

6 PLASTY A ICH VLASTNOSTI

6.1 Rozdelenie plastov

Plasty podľa normy STN 640001 sú materiály, ktorých podstatu tvoria makromolekulové látky, ktoré možno formovať teplom alebo tlakom, prípadne oboma činiteľmi súčasne. Na systematické rozdelenie plastov sa používajú rôzne kritéria, ale najčastejšie sa rozdeľujú podľa pôvodu a správania sa za tepla.

Podľa pôvodu a spôsobu výroby plasty rozdeľujeme 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. vulkanofíber, celuloid, celofán a pod.
2. *Syntetické plasty*, vyrobené syntézou nízkomolekulových organických zlúčenín. Východiskovou surovinou je ropa, zemný plyn, čierne uhlie a iné.

Podľa správania sa za tepla plasty rozdeľujeme na:

1. *Plastoméry* (termoplasty), ktoré sa účinkom tepla stávajú plastické, tvarovateľné a po ochladení opäť stvrdnú, nadobúdajú želateľný tvar. Ohrev, tvarovanie a ochladenie možno pri nich opakovať bez zmeny vlastností materiálu. K plastomérom 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 ďalšom vytvrdení svoju plastickosť strácajú. Ďalším ohriatím svoj tvar nemenia a nedajú sa formovať, nedajú sa topiť a sú nerozpustné. K duromérom patrí: polyesterové, epoxidové, fenolformaldehydové živice a iné.
3. *Elastoméry* (kaučuky, guma) tvoria samostatnú skupinu polymérov, ktoré sa vyznačujú mimoriadnou pružnosťou a malou tuhosťou. Do tejto skupiny polymérov patria: prírodný kaučuk, syntetické kaučuky, guma a pod.

Pri správnom zaradení jednotlivých polymérových materiálov do pojmových kategórií možno vytvoriť schému podľa obr.6.1.

KAUČUKY	PLASTOMÉRY	DUROMÉRY
ELASTOMÉRY	PLASTY	

Obr. 6.1 Schéma rozdelenia polymérov

Podľa spôsobu výroby plasty rozdeľujeme na:

1. *polymerizáty* - riadiacou reakciou je polymerizácia (napr. PE, PP, PVC, PS a pod.),
2. *polykondenzáty* - riadiacou reakciou je polykondenzácia (napr. polyesterové živice, fenolformaldehydové živice, PC, PA a iné),
3. *polyadukty* - riadiacou reakciou je polyadícia (napr. EP, UP a iné).

Podľa molekulárnej štruktúry plasty rozdeľujeme na:

1. *lineárne*,
2. *rozvetvené a*
3. *sieťované* (blokové kopolyméry, štepené kopolyméry).

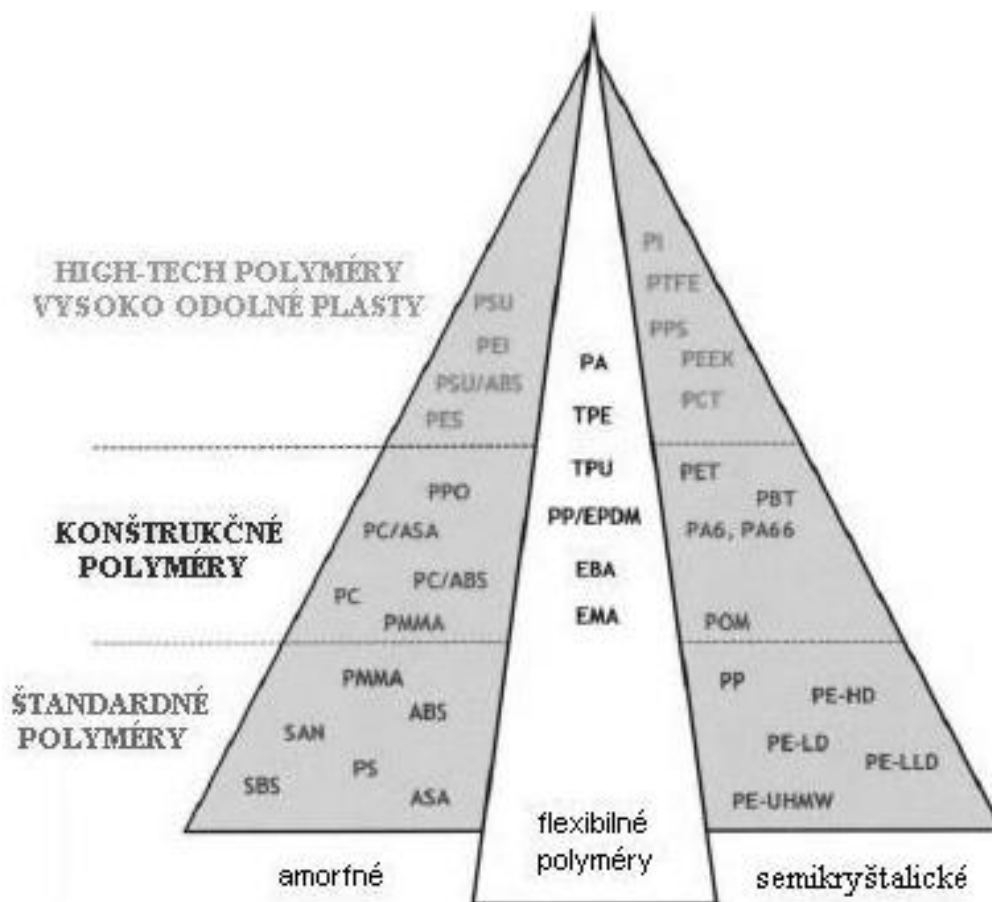
Podľa nadmolekulárnej štruktúry (morfológie) plasty rozdeľujeme na:

1. *amorfné* (napr. PS, ABS, PMMA, PC a iné) a
2. *semikryštalické* (napr. PE, PP, PA, POM a iné).

