniny, teplotným poľom formy atď.

Zmeny tlaku, objemu a teploty priamo určujú štruktúru materiálu a ovplyvňujú hmotnosť a rozmery výstrelu. Rýchle zmeny tlaku, objemu a teploty spôsobujú, že väčšina štruktúry je v nerovnovážnom stave. Z toho vyplýva, že nerovnovážnosť štruktúry a nehomogenita výstrelu je daná samotnou povahou vstrekovania a nedá sa jej vyhnúť. Uvedené javy sa však dajú udržať v prijateľných hraniciach tak, aby v každom kroku boli reprodukovateľné. Tak je možno docieľiť rovnomernú kvalitu a dobré rozmerové tolerance výrobkov.

Fáza chladnutia ovplyvňuje aj kvalitu povrchu výstreku, najmä lesk, ktorý závisí od teploty formy, drsnosti jej stien a od viskozity taveniny. Lesk niektorých semikryštalických polymérov sa zvyšuje znížením teploty formy. Tým je potlačená kryštalizácia povrchových vrstiev, ktorá je potom ako amorfna priesvitná a lesklá.

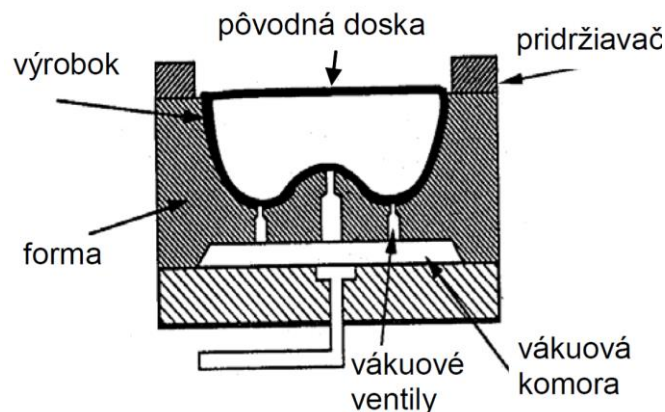
Otvorenie formy, vyhodenie výstreku a uzavrenie formy prebieha krátko po ukončení dotlaku.

Princíp vstrekovania je schematicky zobrazený na obr. 13.



Obr. 13 Vstrekovanie

Vákuové lisovanie je technológia, ktorá spracováva materiál v tvare dosky. Doska z plastu je umiestnená na rám stroja, ktorý ju po celom obvode pevne drží. Následne je ohriatá tak, aby zmäkla. V okamihu, keď je doska dostatočne mäkká, priblíži sa k nej forma a vyvinuté vákuum vtiahne dosku do dutiny formy. Po vychladnutí má doska tvar dutiny formy. Forma sa otvorí a výrobok je z nej vyhodnený (obr. 14).



