

8.3 Plasty

8.3.1 Úvod

Slovo plastická látka pochádza z gréckeho slova plastikos, ktorého význam by sme mohli označiť ako liaty, tvarovaný. Najjednoduchšie plasty (polyméry) boli vyrobené z prírodných organických materiálov rastlinného alebo živočíšneho pôvodu, napr. celulóza. Rôznymi chemickými reakciami možno z celulózy vyrobiť acetát z celulózy, ktorý sa používa vo forme fotografických filmov (celuloid), baliacich fólií, textilných vlákien. Prvé syntetické polyméry vyrobené človekom boli už spomínané bakelity. Rozvoj modernej plastikárskej technológie začal po roku 1920 spracovávaním materiálov, získaných z koksu a petroleja. Etylén bol prvým blokom pre výrobu polyetylénu. Etylén je produktom reakcie medzi koksom a petrolejom. Tieto materiály označujeme ako syntetické organické polyméry.

Používanie plastov, ale aj ďalších syntetických látok je charakteristickým znakom posledných desaťročí, pričom väčšina plastov je známa len 30 rokov. Pôvodne sa plasty používali v elektrotechnike a pri výrobe spotrebného tovaru. Neskôr sa použitie rozšírilo do oblasti konštrukčného využitia v strojárstve, v doprave a v stavebníctve. S rastúcou aplikáciou plastov sa stretávame aj v poľnohospodárstve, v zdravotníctve a v ďalších odboroch.

Plasty sú **makromolekulárne materiály**, ktoré sa dajú tvarovať a tvárniť teplom a tlakom, prípadne tlakom aj teplom. Patria sem termoplasty a reaktoplasty. Sú to látky, ktorých hlavnou zložkou je synteticky pripravený monomér alebo prírodný polymér, ktorý sa podrobí chemickým zmenám. V elektrotechnike a elektronike nachádzajú použitie od počiatku ich vzniku. Na počiatku to boli fenolformaldehydové živice (bakelit objavený Backelandom v roku 1906), teda izolant, ktorý je možné tvárniť lisovaním. V elektronike sa používajú najmä:

- konštrukčné plasty (na výrobu konektorov, pri výrobe káblov),
- plasty s funkčnými vlastnosťami (vo forme fólií ako dielektrikum kondenzátorov, ako izolanty, pri výrobe izolovaných vodičov a elektromotorov),
- plasty pre zalievanie a napúšťanie (živice pre puzdrenie aktívnych a pasívnych súčastí)
- laky z plastov,
- lepidlá z plastov.

Najväčšiu spotrebu má PVC. Značná je aj spotreba silikónových derivátov. Ide najmä o epoxidové živice, polyetyléntereftalát, polyetylénové a polypropylénové fólie, polyamidy, polykarbonáty, silikónový kaučuk a oleje.

Polyméry sú makromolekulové látky, ktoré majú okrem veľkosti makromolekuly aj charakteristický tvar makromolekuly s výrazným prevládáním spájania sa atómov do jedného smeru. Tieto štruktúrne znaky určujú nové črty vo vlastnostiach týchto látok v porovnaní s nízkomolekulovými látkami. Búrliivý rozvoj makromolekulovej vedy, ako organickej súčasti chémie a jej dynamika súvisí s neobyčajne efektívnou aplikáciou polymérov v praxi.

Výhodou plastov je ich výhodný pomer pevnosti k hmotnosti, ľahkosť výroby (tvarovania) výrobku, pestrý výber farieb a relatívne nízka cena. V porovnaní s ostatnými elektrotechnickými materiálmi (keramiky, kovy) sú síce menej pevné, ale oveľa ľahšie. Majú menšiu tepelnú a elektrickú vodivosť ako kovy, a väčšinou veľmi dobrú odolnosť proti poveternostným vplyvom a chemikáliám. Odolnosť polymérov voči pôsobeniu vody, kyselín a iných korózných činidiel umožňuje úsporu často deficitných materiálov a tiež podstatne predlžuje životnosť používaných materiálov a zariadení. Dôležitou vlastnosťou plastov je relatívne jednoduché a nie príliš nákladné spracovanie na výrobky aj veľmi zložitých tvarov. Táto vlastnosť je významná najmä pri výrobe veľkých sérií výrobkov so zložitým tvarom, najmä na automatizovaných linkách. Plasty možno jednoducho opracovávať, formovať, predmety možno odlievať alebo vytláčať (extrudovať) a spájať do rôznych tvarov. Výrobok takmer nepotrebuje povrchovú úpravu.

Nevýhodou v porovnaní s kovmi je ich nižšia tuhosť a značný koeficient tepelnej rozťažnosti. Teplotná oblasť ich použiteľnosti je v súčasnosti ohraničená asi na 300°C. Počas dlhodobej prevádzky nie sú plasty tak rozmerovo stabilné ako kovy.

Z plastov sa vyrábajú úžitkové predmety, ako sú: obuv, hračky, textil, čalúnenie nábytku, okenné rámy a výrobky s technickým určením ako sú: čerpadlá, transportné pásy, potrubia, ventily, tesnenia, nehučné ozubené kolesá, tlmiče otrasov, zariadenia pre zvukovú a tepelnú izoláciu, podklady pre tlačené spoje, izoláciu káblov. Veľmi je rozšírené použitie v obalovej technike ako náhrada skla, rôznych fólií.

Samostatnou oblasťou použitia sú **kompozitné materiály** na báze polymérov. Vystužené polyméry **so sklenenými, kovovými, uhlíkovými a inými vláknami dosahujú pevnosť kovových materiálov** pri nižšej hustote a lepších prevádzkových vlastnostiach. Aplikácia kompozitov na báze plastov rýchlo napreduje v automobilovom priemysle pri výrobe hriadeľov, listových pier, nárazníkov, prvkov karosérie, kolies a pod. V ostatnom čase sa kompozitné materiály využívajú pri stavbe lodí, v letectve a raketovej technike.

Výroba polymérov v svetovom meradle neustále stúpa. Percentuálne vyjadrenie produkcie polymérov najväčších výrobcov a produkcia na jedného obyvateľa je v tab. 8.6. Najväčší podiel výroby pripadá na termoplasty (65 %), menší na reaktoplasty (20 %) a na ostatné (15 %).

Tabuľka 8.6 Produkcia najväčších výrobcov polymérov

Štát	Produkcia (%)	Produkcia na 1 obyvateľa v kg
USA	27	75
Japonsko	11,9	63
SRN	9,3	96
Francúzsko	5,8	59
Taliansko	5,3	39

8.3.2 Vlastnosti plastov

Mechanické a fyzikálne vlastnosti plastov sú určené **štruktúrou a chemickým zložením molekúl**. Typickou vlastnosťou je **amorfná štruktúra, v ktorej môžu byť kryštalické oblasti**. Z fyzikálneho hľadiska sa plasty správajú ako viskózne tuhé kvapaliny. Ich správanie sa viac približuje ku sklu ako kovom. Nemajú teda ostrý bod tavenia, ale do kvapalného stavu prechádzajú v určitom rozmedzí teplôt. Podobne ako sklá, majú aj plasty **teplotu skleneného prechodu**, pod ktorou sa plast chová ako sklovité teleso, nad ňou ako elastický kaučuk. Plasty vykazujú výrazné tečenie a ich objemová stálosť je veľmi malá. Podobne ako sklá, sú krehké. Plasty je možné **nadúvať** a vtedy majú veľmi nízku mernú hmotnosť. Nadúvané plasty sa plnia napríklad dusíkom alebo CO₂, tvoria tak peny a ich vlastnosti sa skokovite menia. Tiež ich je možné plniť, kedy ich hustota stúpa. Plnenie plastov vláknami spôsobuje zvýšenie ich všeobecne nízkej pevnosti (vznikajú kompozity) a ako **plnidlá** sa používajú: sklené vlákna, vlákna z kremenného skla, grafitové vlákna, vlákna z nitrídu bóru. Plnením plastov sa tiež znižuje náchylnosť na tečenie. **Reaktoplasty** (fenoplasty, epoxidy, aminoplasty, silikónové živice) sú všeobecne **krehké**, a preto sa plnia prevažne pilinami, útržkami textilu, čadičovým prachom alebo mikromletým vápencom a to v množstve až do 70 % plniva. Termoplasty (polyetylén, polystyrén, polyvinylchlorid) sa dajú používať aj bez plnidiel. Živice plnené kovovými práškami alebo sadzami poskytujú možnosť výroby **vodivých polymérov**. Modul pružnosti u plastov kolíše. Všeobecne platí, že reaktoplasty sú krehkejšie ako termoplasty.

Plasty majú všeobecne **malú odolnosť voči zvýšeným a nízkym teplotám**. Veľmi dobre tepelne odolné sú polyimidy. Teplotný súčiniteľ dĺžkovej rozťažnosti je asi o jeden rád vyšší ako u kovov. Táto vlastnosť sa nepriaznivo prejavuje najmä u súčiastok so zalisovanými kovovými dielmi. Pri **náhlych zmenách teplôt** dochádza **k praskaniu plastov**. Je preto potrebné voliť plast s takým modulom pružnosti, aby sa vznikajúce namáhanie pružne vyrovnávalo. Táto okolnosť je dôležitá u plastových lepidiel používaných pre tmelenie kovov, skiel a keramik. Najlepšie zmenám teplôt odolávajú lepidlá kaučukovej konzistencie.

Zníženie tepelnej rozťažnosti je možné dosiahnuť plnidlami s malou rozťažnosťou (napr. prášok z kremenného skla). Plasty sú **dobrými tepelnými izolantmi** a ich tepelná vodivosť sa dá znížiť nadúvaním. Zvýšenie tepelnej vodivosti je možné dosiahnuť vhodnými plnidlami. Používa sa najmä meď a bronz a v špeciálnych prípadoch aj práškové striebro (vodivé lepidlá). Reaktoplasty vplyvom zvýšenej teploty nemäknú, a preto sú v elektronike obľúbené. Najväčšie problémy spôsobujú **nízke teploty**, pri ktorých sa plasty stávajú nepružnými, resp. **strácajú pružnosť**. Táto strata pružnosti je reverzibilná, avšak pri minimálnom mechanickom namáhaní za nízkych teplôt dochádza k vzniku drobných prasklín vnútri materiálu. Krátkodobo znesú teplotu okolo 260°C. Ich ďalším nedostatkom, ktorý sa nevyskytoval ani u skiel ani i keramik a zväčša ani u kovov, je **tečenie za studena** (tzv. kríp – creep). Behom určitého času dochádza k trvalým deformáciám tvaru najmä tam, kde sú plasty vystavené mechanickému zaťaženiu.

Z plastov majú najvyššiu tepelnú vodivosť vysokokryštalické polyméry (napr. polyetylén) s koeficientom tepelnej vodivosti do $1,55 \text{ WK}^{-1}\text{m}^{-1}$ a naopak najnižšiu tepelnú vodivosť amorfné a málo kryštalické polyméry ($0,17$ až $0,29 \text{ WK}^{-1}\text{m}^{-1}$). Najlepšími tepelnými izolátormi sú polyméry vo forme ľahčených pien: polystyrénové, polyuretánové, polyvinylchloridové a pod. Príčinou nízkej tepelnej vodivosti je veľké množstvo plynov uzatvoreného v dutinkách.

Ich ďalšou nevýhodou je náchylnosť na horľavosť. **Pri horení veľmi výrazne dymia, pričom plynné splodiny plastov pri horení sú jedovaté.** Existujú medzinárodné normy, ktoré predpisujú určitým výrobkom povinné skúšky odolnosti voči horľavosti, pričom veľmi často sa požadujú samozhášavé vlastnosti plastových materiálov.

Plasty majú veľkú rezistivitu a používajú sa **ako elektrické izolanty**. Veľmi veľkú rezistivitu má PTFE a najmä PS (skratky sú uvedené v tab. 8.7). Väčšiu rezistivitu má len jantár a parafín. Povrchový elektrický odor súvisí s navíhavosťou a obsahom iónových nečistôt. **Permitivita a stratový činiteľ sú u plastov malé.** Plasty vykazujú **elektrostatické vlastnosti**. Všeobecne najmenšiu schopnosť polarizácie vykazujú nepolárne polyméry (polyolefíny) a naopak najväčšiu schopnosť polarizácie majú polyméry obsahujúce v molekule skupinu CO, NH, O a iné. Vodivosť plastov sa zvyšuje prísadami (plnivá, zmäkčovadlá, pigmenty) a vlhkosťou. Elektronické zariadenia, ktoré vyžadujú vysoký stupeň elektromagnetického tienenia, sa uzatvárajú do skriň z plastov povrchovo upravených galvanickým pokovením. Takto sa dosiahne útlm 70 až 90 dB.

Z chemických vlastností je dôležitá **odolnosť voči vzduchu, navíhavosť, odolnosť voči rozpúšťadlám a kyselinám**. Voči kyselinám sú najodolnejšie fluorované uhľovodíky (PTFE - polytetrafluóretylén, PCTFE - polychlórtrifluóretylén). Používajú sa preto ako povrchová ochrana kovov alebo ich nahrádzajú úplne. Pri styku kvapalného prostredia s polymérom, je tento buď inertný k prostrediu alebo prostredie (nízkomolekulová látka) preniká medzi molekuly polyméru, čím dochádza k jeho napúšťaniu alebo rozpúšťaniu. To sa využíva najmä v mikroelektronike pri leptacích procesoch. Roztok plastu vo vhodnom rozpúšťadle je zároveň lepidlom príslušného plastu. Napr. nepolárny polystyrén sa rozpúšťa v nepolárnom rozpúšťadle (toluéne), polymetylmetakrylát (PMMA) sa zase rozpúšťa v polárnych esteroch alebo ketónoch. Plasty sa používajú často na prepravu kyselín, lúhov a solí, oxidujúcich látok, rozpúšťadiel a ich zmesí.

Vplyv koróznych činiteľov na plasty

Základným nežiaducim javom, ktorý sa vyskytuje u polymérov je **dočasná zmena povrchového elektrického odporu**, vyvolaná **kondenzovanou vodou**, ktorá znižuje povrchový elektrický odpor spolu s prachom. Ďalšími činiteľmi sú **zmeny teplôt a slnečné žiarenie**. **Vplyvom UV žiarenia dochádza k ich degradácii**, ktorá sa prejavuje skrehnutím plastu, zmenou farby, a iných vlastností.

Plasty sú málo odolné voči krátkovlnnému žiareniu. Korózia sa prejavuje zmenou farby materiálu, zmenami v makromolekulách, čo sa prejavuje starnutím materiálu. Vplyvom zvýšenej teploty strácajú plasty pružnosť a pevnosť. Povrch materiálu sa zdrsní a získava väčšiu schopnosť pohlcovať vlhkosť. Mnoho plastov býva napadnutá baktériami a plesňami.