Podľa použitia plasty rozdeľujeme na (obr.6.2):

1. *štandardné polyméry* (sú určené na bežné aplikácie),
2. *konštrukčné polyméry* (očakávame u nich istú úžitkovú úroveň vlastností, najmä mechanických – advanced plastics) a
3. *high-tech polyméry*.

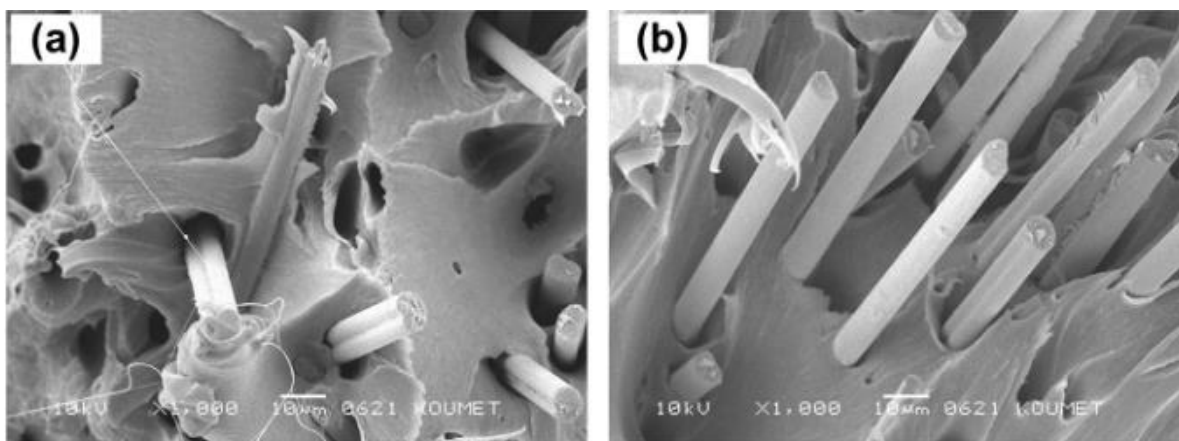
Podľa chemického zloženia plasty rozdeľujeme podľa chemických prvkov, z ktorých sú monoméry zložené a ako sú tieto prvky medzi sebou viazané. Vyjadruje sa chemickým vzorcom. Z chemických vzorcov východných monomérov je zrejmé, že polyméry sú tvorené len z niekoľkých chemických prvkov: uhlík – C, vodík – H, kyslík – O, niekedy dusík – N, chlór – Cl, fluór – F alebo síra – S. Zvláštnu skupinu tvoria silikóny, v štruktúre ktorých dominuje kremík – Si.



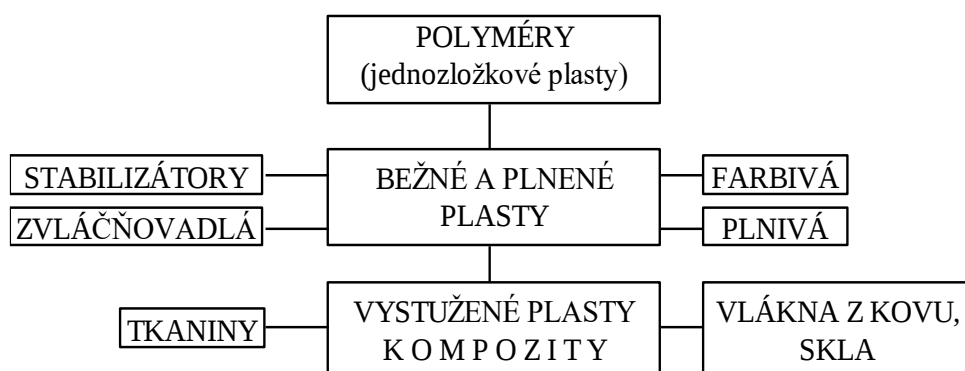
Obr. 6.2 Rozdelenie polymérov podľa aplikácie a nadmolekulárnej štruktúry

Plasty sú zvyčajne viaczložkové konštrukčné a technické materiály. Okrem polymérov obsahujú stabilizátory, farbivá (pigmenty), plnivá a zvláčňovadlá (mazadlá). Všetky zložky plastov sú dokonale homogenizované. Prídavné látky sa označujú ako *prísady* a spolu s polymérom tvoria vlastné plasty. Vo vystužených plastoch sú navyše prítomné bežné alebo sklené vlákna (obr.6.3) a textílie, kovové výstuže, výstuže z uhlíkových, bórových a syntetických vlákien a pod.

Čisté polyméry, čiže jednozložkové plasty sa ako technické materiály požívajú v obmedzenom rozsahu, ale nie zanedbateľne. Bežne sa používajú napr. polytetrafluóretylén (teflón) na tesnenia a klzné ložiská, polyetylén na obalové fólie, polymetylmetakrylát (plexisklo) ako organické sklo. Všeobecné členenie plastov a vzájomnú väzbu jednotlivých zložiek znázorňuje schéma na obr.6.4.



Obr. 6.3 Mikroštruktúra lomových plôch kompozitného materiálu PA6/CF plneného sklenými vláknami, (zv. $\times 1000$)



Obr. 6.4 Schéma členenia plastov a prídavných látok

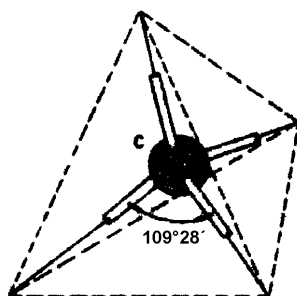
Základné pojmy a definície

Polyméry sú makromolekulové látky a to organické alebo anorganické zlúčeniny, vybudované zo stoviek až miliónov atómov spojených navzájom chemickými väzbami. Vyznačujú sa vysokými relatívnymi molekulovými hmotnosťami. Tieto môžu mať hodnoty od niekoľko sto do 20 000 - vtedy hovoríme o polyméroch s nízkou molekulovou hmotnosťou, alebo od 20 000 do niekoľko miliónov - vtedy ide o vysokomolekulové polyméry.

