



H. SILLAND

***SÜNTEETILISED
POLÜMEERSED
MATERJALID***

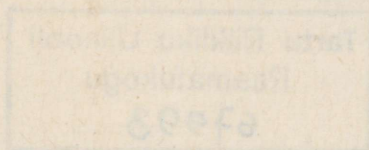
TALLINN
1966

A-27631 II

TALLINNA POLÜTEHNILINE INSTITUUT
Orgaaniliste ainete tehnoloogia
kateeder

H. Silland

SÜNTEETILISED POLÜMEERSED MATERJALID



Tallinn 1966

ТАЛЛИНСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ
Кафедра технологии органических веществ

Харальд Августович Силланд

СИНТЕТИЧЕСКИЕ ПОЛИМЕРНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

На эстонском языке

F₂

Tartu Riikliku Ülikooli
Raamatukogu

67993

Vastutav toimetaja T. Kaps

Trükkimisele antud 19. X 65. Paber 60x84, 1/16
Trükipg. 4,25. Tingpg. 4. Tir. 750
MB-09033. TPI rotaprint, 1966. Tell. nr.445
Hind 13 kop.

Eessõna

Käesolev loengukonspekt on mõeldud kasutamiseks Tallinna Polütehnilises Instituudis õppevahendina kursuse "Uued materjalid tehnikas" sünteetilisi polümeerseid materjale käsitleva osa õppimisel. Konspekti eesmärgiks on anda üliõpilastele põhiteadmised polümeeridest ja nende baasil saadavatest materjalidest, kusjuures peamist tähelepanu on pööratud materjalide omadustele ja praktilistele kasutamisevõimalustele. Kursuse väikese mahu tõttu on konspektis käsitletud ainult tähtsamaid polümeerseid materjale. Polümeeride ja nende baasil saadavate materjalide põhjalikuks tundmaõppimiseks ja kasutamisaladega tutvumiseks on konspekti lõppu lisatud soovitatava kirjanduse loetelu.

S I S S E J U H A T U S

Tehnika kiirele arenemisele paari viimase aastakümne jooksul on palju kaasa aidanud mitmesugused uued materjalid, sealhulgas ka polümeerid. Kergete vastupidavate ja korrosioonikindlate plastmasside ning teiste polümeersete materjalide kasutuselevõtmine võimaldab paljusid probleeme lahendada otstarbekamalt ja ökonoomsemalt kui varem.

Tänapäeval kasutatakse polümeere kõigis rahvamajandusharudes. Kui esialgu vaadeldi neid peamiselt värviliste metallide asendajatena, siis praegu on polümeeride tähtsus hoopis suurem ja paljudel juhtudel ületavad nad teisi tuntud materjale.

Rahvamajanduse seisukohalt on suure tähtsusega asjaolu, et polümeerised materjalid võimaldavad paljudes tootmis- harudes märgatavalt tõsta tööviljakust ja luua kiiresti rahvatarbekaupade külluse. Seepärast areneb praegu polümeer- sete materjalide tootmine kõigis tööstuslikult arenenud maades, sealhulgas ka Nõukogude Liidus, kiiremini kui tei- sed tööstusharud. Eriti hoogsalt on keemiatööstus meie maal arenenud pärast NLKP Keskkomitee maipleenumit (1958). Käesolevaks ajaks on juba eksploatatsiooni antud või las- takse lähemal ajal käiku paljud suured keemiaobjektid, sealhulgas ka polümeerseid materjale tootvad ettevõtted, mille ehitamist alustati maipleenumi otsuste kohaselt. Veel- gi avaramad perspektiivid avanesid keemiatööstusele pärast NLKP Keskkomitee detsembripleenumit (1963). Kavandatud abi- nõude tulemusena suureneb plastmasside ja teiste polümeer- sete materjalide tootmine NSV Liidus lähemal aastail tun- duvalt. Plastmasside ja sünteetiliste vaikude tootmine on Nõukogude Liidus viimastel aastatel arenenud järgmiselt:

Aasta	Toodang tuh. t
1953	104
1960	332
1963	589
1964	720

Detsembripleenumi otsuste kohaselt tõuseb plastmasside ja sünteetiliste vaikude toodang NSV Liidus 1970. aastaks 3,5-4 miljoni tonnini ning sünteetiliste ja tehiskiudude toodang 1,35 miljoni tonnini aastas.