Tiež bývajú napádané hlodavcami. Proti baktériám sa bránime používaním špeciálnych prídavkov, proti hlodavcom použitím laminovaných plastov s obsahom sklenených vlákien. Baktérie uvoľňujú pri svojich životných procesoch rôzne enzýmy, a kyseliny, čím menia niektoré anorganické látky (oxidácia amoniaku, sírovodíku a pod.), ktoré poškodzujú nielen plastu, ale aj kovy, ktoré sú týmito látkami chránené. Polyvinylchlorid (PVC) s obľubou prehrádzajú hlodavce, v tropických oblastiach rozožierajú plasty termity. Označovanie plastov je uvedené v tab. 8.7.

Tabuľka 8.7 Označovanie plastov

Symbol	Názov plastu	Symbol	Názov plastu
CA	Acetát celulózy	PUR	Polyuretán
CAB	Acetobutyrát celulózy	PETP	Polyetyléntereftalát
CAP	Acetopropionát celulózy	PF	Fenolformaldehvdová živica
CMC	Karboxymetylcelulóza	PMMA	Polymetylmetakrylát
CS	Kasein	PP	Polypropylén
EC	Etylcelulóza	PS	Polystyrén
EP	Epoxidová živica	PTFE	Polytetrafluóretylén
PA	Polyamid	PI	Polyimid
PC	Polykarbonát	PVC	Polyvinylchlorid
PE	Polyetylén	PMA	Polymetylakrylát
PET	Polyester	POM	Poly (oxymetylén) (Polyformaldehyd)
PCTFE	Polytrifluóchlóretylén	PVF	Polyvinylfluorid
UP	Nenasýtené polyestery	SI	Silikony

Pri spracovaní plastov do rôznych tvarov sa postup volí podľa typu plastu. **Reaktoplasty** si vyžadujú **horúce formy**, aby došlo k polymerizácii. **Ľahšie sa spracovávajú elastoméry** (vstrekovaním elastomérov vo forme granule, prietlačné lisovanie, priame lisovanie). Reaktoplasty sa jednoduchšie opracovávajú alebo obrábajú.

8.3.3 Rozdelenie plastov

Plasty podľa normy STN 640001 sú materiály, ktorých podstatu tvoria makromolekulové látky, ktoré možno formovať teplom alebo tlakom, alebo teplom a tlakom. Najčastejšie s plasty delia podľa pôvodu a podľa správania sa za tepla.

Podľa pôvodu a spôsobu výroby sa plasty rozdeľujú na:

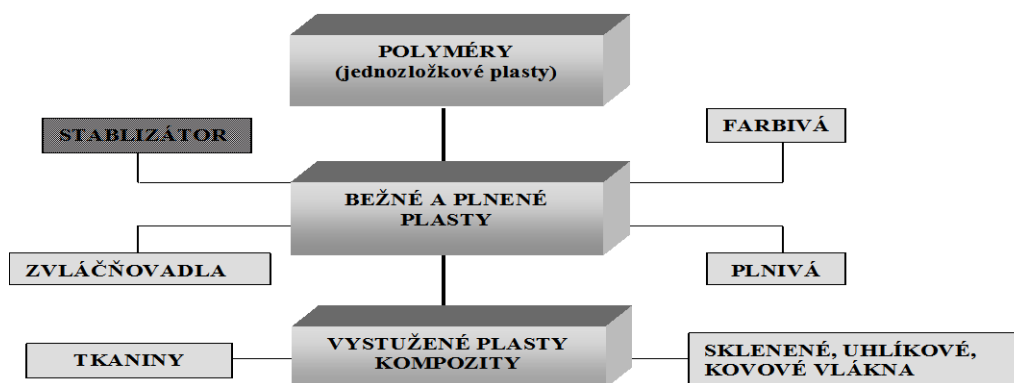
1. Plasty z **prírodných makromolekulových látok**, pri ktorých východiskovou surovinou sú najčastejšie celulóza (buničina) alebo iné bielkovinové látky. Známe výrobky z týchto látok sú napr. vulkanofiber, celuloid, celofán a pod.
2. **Syntetické plasty**, vyrobené syntézou nízkomolekulových organických zlúčenín. Východiskovou surovinou je ropa, zemný plyn čierne uhlie a iné. Pri syntéze sa uplatňujú rôzne polyreakcie, ako sú polymerizácia, polykondenzácia a polyadícia. Polymerizáciou sa získavajú napr. polyetylén, polypropylén, polyvinylchlorid (PVC), polystyrén a pod. Polykondenzáciou sa získavajú polyamidy, fenolformaldehvdové živice, polyesterové živice a iné.

Podľa správania sa za tepla rozdeľujeme plasty na:

1. **Plastoméry** (termoplasty), ktoré **účinkom tepla sa stávajú plastické**, tvarovateľné a po ochladení opäť stvrdnú, nadobúdajú želaný tvar. Ohrev, **tvarovanie** a ochladenie **možno pri nich opakovať bez zmeny vlastností**. Po prekročení teploty tečenia dochádza k ich tepelnému rozkladu. Spracovávať ich možno vytlačovaním, valcovaním lisovaním, striekaním zváraním a pod. K termoplastom patrí: polyetylén, polypropylén, PVC, polyamidy a pod.

2. **Duroméry** (reaktoplasty, termosety), ktoré sa teplom chemicky menia. Po ohriatí sú prechodne tvarovateľné, kedy ich možno rôznymi spôsobmi spracovávať a tvarovať a po ochladení svoju plasticosť strácajú. Ďalším ohriatím svoj tvar nemenia a nedajú sa formovať, nedajú sa taviť a sú nerozpustné. K reaktoplastom patrí: polyesterové, epoxidové a fenolformaldehydové živice a iné.
3. **Elastoméry (kaučuky a guma)** tvoria samostatnú skupinu polymérov, ktoré sa vyznačujú mimoriadnou pružnosťou a malou tuhosťou. Do tejto skupiny polymérov patria: prírodný kaučuk, syntetické kaučuky, guma a iné.

Plasty sú obvykle viaczložkové konštrukčné a technické materiály. Vedľa polymérov plasty obsahujú stabilizátory, farbivá (pigmenty), plnivá a zvláčňovadlá (mazadlá). Reaktoplasty sa dajú plniť až do 70 % plnivami, avšak termoplasty len do 30 %. Všetky zložky plastov sú dokonale homogenizované. Prídavné látky sa označujú ako prísady a spolu s polymérom tvoria vlastné plasty. Vo vystužených plastoch sú najviac prítomné bežné alebo sklenené textílie, kovové výstuže, výstuže z uhlíkových, bórových a syntetických vlákien a pod. Všeobecné členenie a vzájomnú väzbu jednotlivých zložiek znázorňuje schéma na obr. 8.6.



Obr. 8.6 Schéma jednotlivých zložiek a plnív plastov

Čisté polyméry sa používajú v obmedzenom rozsahu, avšak nie zanedbateľne. Bežne sa používajú napr. polytetrafluóretylén (teflón) na tesnenia a klzné ložiská, polyetylén na obalové fólie, polymetylmetakrylát (plexisklo) ako organické sklo.

Plasty sa pripravujú chemickými polyreakciami, ktoré prebiehajú reťazovým mechanizmom alebo stupňovitým mechanizmom. K polyreakciám s reťazovým mechanizmom výstavby patrí polymerizácia a so stupňovitým mechanizmom polykondenzácia a polyadícia.

8.3.4 Technicky významné plasty a polymérne kompozity

Vlastnosti plastov sú závislé od ich chemického zloženia a od štruktúry. Usporiadanie atómov v reťazci makromolekuly, ako základný ukazovateľ štruktúry býva hlavným kritériom pri rozdeľovaní polymérov do jednotlivých skupín.

Z hľadiska **chemického zloženia** delíme plasty na:

1. termoplasty s uhlíkovými reťazcami a tam patria pre prax najdôležitejšie:
 - polyetylén
 - polypropylén
 - polyvinylchlorid
 - polystyrén
 - syntetické kaučuky
 - polyakryláty
 - fluóroplasty

2. plasty obsahujúce v reťazci atómy dusíka:
 - polyamidy
 - polyuretány
3. Špecifické polyméry:
 - polyméry na báze kremíka
 - polyméry na báze fosforu

Tiež sa používa **delenie plastov na skupiny**: polyolefíny (polyetylén, polypropylén, polyizobutylén, polytetrafluóretylén), polydiény (polybutadién, chlórprénový kaučuk), vinylové polyméry (polystyrén, polyvinylchlorid) a pod. Vlastnosti niektorých termoplastov sú uvedené v tab. 8.8.

Tabuľka 8.8 Vlastnosti niektorých termoplastov

Vlastnosť	PE	PP	PVC mäkký	PS	PTFE	Poly trifluór chlór etylén	PA	Poly formal dehyd	PUR	PMMA
Merná hmotnosť (kg.m ⁻³)	910 - 960	900	1300	1050	2 100	2 100	1 140	1 200	1 210	1 180
Pevnosť v ťahu (MPa)	10 - 20	30	20	50	20 - 120	40 - 300	40 - 80	65	70	75
Ťažnosť (%)	150 - 600	600	200 - 300	1,3	200 - 60	100 - 40	20 - 300	50	10 - 150	4
Súčiniteľ teplotnej rozťažnosti (°C ⁻¹)	2.10 ⁻⁴	2.10 ⁻⁴	1,5.10 ⁻⁵	. 10 ⁻⁵	10 ⁻⁴	7.10 ⁻⁵	10 ⁻⁴	10 ⁻⁴		10 ⁻⁴
Tepelná vodivosť (Wm ⁻¹ K ⁻¹)	0,3 - 0,5	0,3	0,16	0,14	0,23	0,16	0,25	0,2	-	-
Max. tep. použitia (°C)	60 - 80	120	65	85	280	190	120	130	160	80
Nasiakavosť za 24 h (%)	0,01	0,01	0,2 - 0,5	0,1	-	-	3 - 11	0,3	0,3	0,2
Rezistivita (Ωcm)	10 ¹⁵ - 10 ¹⁸	10 ¹²	10 ¹¹	10 ¹⁶	10 ¹⁶	10 ¹⁸	10 ⁸ - 10 ¹⁴	10 ¹⁷	10 ¹⁴	10 ¹³
Relatívna permitivita (1MHz)	2,2	2,3	3,4	2,5	2,0	2,7	4 - 10	2,6 - 2,8	3,3 - 3,6	3,0 - 3,6
Stratový činiteľ (1 MHz)	6. 10 ⁻⁴	10 ⁻³	0,2	6.10 ⁻³	4.10 ⁻³	0,02	0,02	1,5.10 ⁻⁴	0,02	0,03

Polyetylén

V súčasnej dobe sa polyetylén pripravuje tromi spôsobmi:

- a) vysokotlakou polymerizáciou pri tlaku 100 až 300 MPa a teplote 200°C, iniciovanou benzolperoxidom alebo molekulárnym kyslíkom,
- b) nízkotlakou polymerizáciou pri heterogénnej katalýze alkylovými zlúčeninami za prítomnosti TiCl₄,
- c) stredotlakou polymerizáciou pri katalýze oxidmi chrómu alebo molybdénu.

Vlastnosti polyetylénu:

Polyetylén je pevná, biela priesvitná látka, svojim vzhľadom pripomínajúca parafín. Je bez chuti a zápachu, zdravotne neškodlivý. Jeho vlastnosti sú závislé od molekulovej hmotnosti a spôsobu prípravy.

Vysokotlaký polyetylén (rPE, HDPE) má mierne rozvetvené molekuly a malú molekulovú hmotnosť. Mernú hmotnosť má $0,92 \text{ Mgm}^{-3}$, pri izbovej teplote obsahuje 50 až 60 % kryštalickej fázy, interval topenia je od 105 až 115°C. Nezosietený polyetylén je použiteľný do teploty 60 - 65°C a krátkodobo do teploty 80 - 90°C. Pevnosť v ťahu má 8,5 až 10 MPa a predĺženie 80 až 100 %.

Nízkotlaký polyetylén (IPE, LDPE) má lineárny, nerozvetvený reťazec bez postranných skupín a jeho molekulová hmotnosť je podstatne vyššia (500 000 až 1 000 000). Vďaka lepšej skladnosti reťazcov obsahuje väčšie % kryštalickej fázy, až 90 %. Z toho vyplývajú aj zmenené vlastnosti polyméru. Teplota topenia sa zvyšuje na 125 až 135°C, hustota sa zvyšuje asi na $0,94 \text{ Mgm}^{-3}$, pevnosť v ťahu na 18 až 29 MPa, zatiaľ čo predĺženie klesá na asi 20 %. Je použiteľný do teploty 110°C.

Polyetylén má veľmi **nízku teplotu skleného prechodu** (- 80°C). To znamená, že výrobky z neho sú elastické, bez zmäčkovadiel aj pri veľmi nízkych teplotách. Spracováva sa pri teplotách 160° až 220°C dlhodobým zahrievaním v tavenine sa zhoršujú jeho vlastnosti. K jeho nedostatkom patrí malá termomechanická odolnosť, veľká zmršivosť, malá odolnosť voči slnečnému žiareniu a čiastočným výbojom.

Polyetylén je pri izbovej teplote nerozpustný v organických rozpúšťadlách. Pri zvýšenej teplote (80°C) sa rozpúšťa v uhľovodíkoch (toluén, xylén) a v chlórovaných uhľovodíkoch (trichlóretylén, tetrachlóretylén), z roztoku sa po ochladení opäť vylúči. Polyetylén má vynikajúcu odolnosť k väčšine kyselín a zásad, až do teploty 80°C. Má vynikajúcu odolnosť voči vode a nízku priepustnosť pary. Polyetylén má vynikajúce elektroizolačné vlastnosti, zvlášť vhodné pre vysoko frekvenčnú techniku.

Použitie polyetylénu

Použitie polyetylénu je veľmi rozmanité. Používa sa na výrobu fólií, ktoré sa pripravujú na závitkových strojoch vytlačovaním alebo ďalším vyfukovaním. Vytlačovaním sa z neho vyrábajú rúry a textilné vlákna. Vstrekováním sa vyrábajú najrozmanitejšie výrobky pre domácu potrebu (detské hračky, vaničky, vedrá, koše). Vyfukovaním sa pripravujú rôzne nádoby a fľaše.

V chemickom priemysle sa používa pri ochrane proti korózii, nanáša sa na rôzne materiály (papier, drevo, textil) a vo vysokofrekvenčnej technike ako vynikajúca izolačná hmota. Obchodný názov u nás je Bralen.

Polypropylén

Pripravuje sa z propylénu nízkotlakou polymerizáciou, podobne ako nízkotlaký polyetylén.

Vlastnosti polypropylénu

Vzhľad a vlastnosti polypropylénu sú blízke polyetylénu. Metylová skupina sťažuje pohyblivosť reťazca, čím sa polymér stáva krehký, najmä pri nízkej teplote. Polypropylén má v porovnaní s polyetylénom lepšie mechanické vlastnosti (pevnosť v ťahu 30 až 35 MPa), nižšiu mernú hmotnosť ($0,90 \text{ Mgm}^{-3}$), vyššiu teplotu topenia (165°C) a je použiteľný do 150°C. Je krehkejší ako polyetylén. Chemické a elektrické vlastnosti sú podobné ako v polyetyléne.