Základom štruktúry všetkých organických (nízko aj vysokomolekulových) zlúčenín je atóm uhlíka. V dôsledku svojej atómovej stavby je schopný tvoriť 4 kovalentné väzby, ktoré zvierajú v priestore uhol $109,5^\circ$, obr.6.5.

Atómy uhlíka 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, preto sa tieto zlúčeniny nazývajú uhľovodíky alebo karbohydráty. Každý typ väzby má rôznu pevnosť, opísanú tzv. disociačnou energiou (energia potrebná na rozštiepenie väzby) a rôznu dĺžku (vzdialenosťou zapojených atómov).

Zoskupenie atómov v makromolekule má svoje stavebné zákonitosti. Podľa nich je väčšina prírodných a syntetických polymérov vybudovaná tak, že sa v ich reťazcoch pravidelne opakuje určitá stavebná alebo štruktúrna jednotka.



Obr. 6.5 Tetraedrický uhol medzi väzbami atómov C

Stavebná jednotka - mer je časť molekuly zodpovedajúca nízkomolekulovej látke, z ktorej molekula vznikla, alebo mohla vzniknúť. Je v priamom vzťahu k východiskovej surovine - monoméru, ktorý sa použil na syntézu polyméru.

Štruktúrna jednotka (konštitučná jednotka) je najmenšie zoskupenie atómov v molekule, ktoré sa v nej periodicky opakuje.

Výstavbové reakcie makromolekulových látok

Chemické reakcie, vedúce ku vzniku makromolekúl nazývame *výstavbovými polyreakciami*. Pri polyreakciách vznikajú reťazce rôznej dĺžky. Na základe mechanizmu narastania makromolekulového reťazca možno výstavbové polyreakcie rozdeliť na reakcie prebiehajúce reťazovým alebo stupňovitým mechanizmom. K polyreakciám s reťazovým mechanizmom výstavby patrí polymerizácia a so stupňovitým mechanizmom polyadícia a polykondenzácia.

Polymerizácia

Je najvýznamnejšia polyreakcia, pri ktorej sa spájajú nenasýtené nízkomolekulové látky, alebo vhodné cyklické zlúčeniny do makromolekuly. Pri polymerizácii sa jednotlivé molekuly spájajú bez zvyšku na makromolekuly a nevzniká pritom žiadny vedľajší produkt. Polymerizáciu sa pripravujú napríklad PE, PP, PVC a iné.

Polykondenzácia

Je polyreakcia, pri ktorej reagujú dve rôzne organické zlúčeniny za vzniku požadovanej látky a odštiepenia nízkomolekulárneho kondenzátu, najčastejšie vody. Polykondenzáciou sa pripravujú napríklad fenolové a krezolové živice, aminoplasty a iné.

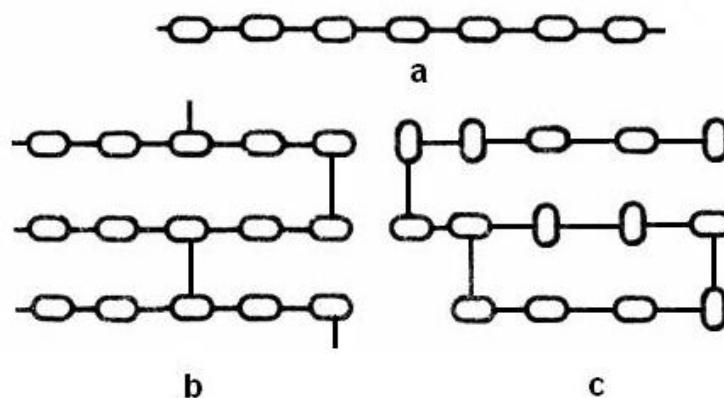
Polyadícia

Je stupňovitá polyreakcia, pri ktorej postupnou adíciou vhodných monomérnych jednotiek vzniká vysokomolekulová látka a pritom sa neuvolňuje nízkomolekulová zlúčenina. Zloženie konečného produktu pri polyadícii sa nelíši od zloženia východiskovej zmesi. Na rozdiel od polymerizácie je štruktúra základného článku odlišná od štruktúry východiskového komponentu. Polyadíciou sa pripravujú napríklad polyuretánové, polymočovinové a epoxidové živice.