I. ÜLDMÕISTED

1. Polümeerid ja polümeersed materjalid

Tavaliste ehk nn. madalmolekulaarsete ainete molekulid koosnevad suhteliselt väikesest arvust aatomitest. Viimaste arv piirdub kõige rohkem mõnekümnega ning aine molekulkaal seega harilikult mõnesajaga. Erinevalt madalmolekulaarsetest ainetest koosnevad kõrgmolekulaarsete ainete ehk polümeeride molekulid väga suurest hulgast aatomitest. Nende arv võib ulatuda kümnete tuhandeteni ning molekulkaal seega mitme miljonini. Oma suuruse tõttu nimetatakse polümeeride molekule makromolekulideks. Makromolekulid koosnevad paljudest ühesuguse struktuuriga korduvatest lülidest. Näiteks tuntud polümeeri - polüvinüülklooriidi makromolekul koosneb paljudest lülidest - $\text{CH}_2-\underset{\text{Cl}}{\text{CH}}-$

...- $\text{CH}_2-\underset{\text{Cl}}{\text{CH}}-\text{CH}_2-\underset{\text{Cl}}{\text{CH}}-\text{CH}_2-\underset{\text{Cl}}{\text{CH}}-\text{CH}_2-\underset{\text{Cl}}{\text{CH}}-$... Sellist korduvat lüli, antud juhul $-\text{CH}_2-\underset{\text{Cl}}{\text{CH}}-$, nimetatakse elementaarlüliks ning viimaste arvu makromolekulis polümerisatsiooni astmeks.

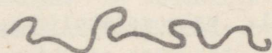
Polümeerid võivad olla looduslikud ja süntetilised. Looduslikest polümeeridest on tähtsamad tselluloos, valgud ja looduslik kautšuk. Alates käesoleva sajandi kolmekümneandatest aastatest on looduslike polümeeride suhteline osatähtsus pidevalt vähenenud ja käesoleval ajal kasutatakse neid süntetilistest polümeeridest tunduvalt vähem.

Polümeeride baasil toodetakse mitmesuguseid polümeerseid materjale. Viimaste hulka kuuluvad plastmassid, süntetilised kiudained ja kautšukid, liimid, lakid, tehisnahk ja mõned teised materjalid. Polümeersete materjalide saamiseks

kasutatavaid polümeere nimetatakse sageli ka vaikudeks, näiteks fenoolformald. hüdvaigud, karbamiidvaigud, polüester-vaigud jne. Polümeerne materjal sisaldab harilikult peale polümeeri veel teisi komponente, kusjuures polümeer on sel juhul sideaineks. Mitmeid polümeere kasutatakse sageli ka täiendavate komponentideta.

2. Polümeeride omaduste sõltuvus makromolekulide ehitusest

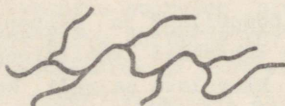
Polümeeride makromolekulid võivad oma ehituselt olla kas lineaarsed, hargnenud ahelatega või ruumilise struktuuriga. Lineaarsed makromolekulid kujutavad endast pikki niidikujulisi ahelaid, mis soojusliku liikumise tõttu muudavad pidevalt oma kuju.



Joon. 1.

Lineaarne makromolekul.

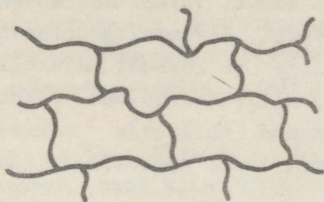
Hargnenud ahelaga makromolekulides on põhiahelaga seotud veel külghelad.



Joon. 2.

Hargnenud ahelaga makromolekul.

Ruumilise struktuuriga makromolekulides on põhiahelad seotud omavahel põiksidemetega, mille tulemusena tekib ruumiline struktuur.



Joon. 3.

Ruumilise struktuuriga makromolekul.