Použitie polypropylénu

Polypropylén má podobné použitie ako polyetylén, avšak znáša vyššie teploty. S výhodou sa používa tam, kde je potrebná vyššia pevnosť a keď má byť **trvalo používaný pri vyššej teplote**, napr. technické výlisky, vykladanie nádrží, vlákna a pod. Polypropylén sa dá **ľahko plniť organickými pigmentmi** a dá sa vyrobiť aj ako samozhášavý. Súčasti sa vyrábajú napr. vstrekománím alebo tvarovaním dosiek. **Tenké fólie sa používajú ako dielektriká kondenzátorov**. Trubice z PP začlenené grafitom sa používajú v elektronike pre transport vysokočistej vody. Plnením mikromletým vápencom sa zlepší stálosť za tepla a tiež súčiniteľ dĺžkovej rozťažnosti, avšak spracovateľnosť sa zhorší. U nás má obchodný názov Tatrex.

Polystyrén

Polystyrén sa pripravuje prevažne blokovou a perlovou polymerizáciou, v menšom rozsahu emulznou polymerizáciou.

Vlastnosti polystyrénu

Polystyrén je priehľadná, tvrdá, pomerne krehká hmota. Je bez chuti a zápachu, zdravotne neškodlivý. Objemová fenylová skupina sťažuje pohyblivosť lineárnej makromolekuly, čo sa odráža v tvrdosti a pevnosti polyméru. Blokované polyméry majú nižšiu molekulovú hmotnosť (10 000, 200 000), sú ale čistejšie, zatiaľ čo emulzné polyméry majú molekulovú hmotnosť vyššiu (50 000 až 1 000 000), ale sú znečistené zvyškami emulgátorov, takže neposkytujú priehľadné výrobky. Najčastejšie pripravovaný **perlový polystyrén** spojuje výhody oboch metód, to znamená, že má vyššiu molekulovú hmotnosť a pritom možno z neho pripraviť priehľadné výrobky. Bežne pripravovaný polystyrén je amorfný.

Polystyrén má mernú hmotnosť $1,05 \text{ Mg m}^{-3}$, pevnosť v ťahu 45 až 60 MPa a rázovú húževnatosť 25 kJ m^{-2} . Má vysokú teplotu skleneného prechodu (100°C) a je použiteľný do 70°C . Spracováva sa pri teplotách 170 až 220°C . Pri vyšších teplotách (220 až 300°C) depolymerizuje na monomerný styrén. Polystyrén má vynikajúce elektroizolačné vlastnosti, má vysoký index lomu, je dokonale priehľadný a prepúšťa 90 % viditeľného svetla.

Polystyrén je odolný proti vode, polárnym rozpúšťadlám a minerálnym kyselinám. Rozpúšťa sa v aromatických uhľovodíkoch, v dioxane a vo vyšších ketónoch.

Použitie polystyrénu

Vyrába sa v mnohých modifikáciách. Spracováva sa hlavne vstrekománím na predmety bežnej spotreby, ako hrebene, gombíky. Ozdobné misky, súčiastky strojov a pod. Vyfukovaním možno z polystyrénu vyrábať fľaše. V elektronike sa používa k príprave izolačných fólií a lakov.

Penový polystyrén sa používa na tepelnú izoláciu, pričom 2,5 cm hrubá doska penového polystyrénu má rovnakú izolačnú schopnosť ako 52 cm hrubá tehlová stena. Používa sa tiež na zvukovú izoláciu, na dekoračné účely a pod. Hustota penového polystyrénu býva 0,02 až $0,05 \text{ Mg m}^{-3}$. U nás má obchodný názov Krasten.

Kopolyméry styreínu

Kopolymerizáciou styreínu s približne 30 % akrylonitrylu vznikajú SAN kopolyméry. Vyššia polarita makromolekúl a vyššie medzimolekulové sily vyvolávajú vyššiu teplotu mäknutia a vyššiu chemickú odolnosť kopolyméru. Má obchodný názov Luran.

Štiepenou kopolymerizáciou styreínu na polybutadiénový kaučuk vzniká dvojfázový systém, v ktorom malé častice kaučuku sú rozptýlené v polystyrénovej spojitej fáze. Vzniknutý polymér si zachováva tuhosť a pevnosť polystyrénu, ale vďaka kaučukovej fáze

má zvýšenú schopnosť absorbovať nárazovú energiu, t.j. vyššiu húževnatosť. Tento kopolymér obsahujúci 20 % kaučuku sa **nazýva húževnatý polystyrén**. Húževnatý polystyrén sa spracováva vstrekaním a tiež vytlačovaním na dosky. Tieto možno ďalej vákuovo tvarovať.

Podobne štiepnou kopolymerizáciou styrénu s akrylonitrílylom a s 20 až 30 % polybutadiénového kaučuku vznikajú plastické hmoty nazývané **ABS polyméry**. Vyznačujú sa tvrdosťou, pevnosťou, húževnatosťou, vysokou teplotou mäknutia a chemickou odolnosťou. Sú ľahko spracovateľné a poskytujú výrobky s vysokým povrchovým leskom. ABS polyméry majú uplatnenie v automobilovom priemysle, pri výrobe chladničiek, pri výrobe rôznych prístrojov a pod. ABS polyméry možno galvanicky pokovovať. Obchodné názvy sú Forsan, Novodur.

Polyvinylchlorid

Polyvinylchlorid (PVC) sa pripravuje polymerizáciou pri tlaku 0,5 až 0,7 MPa a teplote 40 až 50°C.

Vlastnosti PVC

Objemové chlórové atómy v makromolekule PVC sťažujú ohybnosť reťazca a to tak sférickým efektom ako aj polaritou väzieb. Preto PVC je pomerne tuhý a pevný materiál. Je to biely prášok bez zápachu a fyziologicky neškodlivý. Molekulová hmotnosť technických polymérov sa pohybuje medzi 50 000 až 200 000. Merná hmotnosť je 1,35 Mgm⁻³. Vlastnosti PVC možno meniť v širokom rozmedzí prísadou zmäkčovadiel.

Tvrдый PVC pripravený bez zmäkčovadiel má pevnosť v ťahu 55 až 60 MPa a razovú húževnatosť 70 až kJ.m⁻². Do sklovitého stavu prechádza pri teplote asi 85°C a výrobky sa použiteľné v rozmedzí teplôt - 20 až 60°C. Pri vyšších teplotách výrobky z tvrdého PVC strácajú rýchlo pevnosť a prejavuje sa v nich tok.

Mäkčený PVC možno získať prídavkom zmäkčovadla od 20 do 50 %. Podľa množstva pridaného zmäkčovadla možno pripraviť výrobky s rôznym stupňom elasticity. Zvýšením koncentrácie zmäkčovadla klesá pevnosť a stúpa predĺženie, takže pridaním 50 % zmäkčovadla klesá pevnosť z pôvodných 60 MPa na 20 MPa a predĺženie naopak stúpa z 10 % na 400 %.

Ako zmäkčovadlá sa používajú: dibutylftalát, dioktylftalát, dioktyladipát a pod. V špeciálnych prípadoch sa používajú aj polymérne zmäkčovadlá na báze polyesterových živíc, epoxidových živíc alebo butadién – akrylonitrílové kaučuky. Zmiešaním PVC s vhodnými kaučukovými látkami (chlórovaný polyetylén, ABS polyméry) možno výrazne zvýšiť húževnatosť.

PVC sa spracováva pri teplotách 160 až 180°C. Pri týchto teplotách sa však PVC už rozkladá a uvoľňuje chlorovodík, pričom sa objavuje červené až tmavomodré sfarbenie. S tým súvisí aj zhoršenie vlastností PVC. Proti rozkladu sa stabilizuje PVC tepelnými stabilizátormi, napr. aj sódou, organickými zlúčeninami ťažkých kovov (Pb, Sn, Ba). Deštrukcia prebieha aj pôsobením svetla.

PVC pri izbovej teplote odoláva kyseline soľnej, sírovej, zriedenej dusičnej, zriedeným lúhom a roztokom rôznych solí. Je nerozpustný v alkoholoch, benzíne, napúča sa v esteroch, ketónoch a chlórovaných uhľovodíkoch.

Použitie PVC

PVC je jedným z najrozšírenejších plastických hmôt. Uplatňuje sa vo všetkých odboroch. Približne 50 % svetovej produkcie výrobkov z PVC zahŕňujú výrobky z mäkčeného PVC, 30 % spotrebuje elektrotechnický priemysel na **izoláciu káblov** a ostávajúcich 20 % pripadá konštrukčné výrobky (rúry, dosky, atď.).

Z tvrdého PVC sa vyrábajú na závitkových strojoch vytlačovaním rúry, rôzne profily, okenné rámy a pod. Vstrekaním sa vyrábajú rôzne inštalčné materiály, ako sú kolená, T

– kusy, koncovky a pod. Dosky z tvrdého PVC, pripravované lisovaním z fólií sa používajú tam, kde je potrebná ochrana proti koróznym účinkom prostredia. Pri tomto spôsobe použitia je dôležité, že je potrebná ochrana proti koróznym účinkom prostredia. Dosky, prípadne rúry možno po ohriatí tvarovať a zvärať. Zváranie sa uskutočňuje horúcim vzduchom (200°C) a zväracím drôtom z PVC. PVC sa stále viac využíva v obalovej technike.

Z mäkkého PVC sa na závitkových strojoch vytlačovaním vyrábajú hadice, rôzne tesniace profily, na valcovacích strojoch fólie na rôzne použitie. Zlisovaním PVC fólií sa pripravujú podlahoviny.

Významné je použitie pást PVC. Odlievaním alebo máčaním pást PVC sa vyrábajú ochranné rukavice, topánky, lopty a detské hračky. Nanášaním pást PVC na textilný podklad sa vyrába koženka. Z PVC sa pripravujú tuhé alebo elastické penové hmoty. Obchodný názov má u nás Neralit.

Polytetrafluóretylén

Polytetrafluóretylén sa pripravuje radikálovou polymerizáciou tetrafluóretylénu v emulzii alebo bloku pri zvýšenom tlaku.

Vlastnosti polytetrafluóretylénu

Polytetrafluóretylén je biela hmota o hustote 2,2 až 2,3 Mg m^{-3} . Fyzikálne vlastnosti polytetrafluóretylénu sú podmienené symetričnosťou jeho reťazcov. Objemnejšie a elektro-negatívnejšie atómy fluóru natoľko sťažujú základný reťazec, že polymér je bežnými plastikárskymi technológiami nespracovateľný. Má vysoký sklon ku kryštalizácii, pevnosť v ťahu je od 15 do 30 MPa, v orientovanom stave až 130 MPa. Predĺženie činí 100 až 120 %. Významnou vlastnosťou je, že svoju pevnosť zachováva v širokom rozmedzí teploty od -80 do 300°C . Teplota skleneného prechodu je asi -80°C a teplota mäknutia je od 320 do 327°C . Nad touto teplotou sa rozkladá. Je trvalo použiteľný aj pri vysokých teplotách 220 až 260°C .

Odpudzuje vodu a je mimoriadne odolný voči kyseline dusičnej, sírovej a soľnej, lúhom a organickým rozpúšťadlám až do ich varu. Má vynikajúce elektroizolačné vlastnosti v širokom rozmedzí teplôt od -150 až 260°C .

Použitie polytetrafluóretylénu

Nakoľko spracovávanie polytetrafluóretylénu pre jeho vysokú teplotu mäknutia je obtiažne, používajú sa pri jeho spracovaní metódy analogické ako v práškovej metalurgii. Práškový polytetrafluóretylén sa pod lisom zlisuje a pórovitý výlisok sa pod stálym tlakom spojí sintrovaním pri teplote 350 až 380°C . Týmto spôsobom sa vyrábajú tyče, rúry, tesnenia atď. Presné rozmery sa dosahujú obrábaním. Používajú sa tiež vodné disperzie polytetrafluóretylénu (povlaky, impregnácie). Pri aplikácii sa využívajú jeho vynikajúce antikoročné vlastnosti a stálosť pri vysokých teplotách. V chemickom priemysle sa z neho pripravujú tesnenia, sedlá ventilov, vykladajú sa nádrže. V domácnosti sa používa na povlaky kuchynských nádob. Významné použitie je v raketovej a vysokofrekvenčnej technike. Obchodný názov má Teflón.

Polytrifluórchlóretylén

Polymerizuje sa v chloroformovom roztoku peroxidickými iniciátormi v oceľových bombách pri teplote 100°C .

Vlastnosti polytrifluórchlóretylénu

Polytrifluórchlóretylén má podobné vlastnosti ako polytetrafluóretylén. Zanesením väčšieho množstva chlóru do reťazca makromolekuly je narušená dokonalá súmernosť reťazca a tým sú vyvolané aj zmeny jeho vlastností. Polytrifluórchlóretylén má sklon ku

kryštalizácii a rýchlym ochladením možno z neho pripraviť trvalo amorfné výrobky. Má vyššiu pevnosť v ťahu 35 až 50 MPa. Má však nižšiu teplotnú odolnosť a jeho použitie sa pohybuje od 100 až 200°C. Spracováva sa pri teplotách nad 250°C.

Použitie polytrifluórchlóretylénu

Použitie je podobné ako pri polytetrafluóretyléne. Jeho výhodou je, že ho možno spracovávať obvyklými technológiami (vstrekovaním, valcovaním a pod.) Obchodný názov má Hostaflon C.

Polyvinylalkohol

Polyvinylalkohol sa nedá pripraviť priamou polymerizáciou, lebo vinylalkohol ako monomér neexistuje. Pripravuje sa zmydelnením alebo reesterifikáciou polyvinylacetátu v alkoholických roztokoch v kyslom alebo zásaditom prostredí.

Vlastnosti polyvinylalkoholu

Polyvinylalkohol je biely alebo nažltlý prášok, bez chuti alebo zápachu, fyziologicky neškodlivý. Má mernú hmotnosť 1,25 Mgm⁻³. Lineárne makromolekuly s polárnymi hydroxylovými skupinami sú viazané veľkými medzimolekulovými skupinami, takže polymér je veľmi pevný a odoláva teplotám. Pevnosť v ťahu sa pohybuje od 35 do 50 MPa, po ťahaní na vlákna až 400 MPa. Zahrievaním sa netopí, mäkne a ďalším ohrievaním na teplotu 130 až 140°C tmavne, nad 200°C sa rozkladá a uhoľnatie. Teplota skleneného prechodu je asi 185°C. Polyvinylalkohol je použiteľný od – 50 do 130°C.

Polyvinylalkohol je rozpustný vo vode, fenole, kyseline mravenčej a octovej. Rozpustnosť vo vode možno znížiť zosieťovaním reťazcov, buď ohriatím na teplotu 160°C alebo pôsobením formaldehydu, anorganických kyselín a pod.