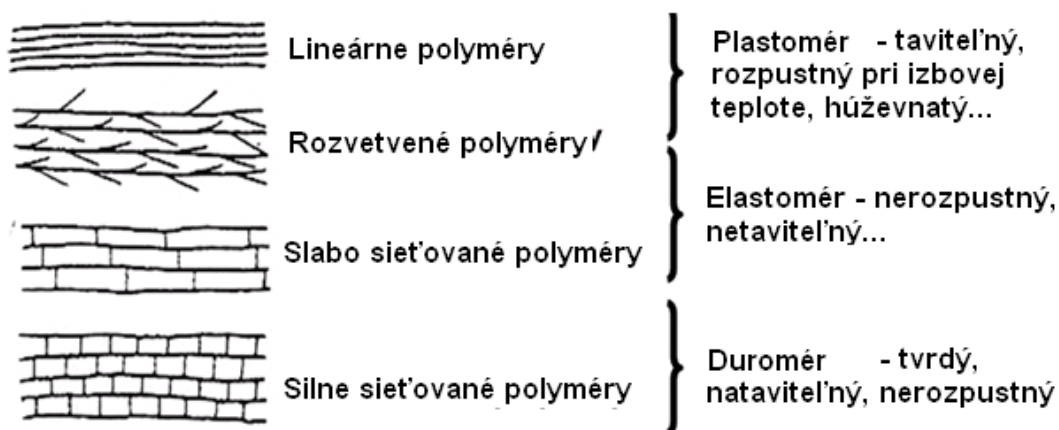
6.2 Štruktúra makromolekulových látok

Veľkosť makromolekúl (molekulová hmotnosť) pri bežných polyméroch nie je konštantná (obsahujú makromolekuly s rôznym počtom monomérnych jednotiek, čiže s rôznym polymerizačným stupňom). Súbor molekúl daného polyméru má v závislosti od podmienok polymerizácie priemernú molekulovú hmotnosť a charakteristické pomerné zastúpenie makromolekúl a rôznou molekulovou hmotnosťou, ktoré graficky vyjadruje distribučná krivka. Pre molekulárne látky je charakteristická polydisperzia. Polydisperzia ovplyvňuje viaceré vlastnosti polymérov. Napríklad zväčšujúca sa priemerná molekulová hmotnosť priaznivo vplyva na mechanické vlastnosti [51,52].

Makrogeometrický vzhľad makromolekúl môže byť **lineárny**, **rozvetvený** alebo **priestorovo zosietený**, obr.6.6 a obr.6.7. Lineárna makromolekula je tvorená dlhými reťazcami bez výraznej orientácie. Sieťované makromolekuly sú tvorené lineárnymi reťazcami, ktoré sú na rôznych miestach spojené priečnymi väzbami. Priestorová makromolekula vzniká z monomérov narastaním do rôznych smerov v priestore, je charakteristická značnou veľkosťou makromolekúl. Rozvetvenú makromolekulu charakterizuje to, že z jej hlavného reťazca odbočujú bočné reťazce (vetvy) rôznej dĺžky, ktorých počet môže byť rôzny. Zosietená makromolekula vzniká spojením niekoľkých lineárnych reťazcov priečnymi väzbami. Pri vysokom stupni zosietenia sú prakticky všetky makromolekuly pospájané tak, že vznikne jediná obrovská priestorová (trojrozmerná zosietená) makromolekula.



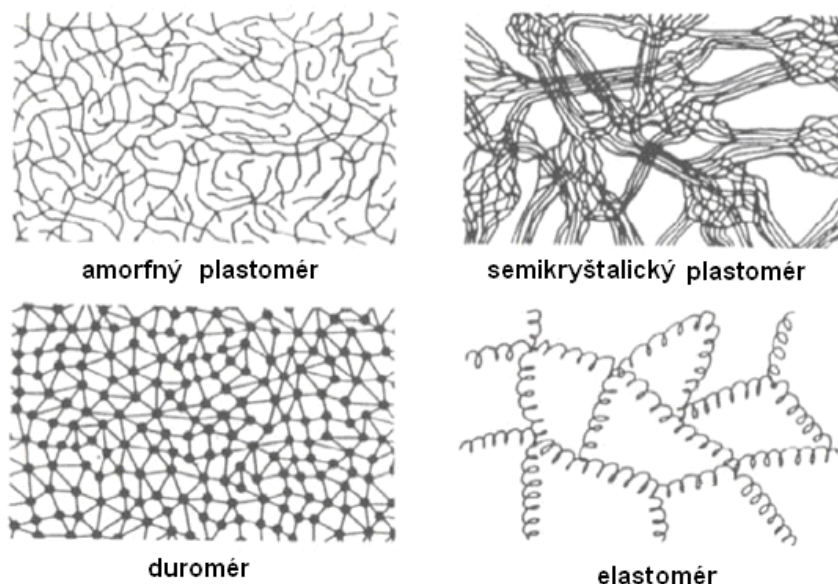
Obr. 6.6 Schematické usporiadanie makromolekúl, a – lineárna makromolekula, b – sieťovaná makromolekula, c – priestorovo usporiadaná makromolekula



Obr. 6.7 Tvar makromolekúl pre rôzne typy plastov

Plasty, ktoré nevykazujú štruktúrne usporiadanie medzi reťazcami makromolekúl sa nazývajú **amorfné polyméry**. Jednotlivé makromolekuly v ich štruktúre sú navzájom prepletené ako napríklad špagety na tanieri. Amorfné sú väčšinou polyméry s makromolekulami nepravidelného tvaru s objemnými substituentami, ktoré sa ani vplyvom medzimolekulových príťažlivých síl nemôžu usporiadať (ataktický polystyrén, PVC). Niektoré polyméry sú celkom amorfné za všetkých podmienok, iné sú čiastočne kryštalické. Na rozdiel od kovov a nízkomolekulových látok nie je možné pripraviť úplne **kryštalický polymér**. Je to možné vysvetliť a dokázať širokým intervalom teploty topenia, nižšími hodnotami mernej hmotnosti, aké by mal mať celkom kryštalický polymér. Kryštalický stav lineárnych polymérov má veľký praktický význam pre ich vlastnosti a preto schopnosť kryštalizácie môže byť kritériom na ich rozdelenie. Podľa toho sa polyméry delia na

samovoľne kryštalizujúce a na samovoľne nekryštalizujúce. Veľká dĺžka makromolekúl v kryštalizujúcom polyméry zabraňuje dosiahnuť vysoký stupeň kryštalizácie, preto v polyméroch nikdy nemôže byť 100 % kryštalickej fázy. Podiel kryštalickej fázy sa vyjadruje kryštalinitou v percentách. Usporiadanie makromolekulárnych reťazcov v jednotlivých typoch polymérov je na obr.6.8.