Polümeeride omadused olenevad suurel määral makromolekulide kujust. Lineaarsete ja hargnenud ahelatega polümeerid lahustuvad tavaliselt mõnes orgaanilises lahustis, mõnikord küll ainult kõrgendatud temperatuuridel. Kuumutamisel lähevad nad üle plastilisse (voolavasse) olekusse ning jahtumisel tahkestuvad uuesti. On ka polümeere, mis lineaarsetest või hargnenud ahelatega molekulidest hoolimata ei lähe kuumutamisel üle voolavasse olekusse (polütetrafluoretüleen ehk fluorplast-4 jt.). Ruumiliste makromolekulidega polümeerid ei lahustu orgaanilistes lahustites ega lähe kuumutamisel üle plastilisse olekusse. Kuumutamise seisukohast jagunevad polümeerid termoplastilisteks ja termoreaktiivseteks. Termoplastilised polümeerid lähevad kuumutamisel üle plastilisse olekusse, jahutamisel aga tahkestuvad uuesti. Kuumutamise- ja jahutamistsükleid võib termoplastiliste polümeeride puhul piiramatult korrata, ilma et materjali põhiomadused muutuksid. Enamik polümeere on termoplastiliste omadustega, näiteks polüetüleen, polüstürool, polüamiidid jt. Termoreaktiivsed polümeerid lähevad esialgsel kuumutamisel üle plastilisse olekusse (või on seda juba algul), kuid edasisel kuumutamisel muutuvad tahkeks. Kord juba kõvenenud termoreaktiivset polümeeri pole enam võimalik plastilisse olekusse viia. Termoreaktiivsete polümeeride kõvenemine on seotud nende üleminekuga ruumilisse struktuuri. Järelikult ei ole kõvenenud termoreaktiivsed polümeerid enam lahustuvad. Termoreaktiivsete polümeeride hulka kuuluvad näiteks karbamiidvaigud, osa fenoolformaldehüüdvaike

Mõned esialgselt termoplastilised polümeerid on teatud ainete - kõvendajate toimel samuti võimelised kõvenema ning üle minema ruumilisse struktuuri. Kõvenemisprotsessis toimuvad polümeeri makromolekulide ja kõvendi molekulide vahel keemilised reaktsioonid, mille tulemusena polümeeri esialgselt lineaarsed või hargnenud ahelatega makromolekulid ühinevad põiksidemetega ruumilisteks makromolekulideks.

3. Polümeeride füüsikaline olek

Polümeerid võivad olla kolmes füüsikalises olekus:

- 1) plastilises ehk voolavas, 2) kõrgelastses ja 3) klaasitaolises olekus.

Missuguses olekus mingi polümeer on, see oleneb tema keemilisest loomusest, molekulkaalust ja temperatuurist. Kui polümeeri molekulkaal on veel võrdlemisi väike, võib ta toatemperatuuril olla voolav, suurema molekulkaalu puhul kõrgelastne ning veel suurema molekulkaalu korral tahke klaasitaoline materjal. Keemilisest loomusest olenevad polümeeri makromolekulide vahel mõjuvad molekulaarsed jõud. Viimastest on tingitud ka polümeeri füüsikaline olek.

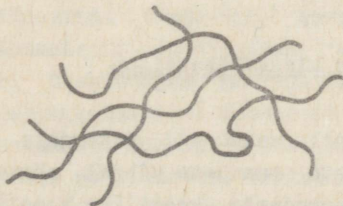
Polümeeride füüsikaline olek ning järelikult ka nende mehaanilised omadused olenevad suurel määral temperatuurist. Küllalt madalal temperatuuril on kõik polümeerid klaasitaolises olekus. Selles olekus on polümeerid jälgad ja võrdlemisi haprad. Temperatuuri tõstmisel lähevad polümeerid klaasitaolisest olekust üle kõrgelastsesse olekusse. Selles olekus polümeer sarnaneb elastse kummiga. Temperatuuri edasisel tõstmisel läheb polümeer üle plastilisse olekusse. Polümeeride üleminek ühest füüsikalisest olekust teise ei toimu järsku, mingil teatud temperatuuril, vaid pikkamööda kindlas temperatuuride intervallis. Ülemineku temperatuure iseloomustavad teatud leppelised temperatuurid. Üleminekut klaasitaolisest olekust kõrgelastsesse olekusse ja vastupidi iseloomustab klaasistumistemperatuur ning üleminekut kõrgelastsest olekust plastilisse olekusse voolavustemperatuur.

Klaasistumis- ja voolavustemperatuurid olenevad teatud määral polümeeri molekulkaalust. Klaasistumistemperatuur tõuseb molekulkaalu suurenemisel aeglaselt kuni teatud piirini, voolavustemperatuur tõuseb aga pidevalt. Seega laieneb molekulkaalu suurenemisel polümeeri kõrgelastse oleku piirkond.

Tuleb silmas pidada, et mitte kõikidele polümeeridele ei ole omased need kolm füüsikalist olekut. Mõnede polümeeride voolavustemperatuur on niivõrd kõrge, et kuumutamisel toimub enne nende termiline lagunemine, kui nad jõuavad üle minna voolavasse või isegi kõrgelastsesse olekusse. Klaasitaoline olek on aga omane kõikidele polümeeridele.