Použitie polyvinylalkoholu

Mäkčený polyvinylalkohol sa používa na výrobu hadíc, tesnení a pod., ktoré majú byť odolné proti organickým polárnym rozpúšťadlám (benzín). Pripravujú sa z neho fólie a vlákna. Má obchodný názov Mowiol.

Polymetylmetakrylát

Z polymetylmetakrylátov sú technicky významné polymetylmetakrylát a polybutylmetakrylát. Polyméry metakrylátu sa pripravujú prevažne blokovou polymerizáciou. Aj keď táto polymerizácia je pomerne zložitý a obtiažny proces, predsa sa vykonáva vo veľkom rozsahu, lebo sa tým získavajú dosky polyméru známe ako organické sklo. Pri polymerizácii robí ťažkosť náhly vývoj polymerizačného tepla, ktoré vo väčšom množstve polymerizovaného monoméru nie je možné odvieť a polymér sa spení. Z tohoto dôvodu sa robí polymerizácia na pomerne tenkých doskách (do 20 mm), pri ktorých dobrou cirkuláciou vyhrievaného média možno zaistiť vyhovujúci odvod polymerizačného tepla.

Vlastnosti polymetylmetakrylátu

Polymetylmetakryláty sú číre hmoty, ktorých fyzikálne vlastnosti sa menia s dĺžkou alkoholického zvyšku. V polymérnom reťazci sa striedajú kvartérne uhliky, čo sťažuje pohyblivosť reťazcov. Náhodné usporiadanie objemových substituentov zabraňuje kryštalizácii, takže výrobky sú priehľadné s výbornými optickými vlastnosťami. Polymetylmetakrylát má pevnosť v ťahu 50 až 80 MPa, rázovú húževnatosť 15 až 20 kJ.m⁻², teplotu skleneného prechodu má 105°C. Má vynikajúcu odolnosť proti starnutiu, proti pôsobeniu svetla a poveternostným vplyvom. Prepúšťa 99 % viditeľných lúčov svetla. Má

mernú hmotnosť $1,18 \text{ Mgm}^{-3}$. Zohrievaní nad 250°C sa depolymerizuje na pôvodný monomér. Mäkne pri 100°C a spracováva sa pri 140 až 200°C . Polybutylmetakrylát má pevnosť 7 MPa a je elastickejší.

Použitie polymetylmakrylátu

Pre svoje vynikajúce vlastnosti má polymetylmakrylát veľmi široké použitie. Predovšetkým sa z neho vyrábajú dosky, tzv. organické sklá (Umaplex, Plexiglas), ktoré svojou odolnosťou proti rozbitiu, menšou hustotou, má väčšiu priepustnosť ultrafialových lúčov ako silikátové sklo. Ďalšou prednosťou je ľahká tvarovateľnosť za tepla, ľahké opracovanie a možnosť zvárania a lepenia. Tieto vlastnosti umožňujú použitie pri zasklievaní lietadiel, áut a pod. Ubité dosky polymetylmakrylátu, vyrobené lisovaním alebo vytlačovaním, sú pre svoju vynikajúcu priepustnosť svetla a stálosť proti poveternostným vplyvom dôležitým prvkom pri zasklievaní hál a budov. Vytlačovaním na závitkových vytlačovacích strojoch možno tiež vyrábať dosky, rúry, tyče a pod. Vstrekovaním sa vyrábajú najrôznejšie zubné protézy, zasklievajú sa do nich metalografické vzorky (dentakryl). Fólie z polybutylmetakrylátu pre vynikajúcu stálosť a elasticnosť sa používajú ako medzivrstvy pri výrobe nerozbitných skiel. Obchodný názov je Umaplex, Plexiglas, Plexisklo.

Polyoxymetylén (polyformaldehyd)

Polyoxymetylén sa pripravuje iónovou (kationovou a aniónovou) polymerizáciou polyformaldehydu, prípadne jeho cyklického triméru – trioxálu.

Vlastnosti polyoxymetylénu (polyformaldehydu)

Polyformaldehyd na základe lineárnej štruktúry svojich makromolekúl je v pevnom stave vysokokryštalický, čo určuje do veľkej miery jeho fyzikálne vlastnosti. Jeho hustota je $1,4 \text{ Mgm}^{-3}$, pevnosť v ťahu cca 70 MPa . Predĺženie pri pretrhnutí je cca 60% a rázová húževnatosť 8 kJm^{-2} . Polyformaldehyd má vysokú tuhosť a tvrdosť. Je tvarovo stály v širokom teplotnom rozmedzí od -40°C až do teploty blízkej teplote tavenia kryštálov, t.j. do cca 165°C . Horná teplota použitia leží podľa mechanického zaťaženia a doby mechanického namáhania medzi 100 až 140°C . Polyformaldehyd je stály vo väčšine organických rozpúšťadiel a je odolný proti zriedeným lúhom aj pri zvýšenej teplote.

Použitie polyformaldehydu

Vysoká tvrdosť a tuhosť spojená s tvarovou stálosťou hotových výrobkov vytvára z polyformaldehydu vhodný materiál na vyhotovenie technických dielcov v strojárstve, v jemnej mechanike, automobilovom priemysle, ale tiež v elektronike a v oznamovacej technike. Úspešne sa využívajú všade tam, kde predtým boli používané farebné kovy spracovávané tlakovým vstrekovaním. Polyformaldehyd sa používa pri výrobe ozubených kolies, ktoré sa vyznačujú tichým chodom, nízkym koeficientom trenia a vysokou životnosťou. Ďalej sa tiež používa na kryty čerpadiel, textilné cievky, diely karburátorov, na rôzne držadlá, súčiastky telefónov, televízorov a pod. Pri výrobe klzných ložísk sa osvedčil polyformaldehyd plnený sulfidom molybdeničitým prípadne polytetrafluóretylénom. Obchodný názov je Delrin, Celeon.

Polyuretány

Vlastnosti polyuretánov

Vlastnosti lineárnych polyuretánov sú veľmi závislé od dĺžky uhľovodíkového reťazca medzi polárnymi uretánovými skupinami. Vo väčšine prípadov sú polyuretány kryštalické polyméry, ale ich bod topenia je nižší, ako bod topenia polyamidov s rovnakým počtom

metylénových skupín. V porovnaní s polyamidmi majú polyuretány aj menšiu mechanickú pevnosť, ale majú lepšie vlastnosti pri nízkych teplotách a menšiu hygroskopickosť.

Použitie polyuretánov

Výberom vhodných východiskových látok, správnym vedením tepelného režimu, dávkovaním reakčných komponentov a katalyzátorov možno dosiahnuť rozmanité vlastnosti a tým aj rozmanité použitie. Používa sa hlavne na prípravu vlákien, ktoré majú vlastnosti podobné vláknam nylonu. Sú pevné a majú vynikajúcu odolnosť proti starnutiu. Používa sa tiež na výrobu fólií. Kaučukové polyuretány známe pod menom Vulcollan sú vhodné na výrobu rôznych predmetov ako sú tesnenia, klinové remene, ozubené kolesá, spojky, ložiská a pod. Používajú sa tiež na výrobu penovej hmoty (molitan). Polyuretány sú hlavným komponentom na výrobu výplňových hmôt a lepidiel. Penové hmoty sa používajú na čalúnenie v automobilovom a nábytkárskom priemysle, ale tiež na zvukovú a tepelnú izoláciu. Obchodné názvy polyuretánov sú Vulcollan, Moltopen, Molitan.

Polyamidy

Polyamidy vznikajú prevažne polykondenzáciou alebo polymerizáciou ich cyklických amidov (laktamov). Ďalším veľmi rozšíreným spôsobom prípravy je kondenzácia alifatických diamínov (hexametylendiamin) s alifatickými dikarbonovými kyselinami (kyselina adipová). Polyamidy sú známe pod obchodným názvom Nylon. Najčastejším typom polyamidov sú PA 6 (silon) a PA 6.6 s ďalšími typmi, ako PA 6.10, PA 6.12, PA 11, PA 12, ktoré sú klasifikované ako špeciálne nylony.

Vlastnosti polyamidov

Polyamidy sú termoplastické látky, tvrdé a húževnaté. Vytvárajú makromolekuly, v ktorých sa striedajú uhlíkovodíkové reťazce s polárnymi amidickými skupinami. Pravidelnou štruktúrou a medzimolekulovým priťahovaním polárnych skupín, pri ktorom vznikajú vodíkové väzby, sa dosiahne vysoký stupeň kryštalinity. Tým sú výrobky tuhé a pevné, ako aj odolné proti rozpúšťadlám. Z ohybných uhlíkovodíkových článkov vyplýva ľahká spracovateľnosť a húževnatosť polyméru. Polymerizačný stupeň technicky spracovávaných polyamidov je 100 až 200. Polyamidy s vyšším polymerizačným stupňom sa spracovávajú ťažko pre vysokú viskozitu tavenín. Polyamid má medzu pevnosti v ťahu 60 až 70 MPa a razovú húževnatosť 150 až 175 KJm⁻². Orientovaním štruktúry ťahaním možno vo vláknach dosiahnuť pevnosť až 500 MPa. Polyamidy ako kryštalické polyméry majú ostrý bod tavenia (v rozmedzí 2 až 5°C), ktorý pre rôzne typy polymérov leží medzi 200 až 250°C. Väčšina polyamidov už pri teplote 250°C dáva riedke taveniny. Polyamidy sú použiteľné v teplotnom rozsahu od - 50 až do 100°C. Pri vyšších teplotách nastáva deštrukcia polyamidov.

Spracovávajú sa väčšinou vstrekováním pri teplotách 200 až 240°C.

Polyamidy sú hygroskopické. Pri bežných podmienkach obsahujú asi 2,5 % vody a dlhodobým zotrvaním vo vode dosahujú obsah vody 8 až 12 %. Prítomná voda znižuje pevnosť v ťahu a zvyšuje predĺženie. Vplyvom vody sa zhoršujú aj dielektrické vlastnosti polyamidov. Polyamidy sa rozpúšťajú v silných kyselinách a fenoloch. Sú pomerne odolné proti alkáliám. **Aramidy (aromatické polyamidy)** sú polyamidy, ktoré majú veľmi vysokú pevnosť a tuhosť a používajú sa ako vlákna pre spevnenie plastov.

Použitie polyamidov

Najväčšie množstvo polyamidov sa spracováva na vlákna pre textilný priemysel.

- Polyamidy sa ďalej uplatňujú tam, kde sa vyžaduje **vysoká pevnosť a húževnatosť** najmä v strojárstve. Vstrekováním sa z nich vyrábajú nehluché a samomazné ozubené kolesá, ložiská, tesnenia, kryty prístrojov, prilby a pod.

- V automobilovom priemysle nylonové trúbky rýchle nahrádzajú ocelové pre ich lepšiu manévrovateľnosť, dostatočnú pevnosť a húževnatosť a čistejší vnútorný povrch.
- Nylonové materiálové systémy sú zakomponované ako súčasť hardverových elementov a poskytujú priestor pre ich integráciu do integrovaných obvodov.
- Nylon je vhodný pre ochranné **oplašťovanie izolovaných drôtov** a káblov, pretože má **dobrú chemickú odolnosť voči olejom, mazivám, odolnosť voči abrazívnemu namáhaniu a taktiež teplotnú stabilitu.**
- **Obalové materiály** nielen pre (najmä mrazené) potraviny na báze nylonu sú známe najmä pre svoju **húževnatosť a pevnosť**.
- Masívne nylonové výrobky, ktoré sa nedajú vyrábať vstrekaním, možno vyrobiť aniónovou blokovou polymerizáciou ϵ - kaprolaktámu priamo vo forme. Veľké duté výrobky možno pripraviť rotačným odlievaním.
- Z polyamidov sa vstrekaním vyrábajú aj predmety dennej spotreby ako sú hrebene, zipsy, misky, košíky a pod.
- Známe sú aj vláknité materiály využívané pri výrobe hračiek, záhradného alebo rybárskeho náradia.
- Niektoré druhy nylonových materiálov sú plnené sklenenými vláknami (30 až 40 %), ktoré zosilňujú ich mechanické vlastnosti a rozmerovú stabilitu.
- Tieto materiály nachádzajú uplatnenie v elektronických zariadeniach, reproduktoroch, telefónnych komponentov, niektorých športových tovaroch, prípadne v priemyselných krytoch a držiakoch

Polyamidy možno nanášať ako ochrannú vrstvu horúcim vzduchom. Obchodné názvy sú Silon, Nylon, Perlon, Kapron.

Nylonové vrstvy si mnohí výrobcovia obľúbili pre ich vynikajúcu schopnosť byť odolný voči oderu a tvorbe trhlín. Sú biaxiálne orientované, vysokopevné, **majú vysokú odolnosť voči chemikáliám a teplotám, sú transparentné, odolné voči prepúšťaniu plynov a majú vysokú elektrickú pevnosť**. Používajú sa na výrobu balónov, ako elektrické izolanty, obaly mrazených potravín, obaly tekutín, súčasti lekárskeho zariadení, v polygrafii a pod. Vo forme práškov sú modifikované pre použitie ako fluidizačné prášky.

Epoxidové živice

Základné epoxidové živice vznikajú reakciou polyfenylov s epichlórhydridom, pričom vznikajú lineárne makromolekuly.

Vlastnosti a použitie epoxidových živíc

Epoxidové živice v závislosti od zloženia majú pevnosť od 40 do 80 MPa pri predĺžení 1 až 5 %. Rázová húževnatosť je nízka a pohybuje sa od 0,5 do 1,5 kJm⁻².

Epoxidové živice sa vyznačujú vynikajúcou adhéziou ku kovom, sklu, keramickým materiálom a pod. Takto vzniknuté spoje majú vysokú mechanickú pevnosť a húževnatosť. Sú odolné proti lúhom, kyselinám a proti uhlíkovodíkom. Epoxidovými lepidlami možno lepiť aj vysokonamáhané dielce, napr. krídla a trupy lietadiel. Nakoľko epoxidové živice majú pri vytvrdzovaní len malú kontrakciu, s výhodou sa používajú **ako zalievacie živice v elektrotechnike**.

Epoxidové živice možno odlievať čisté alebo s anorganickými plnivami ako piesok, kaolín, grafit, prášky kovov a pod. Týmto spôsobom sa ďalej znižuje objemová kontrakcia pri vytvrdzovaní a zvyšuje sa tepelná vodivosť a pevnosť v tlaku. Epoxidové živice sa tiež uplatňujú ako laminačné živice v kombinácii so sklenenou výplňou alebo s textilom. Pri použití sklenených vlákien v závislosti od zloženia vlákien možno pri nich dosiahnuť pevnosť v ťahu až 300 MPa a modul pružnosti 17 000 MPa. V kombinácii s plnivami sa používajú na prípravu lisovacích nástrojov, najmä pre nízkotlaké lisovanie a vstrekovanie. U nás sa najčastejšie

používajú živice ChS – Epoxy – 1200 a ChS – Epoxy 2000. Živica sa spracováva pri teplote 130 až 135°C.