Obr. 6.8 Nadmolekulárna štruktúra polymérov

6.3 Vlastnosti polymérov

Mechanické vlastnosti plastov

Vyplývajú z vnútornej stavby plastov, najmä druhu, veľkosti a tvaru makromolekúl, stupňa pohyblivosti reťazcov makromolekúl. Pri použití akéhokoľvek materiálu je rozhodujúce, ako reaguje na pôsobenie vonkajšej zaťažujúcej sily v širokom rozsahu podmienok, napr. pri rôznej teplote, pri rôznej dobe namáhania a pod. Kovové materiály sa deformujú čisto elasticky (v zmysle platnosti Hookovho zákona) do medze úmernosti, pričom veľkosť vzniknutej deformácie je prakticky časovo nemenná. Naproti tomu deformácie plastov, vznikajúce už pri malých napätiach významne závisia od času. Príčinou sú súčasne prebiehajúce elastické aj viskózne deformačné pochody, ktoré sa podľa štruktúrneho usporiadania plastu a teploty prejavujú rôzne. Pri nízkych teplotách a krátkych časoch sa plasty správajú ako látky elastické, pri dlhých časoch pôsobenia zaťažujúcej sily ako látky viskózne.

Z vyššie uvedeného vyplýva, že mechanické správanie sa plastov má jednu zvláštnosť, ktorú nemajú kovové materiály, že závisí od času namáhania. Pre správanie sa plastov, pri pôsobení vonkajšej zaťažujúcej sily, existuje ekvivalencia čas - teplota. Dlhé časy namáhania pôsobia podobne ako vyššie teploty a naopak.

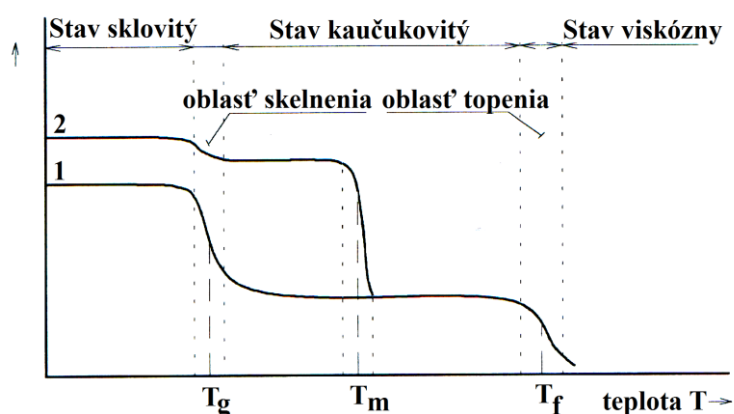
Termomechanická krivka

Plasty, v závislosti od teploty, sa môžu vyskytovať v troch fyzikálnych stavoch:

- 1) **sklovitý (krehký, tvrdý)** - stav makromolekulovej látky pod teplotou sklovitého prechodu;
- 2) **kaučukovitý (elastický, pružný)** - stav, v ktorom sa polymérna hmota ľahko deformuje už malým napätím; táto deformácia je do značnej miery vratná;
- 3) **viskózne tekutý (husto tekutý, plastický)** - stav, kedy začína samovoľný viskózný tok.

Medzi týmito stavmi existujú prechodové teploty, pri ktorých sa podstatne menia fyzikálne aj mechanické vlastnosti plastov. Pokiaľ kovové materiály majú prechodovú teplotu len jednu, plasty majú *tri prechodové teploty*, ktoré vymedzujú oblasť použiteľnosti konkrétneho plastu, obr.6.9:

- **T_g - teplota sklovitého prechodu** - teplota medzi kaučukovitým a sklovitým stavom; charakterizuje amorfné polyméry;
- **T_m - teplota topenia kryštálov** - teplota, pri ktorej kryštalické objemy polyméru, pri stúpajúcej teplote, prechádzajú do amorfného stavu;
- **T_f - teplota vzniku viskózneho toku** - začiatok samovoľného viskózneho toku - začiatok tečenia materiálu.



Obr. 6.9 Termomechanická krivka lineárnych polymérov
1 – polymér s nižším stupňom sieťovania,
2 – polymér s vyšším stupňom sieťovania

Pri plastoch, v porovnaní s kovovými materiálmi, nachádzame medzi stavom sklovitým a viskózne tekutým nový stav - kaučukovitý, kedy sa plasty ľahko deformujú už

malým zaťažením. V kaučukovitej oblasti sa mení trvalá deformácia so stúpajúcou teplotou len málo. V blízkosti teploty T_f však ohrev vedie k výraznejšiemu rastu deformácie, pretože sa začína uplatňovať nevratná deformácia - začína viskózný tok. Pri vyšších teplotách polymér tečie podobne ako viskózna (hustá) kvapalina.

Aj termomechanické krivky amorfných a kryštalických polymérov sa navzájom líšia:

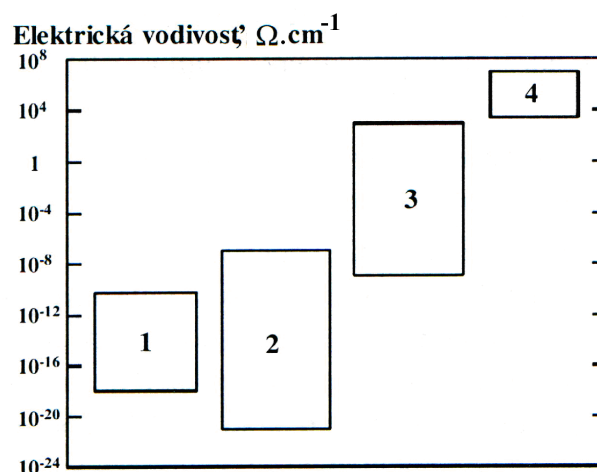
- **amorfné polyméry** charakterizujú dve prechodové teploty T_g a T_f , ktoré teplotne vymedzujú kaučukovitý stav;
- **kryštalické polyméry** majú v porovnaní s amorfnými užší teplotný interval kaučukovitého stavu, resp. vôbec nemajú oblasť kaučukovitého stavu.