4. Polümeeride orientatsioon

Lineaarsed või hargnenud ahelatega makromolekulid paiknevad amorfses polümeeris enam-vähem korrapäraselt, juhuslikes asendites. Makromolekulid on omavahel läbi põimunud ja nende suund on mitmesugune.



Joon. 4.

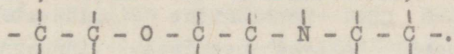
Lineaarsete makromolekulide paiknemine polümeeris:

- a) orienteerimata polümeer,
- b) orienteeritud polümeer.



Süsinikahelpolümeeride hulka kuuluvad paljud tuntud polümeerid, nagu polüetüleen, polüstürool, polüvinüülkloriid jt.;

b) heteroahelpolümeerid - makromolekuli põhiahelasse kuulub peale süsiniku aatomite ka mõni heteroaatom (hapniku, lämmastiku, väävli või fosfori aatom):



Heteroahelpolümeeride näiteks on polüamiidid, polüestrid jt.;

c) elementorgaanilised polümeerid - makromolekulide põhiahelasse kuuluvad niisuguste elementide aatomid, mida looduslikes orgaanilistes ainetes ei leidu, näiteks räni või mõne metalli aatomid. Selle klassi polümeeridest on suurim tähtsus räniorgaanilistel polümeeridel. Kui polümeeri makromolekul sisaldab metalli aatomit, nimetatakse selliseid polümeere ka metallorgaanilisteks polümeerideks, näiteks titaanorgaanilised või alumiiniumorgaanilised polümeerid jt.

6. Polümeeride sünteesi meetodid

Polümeeride sünteesiks kasutatavaid madalmolekulaarseid lähteaineid nimetatakse monomeerideks. Polümeeri tekkimiseks on vajalik, et lähteaine oleks vähemalt kahefunktsionaalne. Monomeeri funktsionaalsus oleneb nii funktsionaalsete rühmade arvust molekulis kui ka kaksik- või kolmiksideme ja liikuvate vesinikuaatomite olemasolust lähteaine molekulis. Nii on polümeeride sünteesiks sobivad kahealuselised happed, mille üldine valem on HOOC-R-COOH, kaheaatomilised alkoholid HO-R-OH, kahealuselised amiinid H₂N-R-NH₂ jne. Kõigis neis ainetes on olemas kaks funktsionaalset rühma: hapetes karboksüülrühmad - COOH, alkoholides hüdroksüülrühmad - OH ja amiinides amiinorühmad - NH₂. Polümeeride sünteesiks sobivad ka lähteained, mille molekulis on funktsionaalsete rühmade arv suurem kui kaks. Kui lähteaine

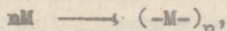
molekulides on funktsioaalseid rühmi kaks, tekivad ainult linearsed polümeerid, funktsionaalsete rühmade suurema arvu puhul võivad aga tekkida ka hargnenud ahelaga ja ruumilise struktuuriga polümeerid.

Kahefunktsionaalsed on ka kaksiksidet sisaldavad ühendid, näiteks etüleen $\text{CH}_2=\text{CH}_2$, vinüülkloriid $\text{CH}_2=\text{CHCl}$, formaldehüüd $\text{CH}_2=\text{O}$ jne. Kaksiksidet sisaldavate monomeeride polümerisatsioonil tekivad peamiselt lineaarse struktuuri-ga polümeerid, kulgevate kõrvalreaktsioonide tõttu võib aga mõnel määral tekkida ka hargnenud ahelaga makromolekule.

Liikuvate vesinikuaatomitega on tegemist bensooli tuumas, kusjuures teatud vesinikuaatomid muutuvad liikuvateks mõne tuumaga seotud funktsionaalse rühma toimel. Sellised reaktsioonivõimelised liiguvad aatomid esinevad näiteks fenoolis ja tema derivaatides. Olenevalt liikuvate vesinikuaatomite arvust molekulis võivad fenoolid olla polükondensatsioonireaktsioonides kas kahe- või kolmefunktsionaalsed.

Polümeeride sünteesi meetoditest on tähtsamad a) ahelpolümerisatsioon, b) polüaditsioon (astmeline polümerisatsioon) ja c) polükondensatsioon.