Fenoplasty

Fenoplasty alebo fenolické živice patria medzi najstaršie a najrozšírenejšie živice. Pripravujú sa polykondenzáciou fenolu a jeho homológov a derivátov s aldehydmi, najčastejšie formaldehydom. Podľa druhu fenolu, pomeru zložiek a katalýzy možno pripraviť lineárne, rozvetvené a zosietené typy polymérov. Keď prebieha polykondenzácia v nadbytku fenolu v kyslom prostredí, vzniká lineárny polymér - Novolak. Novolaky sú termoplasty, ktoré samotné nie sú schopné vytvoriť trojrozmernú štruktúru. Keď sa však do nich pridá ďalšie množstvo aldehydu a prostredie sa zmení na alkalické, čo sa v technickej praxi realizuje pridaním hexametyléntetramínu, novolaky sa menia na zosietený polymér - Rezit, nerozpustný a netaviteľný.

Vlastnosti a použitie fenoplastov

Fenoplasty sa používajú na rozmanité účely ako lisovacie hmoty, vrstvené hmoty, lepidlá a tmely. Lisovacie hmoty vznikajú zmiešaním rezolu s plnivami, farbivami a mazivami s následným rozomletím na jemnú múčku. Túto možno ohriať na 150 až 180°C a tlaku 15 až 60 MPa v ocelových formách lisovať na rozmanité výlisky. Z fenoplastov sa lisujú vypínače, zásuvky skrine prístrojov, okenné rámy a pod. **Výhodou týchto výliskov je ich nízka cena, nevýhodou je ich nízka rázová húževnatosť a tiež, že možno pripraviť výroby len v tmavých farbách.** Vrstvené hmoty vznikajú lisovaním vrstiev papiera, textílií, drevených dýh a pod. Takto možno získať pevné a tvrdé dosky s dobrou odolnosťou proti chemickým vplyvom a proti opotrebeniu. Tieto výrobky s názvom **Pertinax a Umakart** sa používajú ako obkladacie materiály s vynikajúcimi elektroizolačnými vlastnosťami. Fenoplasty sa používajú tiež ako pojivá pre rôzne materiály ako napr. brzdové obloženie, brúsne kotúče, trvalé magnety a pod. Fenoplasty sa objavujú pod obchodnými názvami **Bakelit, Ostralit, Umakart, Umatext** a pod.

Polyesterové živice

Nenasýtené polyesterové živice sa pripravujú kondenzáciou dikarbonových kyselín s dvojmocnými alkoholmi, pričom jedna z reakčných zložiek obsahuje dvojitú väzbu. **Táto dvojitá väzba v reťazci polyesterovej živice umožňuje dodatočné sieťovanie – vytvrdzovanie.** Vytvrdzovanie sa robí za tepla iniciáciou organickými peroxidmi alebo pri izbovej teplote, kde sa k organickým peroxidom pridávajú látky, ktoré sú schopné polymerizáciu urýchliť.

Vlastnosti a použitie polyesterových živíc

Vlastnosti vytvrdzovaných polyesterových živíc možno meniť východiskovým zložením nenasýtenej polyesterovej živice. **Vytvrdené živice sú pevné a krehké hmoty, priehľadné so žltkastým nádychom. Ich hlavné použitie je v kombinácii so sklenenými vláknami, kde po vytvrdení poskytujú hmoty s vynikajúcimi vlastnosťami.** Výlisky so sklenenými vláknami majú pevnosť v ťahu až 170 MPa a rázovú húževnatosť 150 kJm⁻². Lamináty sa uplatňujú najmä v automobilovom priemysle, pri stavbe lodí a v nábytkárskom priemysle. Vytvrdené výlisky možno ľahko opracovávať a majú dobrú odolnosť proti poveternostným vplyvom. Čisté nenasýtené polyesterové živice sa používajú **aj ako zalievacie hmoty, lepidlá a laky.** Obchodný názov majú ChS – Polyester.

Polyestery

Sú polykondenzátory vznikajúce esterifikáciou látok viacsýtnych kyselín s viacmocnými alkoholmi. Lineárne polyestery vznikajú z kyselín s dvoma karboxylovými skupinami (napr. kyselina adipová alebo ftalová) a z alkoholov s dvoma skupinami hydroxylovými (napr. glykol).

Lineárne polyestery sú termoplastické hmoty, z ktorých sa dajú vyrábať vlákna a fólie a tiež sa používajú pre výrobu lakov. Sú to vysokomolekulárne produkty obsahujúce esterové skupiny v súvislých reťazcoch. Sú to zväčša tuhé voskovité látky, ich teplota tavenia závisí od počtu uhlíkových atómov kyselín a glykolu. Zahrievaním so zásadami alebo kyselinami sa hydrolyzujú, v niektorých organických rozpúšťadlách (éter, alkohol, chloroform a i.) sa rozpúšťajú. Okrem lineárnych sú známe aj trojrozmerné polyestery, ktoré sa používajú v priemysle lakov pod názvami alkydy alebo glyptaly. Modifikujú sa živicami (napr. kolofóniou) a olejmi. Maleínová živica, druh polyesterovej živice s trojrozmernou štruktúrou, sa vyrába polykondenzáciou pri 150 až 200°C z kalafónie, kyseliny maleínovej a glykolu. Hmota svetlej farby, výborné rozpúšťadlo, sa používa na výrobu olejových lakov. Polyesterové živice sa používajú najmä na výrobu lakov alebo ako zmäkčovadlá lakov alebo formaldehydových živíc.

Lineárne polyestery a z nich najmä polyetyléntereftalát, vynikajú dobrými mechanickými a elektrickými vlastnosťami. Polyetyléntereftalát (PETP) sa vyrába z kyseliny tereftalátovej alebo dimetyltereftalátu a etylénglykolu. Polyetyléntereftalát je vláknotvorný polyester, chemicky stály, nerozpustný v anorganických rozpúšťadlách, ktorý má vysokú teplotu topenia (255°C), s veľmi dobrými elektroizolačnými vlastnosťami a s malou navlhavosťou okolo 0,4 %. Pri polykondenzácii vzniká vysokomolekulárny produkt, ktorý sa po dokonalom vysušení spracováva na vlákna alebo fólie. Tie sa ďalej orientujú preťahovaním, čím sa ich pevnosť mnohonásobne zvýši. Polyetyléntereftalát má okrem výborných mechanických vlastností (pevnosť v ťahu až 450 MPa), veľkú tepelnú stálosť, ktorá odpovedá pri 150°C takmer triede F. Odoláva pliesňam, kyselinám, transformátorovým olejom a impregnačným lakom. Elektrické vlastnosti sú dobré, relatívna permitivita je 3, merný elektrický odpor je $10^{15} \Omega\text{cm}$, elektrické pevnosť je až 200 kVcm⁻¹. Polyetyléntereftalát má v elektronike využitie najmä vo forme fólie napr. ako drážková izolácia, dobre nahrádza podkladové bavlnené a sklenené látky pri spracovaní sľudových izolantov. Je značne ohybný a nestarne. Fóliami z PETP sa laminujú iné materiály. Veľké použitie nachádzajú fólie z PETP pre kondenzátory. Priehľadné druhy z PETP sa používajú pre predlohy na výroby dosiek plošných spojov. (označujú sa názvom Mylar). V tejto podobe sa používa pre ohybné dosky plošných spojov a pre drážkové izolácie motorov. Polyesterové fólie sú vysoko ohybné (môžu tvoriť napr. pružnú cievku). Používajú sa v rozpätí 80 – 130°C. Pri spájkovaní sa musí zachovať technologický postup, lebo materiál mäkne a porušuje sa jeho mechanická pevnosť a teda nie je vhodný pre hromadné spájkovanie. Má výborné elektrické vlastnosti aj pri vysokej vlhkosti. Pevné druhy PETP sa používali pre výrobu magnetofónových pásov. Značný význam má polyetyléntereftalátová živica pri výrobe lakov pre vyššie tepelné triedy.

PET (polyesterové) vrstvy

Sú vysoko pevné a stabilné. Umožňujú spracovanie v širokom teplotnom intervale pri zachovaní výborným fyzikálnych a chemických vlastností. **PET vrstvy sú známe pre ich vynikajúcu mechanickú pevnosť, chemickú a tepelnú odolnosť, rozmerovú stálosť a odpor voči tvorbe trhlín.** Tiež sa vyznačujú **výnimočnou hladkosťou, nízkym koeficientom trenia a optickou jasnosťou.**

PET vrstvy sa vyrábajú v hrúbkach od 0,9 do 350 μm ako vrstvy sklopriehľadné, nepriehľadné, biele, čierne, matné, farebné, vysoko ochranné, teplo odolné, pokrývajúce silikón, odolné voči vzniku koróny. Aplikácie PET filmov zahŕňajú oblasti:

- **Obalové materiály:** priehľadné vrstvy s nízkym koeficientom trenia pre výrobu oslnivých kontrastov, rozličné úpravy povrchov pre lepšiu adhéziu popisov a úpravu povrchov pod metalizáciu, vysoko ochranné vrstvy, teplotne odolné vrstvy.
- **Priemysel:** pre ochranné vrstvy voči slnku na oknách, uvoľňujúce vrstvy, etikety a potlače, fólie pre tepelnú lamináciu, ohybné potrubia a iné produkty, vrstvy pre premenu priesvitného skla na nepriehľadné biele a čierne vrstvy, silikónom potiahnuté vrstvy, biele vrstvy, farebné vrstvy, ochrana proti UV žiareniu.
- **Magnetické aplikácie:** povrchové vrstvy videopások, vrstvy vysokopevné a povrch zjemňujúce vrstvy pre profesionálne videá.
- **Elektrické aplikácie:** drôtové a káblové izolácie, nízko oligomérene (oligomér je polymér s nízkym polymerizačným stupňom), vrstvy pre nefreónové plyny, izolácie motorov, transformátorov.
- **Termálne prenosové pásy:** TTR (Thermal Transfer Ribbon) funkčné povrchové vlastnosti filmov.
- **Kondenzátory:** ultratenké vrstvy pre použitie ako dielektriká v kondenzátoroch, špeciálne navrhnuté vrstvy pre vyplňanie moderných SMD kondenzátorov.
- **Snímanie** ako sú inžinierske vrstvy, vrstvy pre grafické umenie, transparentné vrstvy a vrstvy digitálnej tlače, etikety pre výroby potlačí, sklopriezračné vrstvy, rôzne povrchovo ochranné vrstvy, antistatické vrstvy, vrstvy pre ochranu plagátov, jedálnych lístkov, a pod.

PET vrstvy sú vynikajúce vrstvy všestranne použiteľné pre väčšinu rôznych aplikácií. Vyznačujú sa vynikajúcou odolnosťou voči poškrabaniu a vysokou stálosťou. V priemysle sú to najpopulárnejšie vrstvy. Aplikácie zahŕňajú obaly kníh, zväzky, obaly video kaziet. PET vrstvy majú vysokú ťažnosť, odolnosť voči nárazom a tvorbe trhliniek a porušení a tieto výnimočné vlastnosti si zachovávajú a zostávajú húževnaté a ohybné aj po aplikácii. PET vrstvy poskytujú vynikajúcu adhéziu na rozličné substráty v elektronike.

Ďalšie významné plasty

Polysulfóny

Polysulfónmi (PSU) sa označuje skupina materiálov charakterizovaných sulfónovými alebo príbuznými reťazcovými prvkami, v ktorých diaryl sulfón dáva pevnosť a éterová skupina flexibilitu reťaze a húževnatosť. Pevnosť polysulfónov je 70 MPa a predĺženie 75 %. Majú vysokú tepelnú odolnosť až do 180°C, odolnosť proti vode, pare, niektorým chemikáliám, ale rozpúšťajú sa v organických rozpúšťadlách. Typickými aplikáciami sú parné žehličky, kávovary, kontajnery horúcej vody, lekárske prístroje, vyžadujúce sterilizáciu, silové nástroje, komponenty v automobilovom a leteckom priemysle.

Polyfenyl sulfid (PPS)

PPS je kryštalický aromatický polymér, ktorý má veľmi dobrú stabilitu a **odolnosť voči vznieteniu**. Pevnosť PPS je 65 MPa a predĺženie 1,5 %. Kľúčovými vlastnosťami sú: **vysoká teplota zborštenia (260°C) a dobré mechanické vlastnosti do 220°C, dobrá chemická odolnosť proti všetkým používaným rozpúšťadlám, dobrá odolnosť proti plameňu**. Kompozity plnené skleneným vláknom dávajú pevnosť rádu 230 MPa a modul pružnosti 14 GPa. Používa sa v automobilovom priemysle a v spotrebnom priemysle.

Polyfenyloxid

Polyfenyloxid (PPO) je pomerne ťažko spracovateľný. Vyznačuje sa značným rozsahom pracovných teplôt (- 170 do + 170°C). **Nedá sa tvárniť vstrekováním. Vytlačované výrobky majú veľkú tvarovú stálosť, sú húževnaté a nevykazujú plastické tečenie**. Pre konštrukčné účely sa používajú zmesné polyméry. Tie sa vyznačujú značnou

stálosťou za tepla a majú vynikajúce elektrické vlastnosti. Dielektrické vlastnosti ostávajú zachované aj pri zmenách vlhkosti, teploty a frekvencie. Všetky typy sú samozhášavé. Zvyknú sa tiež plniť sklenenými vláknami a ľahko sa dajú prefarbovať. Z PPO je možné vylisovať aj rozmerovo konštrukčné súčasti s prísnyimi požiadavkami na tvarovú stálosť ako sú televízne skrine, elektrické spotrebiče pre domácnosť alebo kyselinotvorné čerpadlá.

Polyketony

Na trhu sú dostupné dva typy polyakrylových ketónov: Polyéter éter ketón (PEEK) a polyéter ketón (PEK). Pevnosť pri izbovej teplote v závislosti od zloženia sa pohybuje od 63 do 163 MPa pri predĺžení od 1 do 50 %. Tieto kryštalické polyméry majú veľmi dobrú tepelnú odolnosť a odolnosť proti chemikáliám. Ich najdôležitejšími vlastnosťami sú: dobré mechanické vlastnosti a veľmi dobrá abrazívna a únavová odolnosť, teplotná stálosť do teplôt 250 – 260°C a krátkodobo do 300°C pre PEEK a do 330°C pre PEK. Jednou z najrozšírenejších aplikácií polyketónov sú povlaky káblov pre družicové komponenty, nukleárne zariadenia, ťažobné veže. Ďalej sú to časti kompresorových čerpadiel a korózne odolných vedení. Tieto materiály sa používajú spevnené uhlíkovými vláknami, najmä v leteckom a vojenskom priemysle.