Kaučukovitý stav je teda vymedzený pri kryštalických polyméroch intervalom teplôt $T_m - T_f$. Ak je bod tavenia kryštálov nad teplotou T_f , potom polymér prechádza z tuhého stavu priamo do stavu viskózne-tekutého - do "taveniny".

Fyzikálne vlastnosti plastov

K významným fyzikálnym vlastnostiam polymérov z hľadiska spracovateľských a aplikačných vlastností výrobkov patria:

- **tepelné vlastnosti** (tepelná kapacita, tepelná vodivosť a iné);
- **elektrické vlastnosti** (elektrická vodivosť, obr. 6.10, elektrická pevnosť, dielektrické vlastnosti a iné);
- **optické vlastnosti;**
- **magnetické vlastnosti.**



Obr. 6.10 Rozdelenie technických materiálov do skupín podľa elektrickej vodivosti,

1 – polymérne materiály, 2 – keramické materiály,
3 – polovodičové materiály, 4 – kovové materiály

Tepelné vlastnosti plastov

Pre použitie plastov ako konštrukčného materiálu sú najvýznamnejšie nasledovné tepelné vlastnosti:

- **teplotná rozťažnosť,**
- **tepelná vodivosť,**
- **horľavosť.**

Koeficient lineárnej teplotnej rozťažnosti plastov je väčší než u kovov (napr. polyetylén má až 18 x väčší koeficient lineárnej teplotnej rozťažnosti ako oceľ obvyklých akostí), čo treba zohľadniť najmä pri zostavovaní rozvodových systémov chladených alebo ohriatych médií.

Plastoméry a duroméry bez plnív majú porovnateľnú tepelnú vodivosť, tepelná vodivosť plastov je v porovnaní s kovmi približne o tri až štyri rády nižšia. Táto skutočnosť je na jednej strane veľkou prednosťou plastov. Plasty ako ľahčený polystyrén, resp. polyuretán sú výbornými tepelnými izolátormi napr. rozvodových systémov chladených alebo ohriatych médií, nesmie sa ale zanedbať v technológiách spracovania plastov (ohrev a ochladzovanie výrobkov z plastov).

Horľavosť plastov je podľa STN 64 0755 schopnosť plastov zapáliť sa pomocou plameňa a ďalej horieť, pričom ale podľa STN 73 0760 nemožno ani jeden druh plastu považovať za nehorľavý.

Z hľadiska horľavosti rozlišujeme plasty:

- **horľavé** - trvalo horia nielen v plameni, ale aj po vybratí z neho,
- **samozhášavé** - horia len v plameni, mimo neho po krátkom čase zhasínajú,
- **ťažkohorľavé** - v plameni nehoria, ale uhoľnatejú alebo rozkladajú sa. Ich plynné splodiny sú tiež nehorľavé.

Odolnosť proti horeniu je z dôvodu bezpečnosti vždy treba posúdiť, najmä v elektrotechnike, stavebníctve, pri prevádzke za vysokých teplôt (letecké a raketové motory) a pod. V konkrétnych prípadoch však sklon ku vznieteniu a spôsob horenia nezávisia iba od vlastností plastu, ale aj od tvaru výrobku, hrúbky jeho steny, prístupu vzduchu, odvodu tepla a pod. Horľavosť sa dá znížiť prísadou retardéru horenia.

Elektrické vlastnosti plastov

Plasty sú elektricky nevodivé materiály - izolanty. Ich izolačný odpor priamo závisí od elektrostatického náboja - čím je izolačný odpor väčší, tým ľahšie sa plasty nabíjajú. Podľa schopnosti polarizácie možno plasty rozdeliť do dvoch skupín:

- **polárne** (PA, PVC, PMMA a iné);
- **nepolarizovateľné - nepolárne** (PE, PP, PTFE, PS a iné).

Optické vlastnosti plastov

Väčšina plastov, pokiaľ neobsahuje rôzne prísady, dobre prepúšťa svetlo. Na priepustnosť svetla má vplyv hrúbka predmetov a vnútorná stavba plastov. Niektoré plasty pod napätím vykazujú dvojlom, čo sa využíva vo fotoelasticimetrii. Znehodnotenie sa prejavuje zmenou farby, stratou lesku, vznikom trhliniek, zhoršením mechanických a elektrických vlastností a iné.

Magnetické vlastnosti plastov

Organické magnetiká (magnetopolyméry) sú materiály pozostávajúce z magnetického plniva v polymérnej matici, ktoré sa vyznačujú feromagnetickými vlastnosťami. Delíme ich na:

- **kompaktné organické magnetiká - organické polyméry**, v ktorých pomocou vhodných prímiesí možno narušiť vykompenzovanie spinových magnetických momentov v molekulách polymérov a súčasne dosiahnuť magneticky usporiadaný stav. Označujeme ich ako prirodzené organické magnetiká. Sú v štádiu teoretického a experimentálneho skúmania;

- **kompozitné organické magnetiká** - pozostávajú z dvoch základných zložiek; z magnetického prášku - plniva (Alnico, SnCO_5 , Sr ferit, Ba ferit) zapracovaného do nemagnetickej polymérnej matrice (polyvinylchlorid, kaučuk, polyamidy, polyetylén, polypropylén, polystyrén, fenolové a polyesterové živice). Označujeme ich ako *nevlastné (nepravé) organické magnetiká*.

Chemické vlastnosti plastov

Vplyv chemikálií na plasty sa prejaví väčšinou zmenou hmotnosti (prírastkom, resp. úbytkom počas napučievania, resp. rozpúšťania), poklesom pevnostných charakteristík (pevnosti, modulu pružnosti, ťažnosti), zmenou farby a pod.