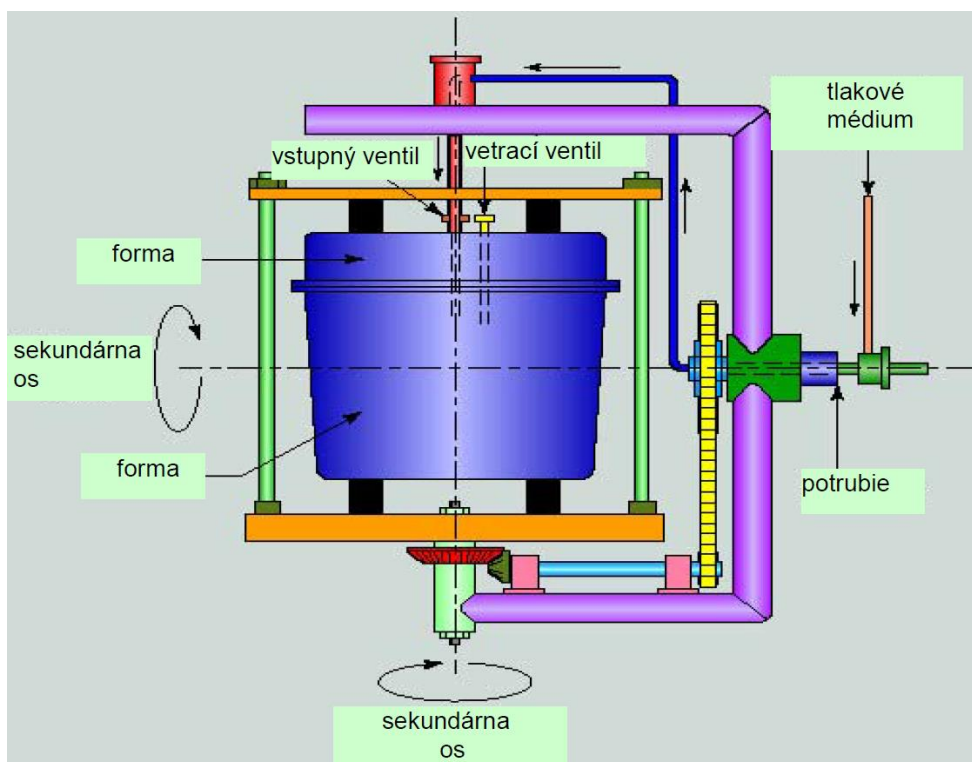
Obr. 14 Vákuové lisovanie

Rotačné tvarovanie je metóda na výrobu dutých plastových produktov, napr. nádrží, ale tiež lekárskeho produktov, spotrebného tovaru, poľnohospodárskych a záhradníckych zariadení, hračiek, športových potrieb a pod.

Odstredivé sily vznikajúce pri otáčaní okolo dvoch kolmých osí umožňujú tvarovanie dutého výrobku ľubovoľného tvaru. Vstupný materiál pri tejto technológii nemusí byť v tekutom stave. Môže sa používať termoplast vo forme pasty alebo prášku. Vsádzka sa bude taviť pri dotyku s vyhrievanou stenou a vytvorí tak kompaktnú vrstvu. Výrobok vyrobený týmto spôsobom bude mať hladkú iba vonkajšiu plochu.

Princíp rotačného tvarovania plastov je pomerne jednoduchý. Pozostáva z naplnenia formy práškom plastu, zohriatia, tvarovania (vytvorenia dutého tvaru), ochladenia a vybratia výrobku z formy (obr. 15).

Otvorená forma sa plní predváženým množstvom plastu (vo forme prášku), potrebným na vytvorenie výrobku. Po uzavretí forma rotuje okolo dvoch na seba kolmých osí a zároveň je ohrievaná. Rýchlosť rotácie je relatívne nízka; prášok obieha vo vnútri formy tak, že sa nachádza vždy v najnižšom bode formy až do roztavenia polyméru a vytvorenia vrstvy plastu. Keď je polymér roztavený, forma sa začne chlaďiť, až kým výrobok stuhne. Po dostatočnom ochladnutí sa forma otvorí a konečný výrobok sa vyberie.



Obr. 15 Rotačné tvarovanie

Formy používané pri rotačnom tvarovaní sú konštruované ako duté nádoby. Bežne sú vyrobené z dvoch častí. Najčastejšie sa vyrábajú z hliníka alebo tvarovaného oceľového plechu. Oceľový plech sa používa na veľké výrobky ako sú nádrže, zatiaľ čo odliatky z hliníka sa používajú pre malé súčiastky. Formy odolávajú vysokým tepelným zaťaženiam bez straty ich kvality.

Rotačné tvarovanie má v porovnaní s inými metódami viacero výhod – duté výrobky môžu byť vyrobené ako celok bez zvarovania alebo spojov, výrobky vyrobené rotačným tvarovaním sú bez vnútorných napätí, formy sú relatívne lacné, čas na výrobu foriem je relatívne krátky, hrúbka steny môže byť úplne rovnaká, rozčlenenie hrúbky steny môže byť zmenené bez ďalšej modifikácie formy, nevznikajú materiálové straty, dajú sa vyrábať viacstenné aj penové výrobky, rozdielne typy súčiastok sa dajú vyrábať na jednom stroji.

Na druhej strane, rotačné tvarovanie má aj nedostatky – výrobné časy sú dlhé, v súčasnosti je limitovaná voľba materiálov, materiálové náklady sú relatívne vysoké (potreba špeciálnych prísad, materiál musí byť z jemného prášku), niektoré geometrické tvary sa dajú len ťažko vyrobiť.