Polyimidy

Polyimidy (PI) sa pripravujú kontrolovanou reakciou viacerých reagencií. V prvom štádiu vzniká lineárny polymér s nízkou molekulárnou hmotnosťou kondenzačnou reakciou. Ako vedľajšie produkty vznikajú voda, oxid uhličitý a metanol. Tieto musia byť odstránené. Ak aj v nasledujúcej reakcii vznikajú prchavé produkty, polymér je polyimid. **Polyimidy sú charakterizované zachovaním vlastností od – 260 (bod varu hélia) do +250 až 300°C, prakticky nulovým creepom, nízkym koeficientom trenia.** Okrem toho sa vyznačujú **vyšokou elektrickou pevnosťou**, dobrou odolnosťou proti rozpúšťadlám, napr. palivám leteckých motorov, hydraulickým kvapalinám, esterom a alkoholom. Sú napádané zriedenými alkáliami a silnými minerálnymi kyselinami. Polyimidový film má dobré mechanické vlastnosti od kryogénnych teplôt do 525°C. Základná aplikácia polyimidov je v kozmonautike a elektrickom a elektronickom sektore, ako komponenty triskových motorov, nosiče čipov, sedlá ventilov a piestne krúžky v hydraulických strojoch.

Polyimidové fólie (Kapton) využívané ako ohybné dosky plošných spojov majú veľmi dobrú ohybnosť a ak sa pred ohrevom odstráni vlhkosť, dajú sa aj spájať. Do hrúbky 130 µm znášajú trvalo teploty od - 40 do 230°C a krátkodobo do 400°C. Sú veľmi drahé (10 násobne drahšie ako polyesterová fólia), a preto sa používajú len na špeciálne účely (kamery, kazetové prístroje vysokej technickej úrovne).

Polyimidové laky sa používajú ako ochrana polovodičových súčiastok. Napr. ako dielektrikum pri výrobe čipov obvodov VLSI. Existujú aj svetlomitlivé polyimidové fotolaky.

Polymérne kompozity

Kompozitné materiály patria k najprogressívnejším konštrukčným materiálom. Dovoľujú nové ponímanie materiálového inžinierstva vytváraním nových materiálov podľa potreby konštrukcie, na rozdiel od doterajšieho prispôsobovania konštrukcie vlastnostiam materiálu. Kompozitné materiály môžu znížiť množstvo materiálu tam, kde z funkčného hľadiska nie je nutný a tak zaistiť vyššie využitie hmoty.

Polymérne kompozity sú heterogénne systémy tvorené minimálne z dvoch fáz obvykle rozdielneho chemického zloženia, ktoré sa od seba líšia svojimi fyzikálnymi a chemickými vlastnosťami. Aspoň jedna fáza je spojená a má funkciu spojivovej matrice.

Vlastnosti medzifázového rozhrania odrážajú vzájomnú interakciu jednotlivých fáz. Z toho vyplýva, že vlastnosti polymérneho kompozitu budú určované tromi základnými faktormi:

1. vlastnosťami jednotlivých fáz,
2. vzájomným rozložením fáz,
3. vlastnosťami medzifázového rozhrania.

Polymérne kompozitné materiály môžeme rozdeliť podľa materiálu jednotlivých fáz alebo podľa morfológického usporiadania fáz. Pri polymérnych kompozitoch je spojitá fáza – matrica tvorená polymérnym materiálom, ostatné zložky môžu byť nepolymérne. Podľa geometrického tvaru sekundárnej fázy vzniklo tiež rozdelenie na kompozity s časticovými a vláknitými plnivami.

Polymérne zmesi

Polymérne zmesi zaraďujeme medzi **kompozity s časticovými inklúziami**. Pod pojem polymérne zmesi zahrňujeme iba také kompozície, ktoré obsahujú len rôzne polymérne zložky, a ktoré vznikli **zmiešaním (kompaundovaním)**. Príprava nových polymérnych zmesí je v súčasnej dobe jednou z najefektívnejších možností rozširovania sortimentu polymérnych materiálov. V závislosti od zloženia a podmienok prípravy možno získať prakticky neobmedzený počet polymérnych zmesí so širokou škálou vlastností. Typickým príkladom sú polyolefíny s elastomérou zložkou alebo polystyrénové húževnaté plasty.

Veľmi dôležitou vlastnosťou pri polymérnych zmesiach je miešateľnosť a kompatibilita polymérov. Z termodynamického hľadiska sú dva polyméry zmiešateľné, keď vytvárajú jednofázový systém. Miešateľnosť amorfných polymérov je väčšinou vysvetľovaná mriežkovým modelom polyméru tak, že všetky body mriežky sú obsadzované segmentom niektorého polyméru.

Pri semikryštalických polymérnych zmesiach dochádza väčšinou k oddelenej kryštalizácii jednotlivých zložiek, pričom amorfné podiely sa buď miešajú alebo nemiešajú.

V praxi sa **polymérne zmesi pripravujú** týmito spôsobmi: **miešaním** v tavenine, miešaním v roztoku, miešaním latexov, čiastočnou blokovou alebo štiepnou **kopolymerizáciou** a **chemickou syntézou** vzájomne sa prenikajúcich sietí. Ako **nový spôsob kompaundácie sa presadzuje tzv. reakčné spracovanie**, kde chemické reakcie prebiehajú v polymérnej tavenine priamo v špeciálnom extrúderi (pretláčači), z ktorého vychádza produkt nových vlastností.

K najdôležitejším typom polymérnych zmesí patria húževnaté termoplasty, termoplastické elastoméry a **plasty s prímiesou kvapalných kryštálov**. Húževnaté termoplasty sa získavajú pridávaním elastomérov s veľmi nízkou teplotou skleneného prechodu do polymérov s nízkou húževnatosťou. Podmienkou vysokej húževnatosti je optimálna veľkosť inklúzií a dostatočná adhézia medzi fázami. Optimálny polomer inklúzií závisí od typu matrice a pohybuje sa od 0,1 do 10 μm . Ako príklad zmesí chemicky podobných môžu slúžiť systémy izotaktický polypropylén – etylénpropylénový elastomér (alebo lineárny polyetylén) a polyvinylchlorid – chlórovaný polyetylén. Čiastočne blokovou alebo štiepnou polymerizáciou sa vyrába húževnatý polystyrén a polyméry ABS. Zmes (zliatina) PP – PE má oproti bežným typom polypropylénov zvýšenú rázovú húževnatosť, dobrú tuhosť a tepelnú odolnosť, ale má mierne zníženú pevnosť. Výhodné vlastnosti vykazujú zmesi polyamidov napr. PA – ABS (Triax), PA – PPE (Ultranil), a PA – PPO (Xenoy). Veľmi atraktívne sú kopolymérne zliatiny PA – PVC, ktoré po PVC dedia nízku horľavosť a po PA húževnatosť a odolnosť proti abrázii.

Kompozity s časticovými plnivami

Kompozity s časticovými plnivami patria medzi najpoužívanejšie a najdôležitejšie kompozity. Pri polymérnych kompozitoch s časticovými plnivami sú okrem tvaru častíc (guľový, doštičkový, ihlicovitý, nepravidelný) dôležité aj ich termomechanické

vlastnosti ako sú teplotná rozťažnosť, tuhosť a deformačné vlastnosti. Ako plnivá sa najčastejšie používajú anorganické látky, napr. uhličitan vápenatý, oxidy kremíka a hliníka, malé sklenené guľôčky o priemere 5 až 500 μm , zvlášť jemne mletá slúda, mikroskopické častice kovov a pod. Tieto častice sú tuhšie a pevnejšie ako polymérna matrica, pričom sú málo plastické, preto nimi vytvorené kompozity sú tuhšie ako matrica. Podľa typu plniva získavajú niektoré špecifické fyzikálne a mechanické vlastnosti. Polyméry takto plnené majú väčšiu elektrickú a tepelnú vodivosť, menšiu teplotnú rozťažnosť, lepšie klzné vlastnosti a pod. Málo tuhé elastomérené častice, ktoré sa ľahko deformujú, znižujú tuhosť matrice a súčasne zvyšujú húževnatosť a odolnosť proti únave.

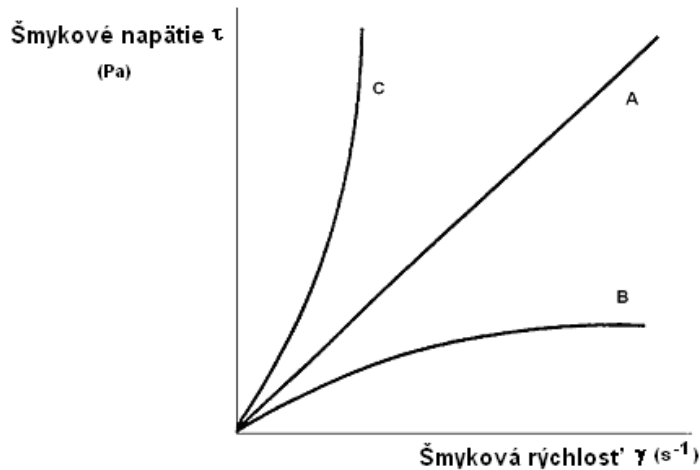
Kompozity s vláknitými plnivami sa uplatňujú v strojárstve, stavebníctve, elektrotechnike, zdravotníctve, poľnohospodárstve a pri výrobe spotrebného tovaru. V strojárstve sa využívajú vláknité kompozity pri výrobe obrábacích a tvárniacich strojov, pri výrobe pomocného náradia a pod. Široké uplatnenie majú pri výrobe spojovacích a veľmi namáhaných točivých súčiastok a skriň. Sú to predovšetkým spojky, skrine čerpadiel, ozubené kolesá, ojnice a pod. V širokom rozsahu sa nahrádzajú kovové materiály za kompozity pri výrobe pružín. Modul pružnosti vystužených epoxidových živíc dosahuje až 40 000 MPa a z tohto dôvodu pružiny z kompozitov sú výhodné pre kompenzáciu malých síl. Často sa používajú kompozity pre výrobu lisovacích foriem, najmä pre tvárnenie plastov. Z kompozitných materiálov sa vyrábajú nádrže, bazény, cisterny a vysokotlaké nádrže na stlačený vzduch. Pevnosť v ťahu polyesterových sklolaminátov, používaných na cisterny pohonných látok v závislosti od spôsobu laminovania a smeru skúšania sa pohybovala od 190 do 262 MPa. Pre nízku mernú hmotnosť a vysoké mechanické vlastnosti sa používajú pri výrobe ramien robotov. Používajú sa tiež pri výrobe rôznych dielcov športových lietadiel, karosérií áut, stavbe lodí a inde.

8.4 Spracovanie plastov

8.4.1 Úvod

Spracovanie plastov [28, 29, 40] je jedným z rozhodujúcich faktorov pri aplikácii plastov na spotrebné a konštrukčné výrobky, lebo významnou mierou ovplyvňuje výsledné vlastnosti výrobkov, ale najmä produktivitu výrobných zariadení a tým aj celkovú ekonomiku pri ich uplatnení v praxi. V súčasnosti existuje mnoho spracovateľských technológií, ku ktorým patria tzv., klasické, ako je **vytlačovanie, vstrekovanie, lisovanie a valcovanie**, ale aj novšie, ako **odlievanie, reakčné vstrekovanie zváranie ultrazvukom. a pod.** Spracovanie prevažnej väčšiny polymérov na polotovary (tyče, dosky fólie) a členitých výrobkov je umožnené ich tekutosťou pri určitej teplote a tlaku.

Pri lineárnych polyméroch (termoplastoch) sa potrebná tekutosť získava ohrevom nad teplotu tavenia T_m v prípade kryštalických polymérov a nad teplotu toku T_t pri amorfných polyméroch. Z technologického hľadiska dostatočne malá viskozita umožňujúca tvárnenie materiálu sa dosahuje u amorfných polymérov pri teplote $T_g + 100^\circ\text{C}$ a u kryštalických polymérov $T_m + 70^\circ\text{C}$. Pri týchto spracovateľských teplotách a podmienkach sa taveniny polymérov chovajú ako tzv. štruktúrne viskózne kvapaliny. Veľký význam pri spracovaní má viskozita polymérnej taveniny, pričom ich vnútorné trenie vyjadrené šmykovým napätím τ sa neriadi Newtonovou hypotézou ideálnych kvapalín. Pre ideálne kvapaliny totiž platí, že šmykové napätie τ je priamo úmerné rýchlostnému gradiendu a súčiniteľ viskozity je konštantný. Z toho vyplýva, že sila potrebná k tvárneniu polymérnej taveniny nie je priamo úmerná rýchlosti vstrekovania, resp. šmykovej rýchlosti. Na obr. 8.7 je znázornená závislosť šmykového napätia od šmykovej rýchlosti pre Newtonovské, pseudoplastické (štruktúrne viskózne) a dilatantické chovanie kvapalín.



Obr. 8.7 Závislosť šmykového napätia od šmykovej rýchlosti pre newtonovskú A, pseudoplastickú B a dilatantickú C kvapalinu.

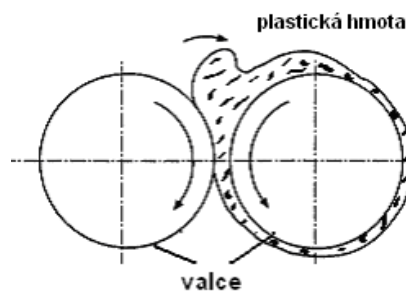
Súčiniteľ dynamickej viskozity tavenín polymérov klesá s rastúcou šmykovou rýchlosťou, t. zn., že sú pseudoplastické. Napr. rozvetvený polyetylén má pri šmykových rýchlostiach menších ako $10^{-2} s^{-1}$ a teplote $126^{\circ}C$ viskozitu 10^5 Pas. Pri vyšších šmykových rýchlostiach sa polyetylén chová pseudoplasticky a jeho viskozita klesne až na hodnotu 10^4 Pas. Nakoľko zvyšovaním teploty viskozita tavenín polymérov klesá, je pri vyšších teplotách potrebná menšia sila pre ich premiestňovanie. Vzhľadom k obmedzenej teplotnej stálosti polymérov je však možné taveninu ohrievať len do teplôt, kde nehrozí nebezpečie tepelného rozkladu. Polyméry priestorovo sieťované (kaučuky, vytvrditeľné živice) sú spracovateľné len v prechodnom štádiu, kedy ešte neprebehli sieťovacie reakcie a kedy môžu získať ohrevom a tlakom potrebnú tekutosť. Po vytvorení trojrozsmernej siete sú netaviteľné.

Rozhodujúcou podmienkou pre výber postupu spracovania je druh plastu. Reaktoplasty sa spracovávajú odlišne ako termoplasty. Reaktoplasty potrebujú horúcu formu, aby došlo k polykondenzácii. Hmota musí vo forme zostať počas určitej doby. Dotvrdenie môže prebehnúť aj mimo formy.