6.4 Plastoméry

Plastoméry sú polymérne materiály, ktoré pôsobením tepla zmäknú, chemicky sa pri tomto prechode nemenia, a po ochladení znova stvrdnú, resp. nadobudnú požadovaný tvar. Aj keď sa odhaduje, že denne vedci vytvoria 1 až 5 nových plastomérov, mnohé z nich nemožno prakticky využiť vzhľadom na ich vlastnosti, veľmi náročnú technológiu výroby alebo vysokú cenu. Medzi najpoužívannejšie plastoméry v praxi patrí **polyvinylchlorid** (PVC, amorfný plastomér), **polyetylén** (PE, kryštalický plastomér), **polypropylén** (PP, kryštalický plastomér), **polyamid** (PA, lineárny kryštalický plastomér), **polymetylmetakrylát** (PMMA,

lineárny amorfný plastomér), **polystyrén** (PS, plastomér sklovitého charakteru), **polytetrafluóretylén** (PTFE, lineárny vysokokryštalický plastomér), **polykarbonát** (PC, lineárny plastomér), **polyuretán** (PU, lineárny až sieťovaný plastomér).

Polyvinylchlorid – PVC, novodur, igelit, novoplast. Merná hmotnosť $\gamma = 1,4 \text{ kg.m}^{-3}$, $R_m = 50 \text{ MPa}$, odolný proti chemikáliám, málo odolný proti pôsobeniu svetla a tepla, použiteľný do 60°C .

Použitie: nádrže potrubia, ventily, čerpadlá, izolačný materiál – vodiče, káble, obalový materiál, hračky, umelá koža.

Polyetylén – pevná biela priesvitná látka, odolná proti chemikáliám, vode, alkáliám. Pôsobením svetla a kyslíka sa znehodnocuje, preto sa pigmentuje sadzami čím sa jeho životnosť zvýši až na 30 rokov. Má výborné elektroizolačné vlastnosti. Vlastnosti závisia od molekulovej stavby a prípravy. Vysokohustotný PE má $M_r = 18 - 30000$, $\gamma = 0,92 \text{ kg.m}^{-3}$, obsahuje 50 – 60 % kryštalickej fázy, $R_m = 10 \text{ MPa}$, je použiteľný do 90°C , $Z = 80 - 100\%$. Nízkohustotný PE má $M_r = 500000 - 1000\ 000$, $\gamma = 0,94 \text{ kg.m}^{-3}$, obsahuje až 90% kryštalickej fázy, $R_m = 18 - 29 \text{ MPa}$, je použiteľný do 110°C , $Z = 20\%$.

Použitie: fólie, rúry, textilné vlákna, hračky, vaničky, vedrá, nádoby, fľaše na chemikálie, elektroizolačná hmota a i. (BRALEN)

Polypropylén má podobné vlastnosti ako PE, $\gamma = 0,90 \text{ kg.m}^{-3}$, $R_m = 30-35 \text{ MPa}$.

Polystyrén - priesačná, tvrdá, pomerne krehká hmota. $R_m = 45-60 \text{ MPa}$, má vynikajúce elektroizolačné vlastnosti, priesačný (prepúšťa 90% svetla). Odolný vode, kyselinám, rozpúšťadlám. Použitie: súčiastky strojov, hrebene, misky, fľaše, elektroizolačné fólie a laky, penový PP sa používa ako tepelná a zvuková izolácia s $\gamma = 0,02 - 0,05 \text{ kg.m}^{-3}$.

Polymetylmetakrylát - organické sklo. Má výborné optické, elektroizolačné a mechanické vlastnosti. $R_m = 50-70 \text{ MPa}$. Má mimoriadnu odolnosť proti slnečnému žiareniu a poveternostným vplyvom. Prepúšťa 99 % svetla, $\gamma = 1,18 \text{ kg.m}^{-3}$. Má široké využitie. Vyrábajú sa z neho dosky odolné proti rozbitiu, zasklievanie hál a budov, kabín lietadiel a automobilov, kryty na koncové svetlá automobilov, misy, podnosy, zubné protézy, dentacryl, fólie na medzivrstvy pri výrobe nerozbitných skiel a i. Je však pomerne drahý.

Polytetrafluóretylén - biela hmota, $\gamma = 2,2 \text{ kg.m}^{-3}$, $R_m = 15-30 \text{ MPa}$. Použiteľný do 260°C . Má vynikajúcu odolnosť proti H_2SO_4 , HCl , HNO_3 , lúhom a organickým rozpúšťadlám. Má výborné elektroizolačné vlastnosti. Spracováva sa metódami práškovej metalurgie – tyče, drôty, rúry, dosky, tesnenia, povlaky. Impregnácia povrchov v raketovej a vysokofrekvenčnej technike, kuchynské nádoby (TEFLON) a pod. V chemickom priemysle sa používa na tesnenia, sedlá ventilov, obklady nádrží a pod.

Polyamidy - Sú tvrdé a húževnaté, s vysokým stupňom kryštalinity, odolné proti rozpúšťadlám. Sú to ľahko spracovateľné a húževnaté polyméry. $R_m = 60-70 \text{ MPa}$, orientovaním štruktúry ťahaním dosahujú pevnosť až 500 MPa . Sú použiteľné od -50 do $+100^\circ\text{C}$. Sú hygroskopické (8-12 % vody), čo znižuje ich pevnosť a dielektrické vlastnosti. Použitie: nehučné a samomazné ložiská,

ozubené kolesá, tesnenia, kryty prístrojov, prilby, hrebene, misky, košíky, vlákna pre textilný priemysel (SILON, NYLON, PERLON).

Polyuretany - majú rozmanité vlastnosti podľa surovín a podmienok výroby. Používajú sa na výrobu vlákien, fólií, tesnení, klinových remeňov, ozubených kolies, spojok, ložísk, ľahčených hmôt (molitan).