8.4.2 Predbežná úprava plastov

Miešanie

Väčšinu makromolekulových látok je nutné pred spracovaním na hotové výrobky **zmiešať s prísadami ako sú zmäkčovadlá, plnivá, farbivá, vytvrdzovacie prostriedky, urýchľovače a pod.** Tomuto účelu slúžia miešačky rôznej konštrukcie. V prípade, že k miešaniu plastickej hmoty s prísadami je potrebná zvýšená teplota a vyššia šmyková sila, ako je napr. pri spracovaní PVC, polyetylénu, fenolformaldehydových živíc, miešanie sa robí na miešacích dvojvalcoch. Princíp miešania na dvojvalci je znázornený na obr. 8.8.



Obr. 8.8 Princíp miešania plastov na dvojvalcoch

Plastická hmota spolu s prísadami je vnášaná do priestoru medzi valce, ktoré sú ohrievané. Pôsobením tepla je hmota postupne plastifikovaná, vťahovaná do štrbiny medzi valce, kde nastáva hnetenie a „opása“ predná valec. Postupným prerezávaním a prevracaním vzniknutého pásu dochádza k dokonalému premiešaniu, homogenizovaniu a spojeniu polyméru s prísadami, hlavne plnivami. Miešanie je podporované nerovnakou obvodovou rýchlosťou valcov. Modernejší a výkonnejší je spôsob miešania v hnetacích strojoch rôznej konštrukcie, pri ktorých možno dosiahnuť väčšiu presnosť miešania pri ľahšej manipulácii.

Tabletovanie

Pri lisovaní plastických hmôt hlavne termoplastov je neekonomické používať voľné lisovacie prášky. Účelnejšie je práškovitú hmotu na špeciálnych tabletovacích strojoch predlisovať do vhodných tabletiiek, ktoré sa vkladajú do lisovacích foriem. Tabletovaním sa urýchľuje dávkovanie, znižujú sa straty pri lisovaní a celkove sa zlepšuje pracovné prostredie. Tablety umožňujú účinný predohrev a tým sa urýchľuje lisovací cyklus.

Granulácia

Niektoré plastické hmoty spracované vo vytlačovacích a vstrekovacích strojoch, najmä automatických sú prevedené z pôvodného práškovitého stavu do formy viac - menej pravidelných častíc - granulí. Tieto sa sypú do zásobníkov strojov a umožňujú presné dávkovanie. Granulácia sa robí tak, že plastická látka získaná polymerizáciou sa za tepla väčšinou na závitkových vytlačovacích strojoch vytlačí na tenké pásy alebo tyčinky, ktoré po vychladnutí sa drvia alebo sekajú na granule.

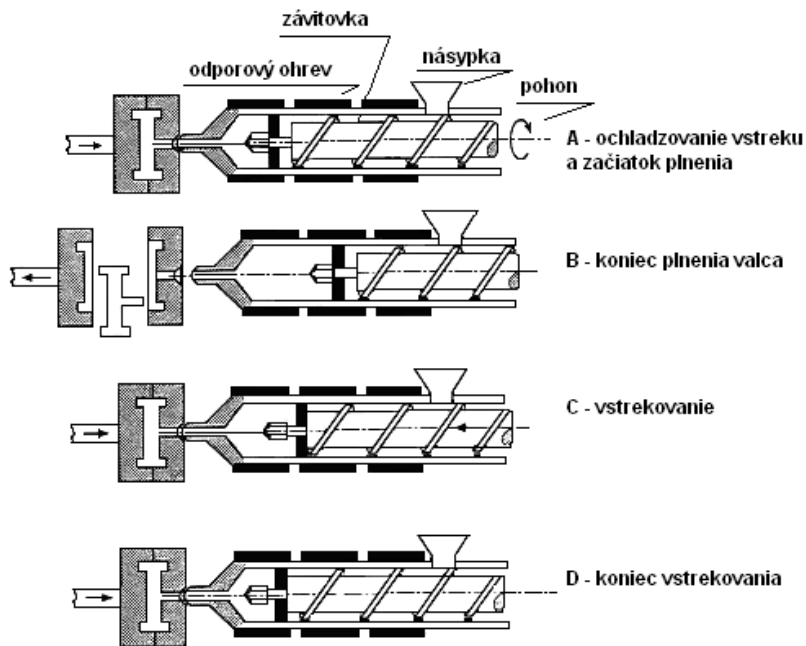
8.4.3 Spracovanie plastov

Vstrekovanie

Vstrekovanie je jednou z hlavných technológií pri spracovaní plastov. Vstrekovanie umožňuje ekonomicky produkovať kvalitné, dostatočne presné výrobky zo širokého výberu plastov. V súčasnosti sa vstrekovaním spracováva cca 20 % polymérov. Pracovný postup sa vyznačuje tým, že **plastická hmota je roztavená v tavnej komore a pôsobením piestu je vstrekováná tryskou do dutiny ochladzovacej formy**. Hmota po ochladení pod teplotu zosklenení je vybratá z formy. Pri vstrekovaní vytvrditeľných živíc prebieha vo forme, vyhriatej na vhodnú teplotu vytvrdzovanie (zosieťujúca reakcia), pri vstrekovaní kaučuku vulkanizácia.

Vstrekovanie je cyklický proces s priemernou dobou cyklu pri termoplastoch od 15 do 120 s. Doba cyklu závisí od vlastností polyméru a veľkosti výrobku. Hmotnosť vstrekú sa pohybuje od niekoľko gramov do 25 kg. Vstrekovacie stroje sú rôznej konštrukcie. Staršie a dnes už málo používané stroje majú piestový systém a mechanické uzavieracie formy.

Určitou nevýhodou piestových vstrekovacích strojov je, že pre zlú tepelnú vodivosť plastických hmôt dochádza ku prehrievaniu a deštrukcii polymérov a okrem toho týmto spôsobom nie je možné taviť väčšie množstvo plastickej hmoty, potrebnej na vstrekovanie veľkých vstrekov. Preto v súčasnosti sa častejšie používajú vstrekovacie jednotky, v ktorých je plastická látka upevnená v tavnej komore vybavenej závitovkou. Funkcia závitovky je dvojaká. Predovšetkým mieša plastickú hmotu v priebehu tavenia, čím zabraňuje miestnemu prehriatiu a umožňuje väčšie výkony celej jednotky. Tavenina sa hromadí pred koncom závitovky a závitovka pred ňou ustupuje do zadnej polohy. V druhej fáze operácie závitovka pôsobí ako piest a vstrekuje taveninu do formy. Schéma závitového vstrekovacieho stroja (extrúdera) a jeho činnosť v jednotlivých etapách je na obr. 8.9. V etape A sa začína miešanie taveniny. V etape B je ukončené miešanie taveniny. V etape C je vlastné vstrekovanie taveniny a v etape D je ukončené vstrekovanie.

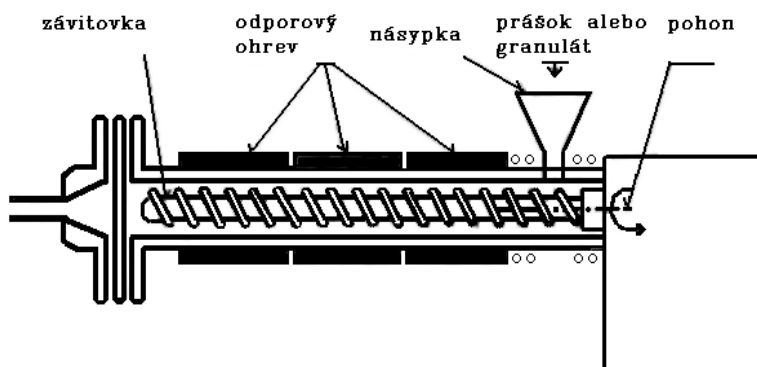


Obr. 8.9 Funkcia závitového vstrekovacieho stroja v jednotlivých etapách

Vysoké nároky sa kladú na vstrekovacie formy. Sú vyrábané z kvalitných nástrojových ocelí, lebo sú namáhané vysokým tlakom a na opotrebenie pri stálej zmene teploty. Moderné vstrekovacie stroje sú plne automatizované, takže výroba výrobkov najmä z termoplastov je veľmi efektívna.

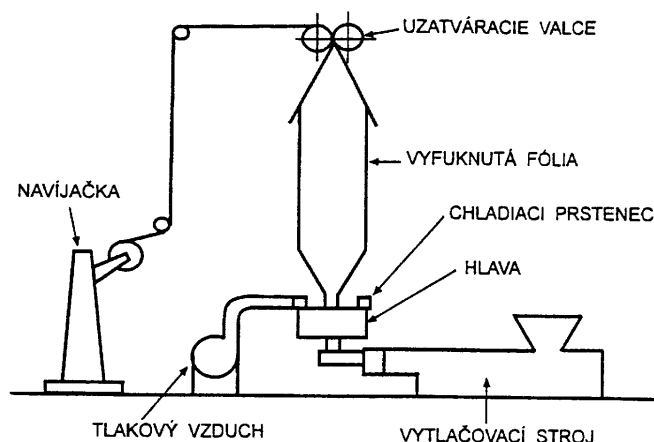
Vytlačanie

Vytlačanie sa od vstrekovania líši len tým, že je to **nepretržitý proces**, pri ktorom je tavenina vytlačovaná závitovkou do voľného priestoru. Vytlačovaním sa vyrábajú geometricky nenáročné výrobky ako dosky fólie, profily a pod. Vo vytlačovacom stroji sa granulovaný polymér dopravuje vyhrievaným valcom pomocou závitovky. Pri rýchlobežných vytlačacích strojoch sa trením zmäkčeného polyméru vytvára také množstvo tepla, že stačí na jeho prechod do stavu viskózneho toku. Elektrický ohrev je potrebný len na premenu granulátu do kaučukovo - plastického stavu. Väčšinou sú stavané stroje jednozávitové a dvojjávitové. Schéma jednozávitového vytlačacieho stroja je znázornená na obr. 8.10.



Obr. 8.10 Jednozávitový vytlačací stroj (extrúder)

Z vytlačacieho stroja prechádza kalibrovacou hlavou, vodným kúpeľom a ďalej na deliacu linku na navíjací bubon pri menších priemerov rúr. Na obr. 8.11 obrázku je znázornené vytlačacie zariadenie na výrobu fólií.



Obr. 8.11 Schéma zariadenia na výrobu fólií

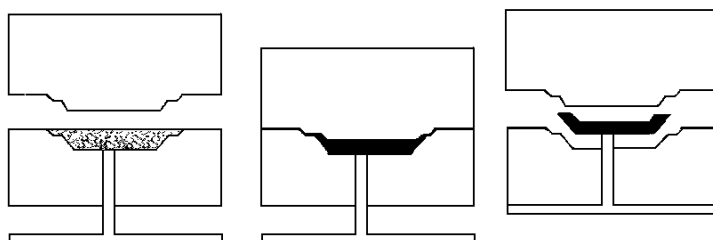
Pri tomto spôsobe výroby vytlačaná rúra závitkovým vytlačacím strojom ešte v plastickom stave je nafúknutá vzduchom na mnohonásobný priemer. Vzniknutý rukáv z tenkej a obojstranne orientovanej fólie je rovnomerne odoberaný a navíjaný.

Lisovanie

Lisovanie je najstaršou technológiou, ktorou sa spracovávali len lisovacie hmoty na báze fenolformaldehydových a iných reaktoplastických živíc. V súčasnej dobe sa lisovaním spracovávajú aj lisovacie hmoty na báze epoxidových a nenasýtených polyesterových živíc. Vo zvláštnych prípadoch je možné lisovať aj termoplasty a to v prípade, keď majú zú tekutosť, ako napr. vysokomolekulové polyetylény.

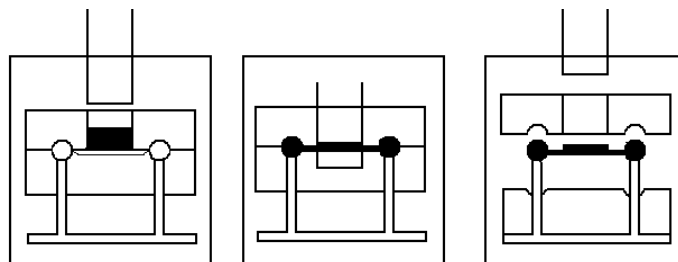
Výrobky sa lisujú v kovových, obvykle elektricky vyhrievaných formách, ktoré sú umiestnené na hydraulických lisoch. Lisovacie hmoty sa do formy vkladajú ako predhriate tablety. Potrebná tekutosť sa získava ohrevom za súčasného pôsobenia tlaku. K dosiahnutiu požadovanej hustoty priestorovej siete, od ktorej sú závislé mechanické a fyzikálne vlastnosti plastov, je potrebná určitá minimálna doba. Táto je obvykle závislá od reaktivity vytvrdzovaného systému a od hrúbky steny. Obvykle na 1 milimeter hrúbky je potrebný čas 30 až 60 s. Teplota pri lisovaní fenoplastov býva 150 až 180°C. Epoxidové a polyesterové živice vyžadujú nižšie lisovacie teploty a tlaky. Lisovaním sa vyrábajú tiež lamináty s plnivom vo forme tkanín, rohoží a drevených dých.

Postup priameho lisovania plastov je na obr. 8.12.



Obr. 8.12 Postup priameho lisovania

Niektoré druhy plastov sa dajú tvarovať len prietlačným lisovaním (obr. 8.13). Takto sa dajú vyrábať aj výlisky s kovovými vývodmi (konektory).



Obr. 8.13 Postup prietlačného lisovania konektorov

Vysokotlakým priamym lisovaním sa vyrábajú najrozmanitejšie výrobky, hlavne pre elektrotechnický priemysel. Nízkotlakým lisovaním sa spracovávajú polyesterové a epoxidové živice v kombinácii so sklenenými vláknami na veľké, väčšinou tenkostenné výlisky. Do tejto skupiny lisovania patrí aj lisovanie pomocou vákuua, kde lisovací tlak vyvodzuje tlak atmosféry. Nízkotlakým lisovaním sa lisujú člny, karosérie áut, nádrže, športové potreby a pod.

Zváranie

Z dvoch hlavných skupín plastov sú zvariteľné len termoplasty. Reaktoplasty sa nedajú zvärať, pretože ich nemožno znovu priviesť do plastického stavu.