6.5 Duroméry

Duroméry sú polymérne materiály, ktoré v procese vytvrdzovania pôsobením rôznych vplyvov ako teplo, vytvrdzovadlá, iniciátory, ožiarenie a iné prechádzajú do zosieťovaného stavu a vytvárajú tak nerozpustnú a netaviteľnú hmotu [51]. Duroméry sú v porovnaní s plastomérmi historicky staršími typmi polymérnych materiálov; výhodu majú v tom, že sú tepelne aj chemicky odolnejšie. Nové možnosti spracovania duromérov vytvárajú predpoklady pre rozšírenie ich výroby a aplikácie.

Podľa chemickej štruktúry, resp. podľa východiskových surovín ich rozdeľujeme do nasledovných skupín:

- **fenoplasty,**
- **aminoplasty** (močovínové, melamínové, anilínové a modifikované),
- **nenasýtené polyesterové živice,**
- **epoxidové živice,**
- **ostatné duromérne hmoty** (napr. zosieťované polyuretany, silikónové živice a iné).

Fenoplasty (PF, lineárny plastomér) reprezentujú fenolformaldehydové živice, ktoré sú vždy plnené rôznymi plnivami. Podľa druhu plnív, ich vzájomného pomeru a reakčných podmienok môžu vzniknúť tri druhy živíc - **novolaky, rezoly a rezity**. Sú tvrdé a krehké, rázovú húževnatosť majú veľmi nízku. Bežne sa využívajú vo forme lejacích technických živíc, lisovacích hmôt, vrstvených hmôt, ľahčených hmôt a iné. Teplotná rozťažnosť fenoplastov je vo všeobecnosti nízka, elektroizolačné vlastnosti sú dobré. Chemická odolnosť fenoplastov závisí od druhu plniva, všeobecne však nie sú vhodné pre styk s potravinami. Fenoplasty sa zvyčajne plnia drevitou múčkou (bakelit) - na výrobu elektroizolačných súčiastok, krytov, rukovätí a pod; textilným resp. celulóзовým plnivom, grafitom - na elektroizolačné výrobky so zníženou navíhavosťou; azbestom - kryty a svorkovnice pre zvýšené teploty a vyššou odolnosťou proti horeniu prípadne s rôznymi plnivami pre zlepšenie elektrických vlastností - izolačné telesá, súčiastky v elektronike a iné.

Aminoplasty predstavujú polykondenzačné hmoty podobné fenoplastom. Ako základné suroviny sa používajú aminoszlúčeniny, aldehydovú zložku tvorí najčastejšie formaldehyd. Vo všeobecnosti majú aminoplasty lepšie elektrotechnické vlastnosti ako fenoplasty, sú

nekorózne, bez chuti a zápachu, majú menšie zmraštenie a možno ich ľahko prifarbiť aj na svetlé odtiene. Na druhej strane sú drahšie a majú menšiu chemickú odolnosť. Používajú sa ako *lisovacie a technické živice, vrstvené hmoty*.

Nenasýtené polyester. Polyesterové živice, nazývané glyptály, sa používajú v priemysle náterových hmôt pod názvom alkydové živice. Vhodnou skladbou zložiek možno dosiahnuť veľmi široký sortiment hmôt od veľmi tvrdých až po kaučukovité, vysoko i málo odolné (chemicky aj tepelne), s veľkou alebo malou viskozitou, mechanickými vlastnosťami a pod. Podľa vlastností sa polyesterové živice zvyčajne rozdeľujú na štandardné, elastické, samozhášavé a odolné proti alkáliám. Podľa použitia sa polyesterové živice rozdeľujú na *lakárske, lejacie, laminačné, lepiace a špeciálny druh živíc pre premixy*. Tepelná odolnosť polyesterových živíc je v porovnaní s ostatnými duromérmi pomerne nízka, majú pomerne dobrú chemickú odolnosť, dobrú odolnosť proti starnutiu a korózii. Veľkou nepríjemnosťou je ich horľavosť, možnosť vzniku kožných ochorení a nevyhnutnosť dokonalého vetrania pracovísk.

Epoxidové živice. V pôvodnom stave nemožno epoxidové živice použiť, a preto sa používajú vo *vytvrdenom stave*, ktorý ovplyvňuje ich *štruktúru a odolnosť*. Výroba epoxidových živíc využíva široké možnosti výberu základných zložiek a tým aj veľký sortiment, ktorý sa rozdeľuje na lepidlá, náterové živice, lejacie živice, laminačné živice, tuhé živice a lisovacie hmoty. Epoxidové živice majú vynikajúcu adhéziu ku kovu, a preto sa používajú ako lepidlá kovov. Najvýznamnejšie uplatnenie však nachádzajú dnes ako matrica kompozitných materiálov, predovšetkým v kombinácii s uhlíkovými vláknami.

6.6 Elastoméry

Kaučuky a gumy (*polyméry amorfné alebo s obmedzenými priečnymi väzbami*) reprezentujú rozsiahlu skupinu technických polymérnych materiálov, ktoré sa pre vynikajúcu pružnosť označujú aj ako elastoméry. Kaučuk je jednou zo základných komponentov pre výrobu gumy, avšak ako kaučuk, tak aj guma sa používajú vo forme prírodnej aj syntetickej. Hlavný rozdiel medzi prírodným a syntetickým kaučukom je v technológií ich výroby. U prírodného kaučuku je výrobný proces uskutočňovaný prírodou vo vnútri stromu, pričom kaučukovník je pestovaný minimálne 6 rokov, pokiaľ začne produkovať [51].

Prírodný kaučuk (*skratka NR*) je nezosietený ale sieťovateľný (= vulkanizovateľný) amorfný polymér izoprénu s vysokoelastickými vlastnosťami pri normálnej teplote a za určitých podmienok aj nad touto teplotou. Získava sa zo šťavy kaučukovníkových stromov tropického pásma - latexu a obsahuje približne 60 - 65 % vody, 30 - 35 % kaučuku, 2,5 % bielkovín, 1-1,5 % soli a 1,0 % živice. Chemická analýza potvrdila, že prírodný kaučuk je uhľovodík.