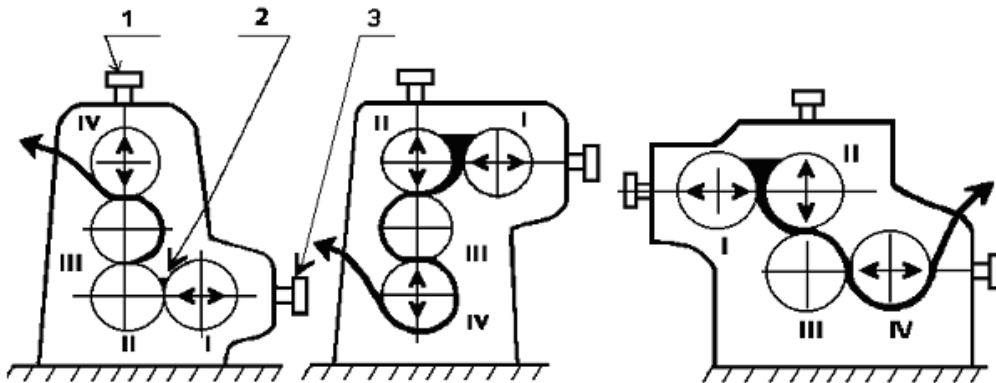
Zváranie je podľa STN 05 0010 nerozoberateľné spojenie plastov účinkom tepla a tlaku, bez alebo s použitím prídavného materiálu rovnakého alebo podobného zloženia. Podľa druhu zváraných hmôt sa ich povrch v mieste zvaru privedie do plastického (zriedkavo do tekutého) stavu a primeraným tlakom sa spojí. Nastáva pritom trvalé spletenie makromolekulových hmôt spojovacích častí. Povrch zváraných dielcov sa splastizuje pri ich ohriatí na teplotu o 70 až 80°C vyššiu ako je teplota tavenia kryštálov (T_m) danej hmoty. Nevýhodou plastov je ich citlivosť na prehriatie, kedy nastáva ich degradácia.

Na zváranie konštrukčných plastov sa v prevažnej miere používa zváranie horúcim plynom s prídavným materiálom a zváranie horúcim zrkadlom. Ďalšie spôsoby zvárania sú napr.: zváranie polyfúziou, trecie zváranie, zváranie ohranovaním, vytlačacie zváranie, ultrazvukové zváranie atď. Nie všetky spôsoby zvárania sú vhodné na ľubovoľné druhy plastov. Napr. na rúry a dosky z PVC a PMMA je vhodné zváranie horúcim plynom a z PE a PP je vhodnejšie zváranie horúcim zrkadlom, polyfúziou a trením. Polyamidy sa výhodne zvárajú trením a PS ultrazvukom.

Ďalšie spôsoby spracovania

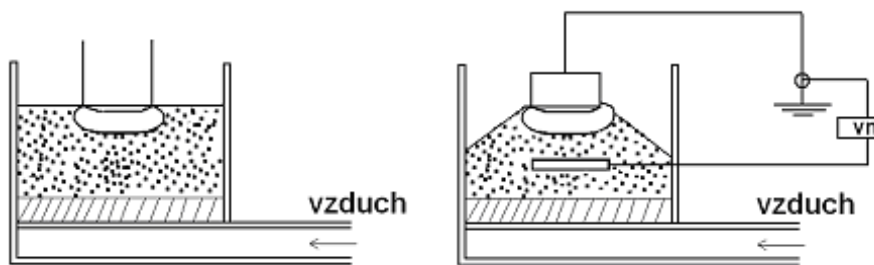
- **Tvarovanie:** dosky a rúry z lineárnych polymérov sa tvarujú podobne ako plechy a kovové rúry. Pracuje sa pri zvýšených teplotách. Pri lineárnych amorfných polyméroch medzi T_g (teplota skleneného prechodu) a T_t (teplota tavenia) a pri kryštalických v okolí T_m (teplota tavenia kryštálov). Po vytvarovaní sa polotvar rýchle ochladí dostatočne hlboko pod teplotu T_g resp. T_m . Nakoľko deformácie vzniknuté pri tvarovaní sú vo veľkej miere pružnej povahy, dochádza pri opätovnom ohriatí výrobku nad T_g k uvoľneniu pružných deformácií a tým ku zmene tvaru. Najčastejšie sa používa vákuové tvarovanie a tvarovanie pomocou tlakového vzduchu.
- **Valcovanie:** Valcovanie sa používa na výrobu fólií o hrúbke 0,1 až 0,6 mm. Týmto spôsobom sa spracováva hlavne mäkký PVC. Pri valcovaní možno fólie priamo nanášať na textilný a papierový pás.
- **Kalandrovanie** – alebo valcovanie plastických termoplastov a kaučukov na tenké dosky a fólie. Valcovacie stroje alebo kalandre majú zvyčajne dva až päť otáčavých temperovaných valcov s rovnakým priemerom a s rôznou obvodovou rýchlosťou. Na výrobu tenkých dosiek a fólií z PVC, PE, PP sa najviac používajú štvorvalcové stroje (obr. 8.14). Plast sa pretlačuje veľkým tlakom, ktorý pôsobí veľmi krátko, len počas

priechodu medzi valcami, ale opakuje sa pri prechode medzi valcami a strieda sa s beztlakovou fázou kalandrovania, kedy je plast valcom unášaný k ďalšej medzere.



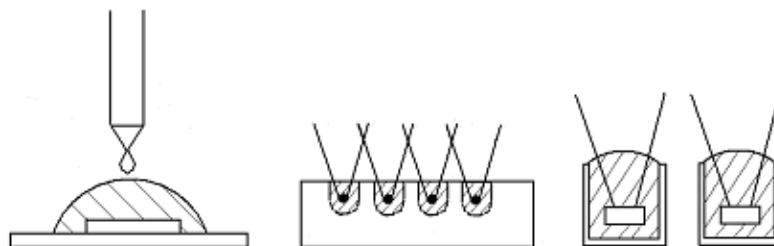
Obr. 8.14. Schéma 3 druhov štvorvalcových kalandrov (1 - mechanizmus nastavovania geometrie medzi valcami, 2 – plast, 3 –mechanizmus nastavovania medzery medzi valcami)

- **Nanášanie:** Nanášanie je výrobný postup, pri ktorom je plastická hmota nanášaná v dostatočne hrubej vrstve na podkladový materiál (papier, textil kov a pod.) Nanášaním mäkkého PVC na textilný podklad sa pripravuje umelá koža - koženka. Kovové predmety možno nanosením plastu žiarovým striekaním alebo vírovým nanášaním chrániť proti korózii. Týmto spôsobom sa pripravujú nádrže, potrubia, kotle a pod. Na nanášanie sa používa polyetylén, polyamidy, epoxidové živice, teflón a pod.
- **Vírové spekanie** (technológia puzdrenia elektronických súčiastok) (obr. 8.15)



Obr. 8.15 Vírové spekanie súčiastok s jednostrannými vývodmi

- **Zakvapávanie,** zalievanie do odnímateľnej formy a zalievanie do trvalej formy (obr. 8.16).

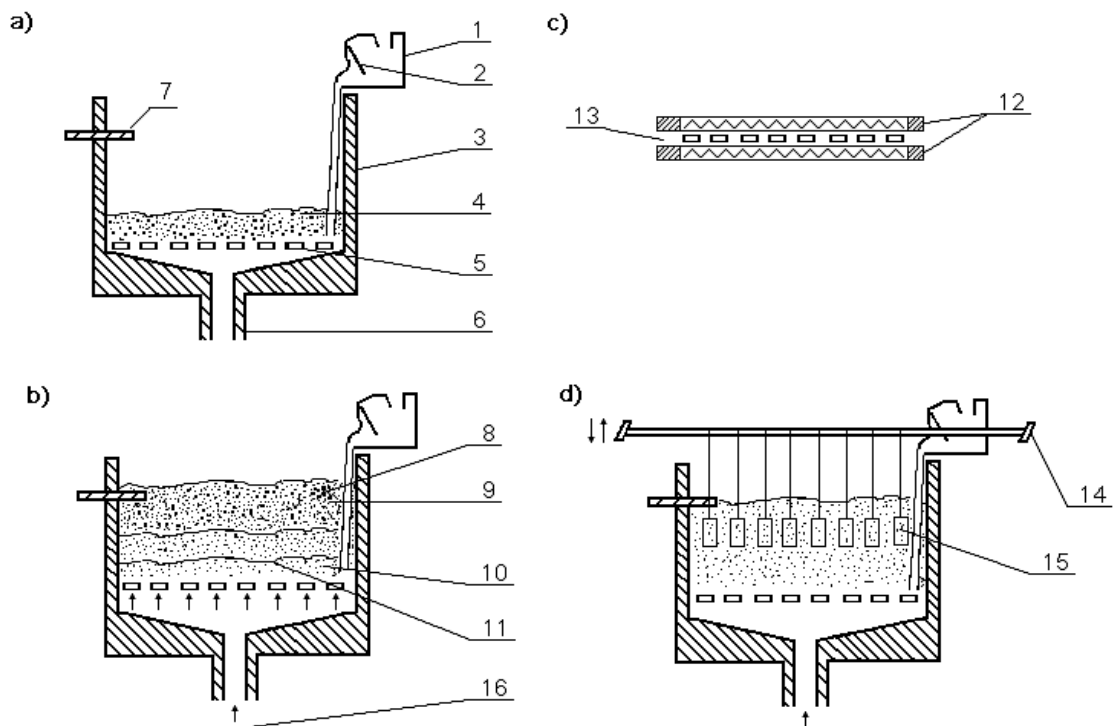


Obr. 8.16 Zakvapávanie, zalievanie do odnímateľnej formy a zalievanie do trvalej formy

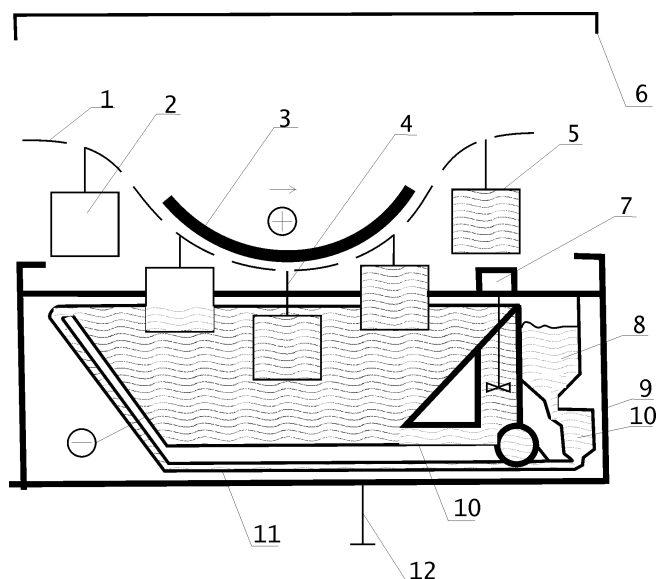
- **Vytváranie výrobkov z jemných plastových prachov (fluidizácia):** Výrobky sa vytvárajú nanášaním plastových častíc, ktorých veľkosť je medzi 70 až 80 μm , na horúce substráty vo fluidizačných zariadeniach. Po vytvrdení nanoseného prachu vznikajú na plochách a hranách substrátov súvislé ochranné vrstvy s ochrannou izoláciou, prípadne s puzdriacou (ochrannou) funkciou. Vrstva prachu sa vznesie prúdom stlačeného plynu,

ktorý do nádoby prichádza z perforovaného dna. Častice víria a dostávajú sa do styku s rozohriatým substrátom, kde sa zachycujú a keď je teplota dostatočne vysoká, tavia sa a zlievajú (obr. 8.17). Hrúbka vrstvy závisí od druhu plastu, jeho akosti, tlaku plynu, teplote a stavu povrchu substrátu. Opakovaním celého procesu (nanášanie a zlievanie častíc prachu) možno zväčšiť hrúbku nanesej vrstvy. Fluidizačným nanášaním epoxidových prachov v automatických zariadeniach sa puzdria drobné elektronické a elektrotechnické súčiastky, napr. keramické kondenzátory, odpory, jednoduché integrované obvody, cievky, a pod.

- *Elektroforetické nanášanie disperzií* predstavuje máčanie substrátu v elektroforetickej vani (obr. 8.18). Používa sa na nanášanie vodných alebo vodou riediteľných disperzií na elektricky vodivé substráty, na ktorých plochách, hranách a v dutinách sa vytvárajú rovnomerne hrubé povlaky, ktorých hrúbka sa riadi intenzitou elektrického poľa.



Obr. 8.17 Schéma nanášania jemných plastových prachov vo fluidizačnom zariadení
 (a) pred zavedením plynu: 1 – vibračný zásobník prachu, 2 – klapka, 3 – fluidizačná nádoba, 4 – vrstva prachu v klude, 5 – pórovité dno nádoby, 6 – prívod plynu, 7 – indikátor hladiny,
 b) po zavedení plynu: 8 – horná hladina vznosu, 9 – víriaci prach s vysokou hustotou, 10 – víriaci prach s najmenšou hustotou, 11 – spodná hladina vznosu,
 c) zahrievanie substrátu, 12 – topné tyče infračerveného žiarenia, 13 – v medzere medzi tyčami sa zahrievajú substráty bezprostredne pred vnesením do fluidizačnej nádoby,
 d) nanášanie prachu, 14 – držiak substrátu, 15 – substráty ponorené v hustej vrstve prachu vo vznose, 16 – smer prúdenia plynu



Obr. 8.18 Schéma zariadenia pre nanášanie disperzií elektroforézou
 1 – transportér s elektricky vodivými závesmi, 2 – substrát, 3 – vstup do elektrického poľa,
 4 – substrát s nanesenou vrstvou disperzie, 5 – postup substrátu k sušiarňi, 6 – lapač pár,
 7 – miešadlo disperzie, 8 – zásobník disperzie, 9 – ochranná klieťka, 10 – filtre, čerpadlo, 11 –
 potrubie, 12 – uzemnenie ochrannej klieťky, 13 – vaňa (katóda)

Pri výrobe plastov sa spotrebováva energia. Približná spotreba elektrickej energie rôznych spôsobov výroby plastových výrobkov je v tab. 8.9.

Tabuľka 8.9 Približná energetická náročnosť výroby plastových výrobkov

Spôsob výroby	kWh/ tona plastu	Poznámka
Polymerizácia na substrátoch	150 – 2 000	Tenké vrstvy alebo fólie, lepšie izolačné a termické vlastnosti.
Liatie	100 – 1 000	Menej presné, väčšie výrobky, malé série, pomalá výroba, žiadne straty plastov.
Vstrekovanie	1 200 – 25 000	Veľmi presné výrobky, rýchla výroba, veľmi nákladné zariadenia, značné straty plastov.
Pretlačovanie	1 000 – 2 500	Veľmi presné výrobky, rýchla výroba, veľmi nákladné zariadenia, značné straty plastov.
Vytlačovanie	550 – 1200	Len jednoduché tvary, rýchla výroba malé straty, veľké výrobné výkony, zložité výrobné zariadenia.
Kalandrovanie	200 – 2 500	Len jednoduché tvary, fólie, dosky, rýchla výroba, takmer žiadne straty plastov.
Lisovanie	600 – 1200	Zložité tvary, pomalá výroba, jednoduché výrobné zariadenia, malé alebo žiadne straty plastov.
Striekanie, razenie, vysekávanie, ťahanie	100 – 1 000	Tvarom jednoduché výrobky, jednoduché výrobné zariadenia, veľmi malé straty plastov.
Obrábanie	200 – 1 800	Veľmi presné výrobky, pomalá výroba, veľmi nákladné zariadenia, značné straty plastov, len pre malé série.