Ahelpolümerisatsiooni reaktsioonid kulgevad kaksiksidet sisaldavate monomeeridega. Polümerisatsioonil läheb monomeeri kaksikside ühekordseks sidemeks $\begin{array}{c} | & | \\ \text{C}=\text{C} & \longrightarrow & -\text{C}-\text{C}- \\ | & | \end{array}$, kusjuures uute tekkinud sidemete kaudu lähteaine molekulid ühinevad pikkadeks polümeerseteks ahelateks. Üldjuhul see-



kus M - lähtemonomeeri molekul ja polümeerse ahela elementaarli;

n - lähtemolekulide arv ja polümerisatsiooni aste.

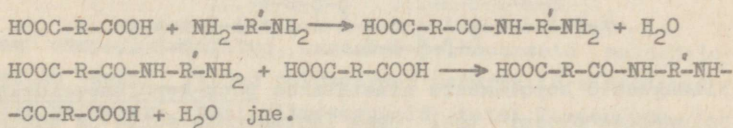
Ahelpolümerisatsioonil on arvukalt variante olenevalt polümerisatsioonireaktsioonide injitseerimise moodusest. Ahelpolümerisatsioon võib kulgeda ka selliste monomeeridega, milles kaksikside ei asetse süsiniku aatomite vahel, vaid süsiniku ja hapniku aatomite vahel, näiteks formaldehüüd $\text{CH}_2=\text{O}$. Ahelpolümerisatsiooni reaktsioonidele on iseloomulik, et polümerisatsioonil ei eraldu madalmolekulaarseid

kõrvalprodukte ning polümeeri elementaarkoostis on praktiliselt samasugune kui lähtemonomeeril. Ahelpolümerisatsiooni teel saadakse suur osa polümeeridest, näiteks polüetüleen, polüstürool, polüvinüülkloriid, polüformaldehüüd jt.

Polüaditsiooni (astmelise polümerisatsiooni) reaktsioonid kulgevad selliste funktsionaalsete rühmade vahel, millest ühtedel on liikuvad vesinikuaatomid. Liikuv vesiniku aatom on näiteks alkoholide hüdroksüülrühmades. Polümeersete ahelate moodustumine toimub vesiniku migratsiooni (liikumise) teel ühe monomeeri juurest teise juurde. Reaktsioonide kulg selgub järgmisest näitest: $\text{HO-R-OH} + \text{O=C-N-R-N=C=O} + \text{HO-R-OH} \longrightarrow \text{HO-R-O-C-NH-R-NH-C-O-R-OH}$

Toodud näites toimub polüaditsioon diisotsüanaatide (O=C=N-R-N=C=O) ja kaheaatomiliste alkoholide vahel, kusjuures reaktsiooni produktina saadakse polüuretaan. Ahela otstesse jäänud hüdroksüülrühmad reageerivad uute diisotsüanaatide molekulidega, viimased omakorda uute alkoholi molekulidega. Sellise järkjärgulise liitumise teel moodustuvad pikad ahelataolised makromolekulid. Nagu ahelpolümerisatsioonil, ei toimu ka siin kõrvalproduktide eraldumist.

Polükondensatsiooni reaktsioonid kulgevad funktsionaalsete rühmade kaudu. Funktsionaalse rühma aset võivad täita ka fenoolide tuuma liikuvad vesinikuaatomid. Polükondensatsiooni reaktsioonides eraldub alati mingi madalmolekulaarne aine, nagu vesi, ammoniaak, vesinikkloriid jt. Makromolekulaarne ahel kasvab järk-järgult uute lähteainete molekulide liitumise teel kasvavale ahelale, kusjuures iga elementaarreaktsiooniga eraldub uus molekul madalmolekulaarset ainet. Näitena võib tuua nailonitüüpi polüamiidi moodustumise kahealuselise happe ja diamiini vahelisel polükondensatsiooni reaktsioonil:



7. Sünteetiliste polümeeride toorainebaas

Sünteetiliste polümeeride põhilisteks tooraineteks on nafta, maagaas ja tahked kütused. Nafta töötlemisel mootorikütusteks ja teisteks produktideks tekib rohkesti gaase, mis sisaldavad teiste komponentide kõrval ka küllastumata süsivesinikke - etüleen, propüleen, butüleen jt. Viimased ongi paljude ahelpolümerisatsiooni teel saadavate polümeeride lähteaineks. Käesoleval ajal saadakse põhiline osa monomeeridest just naftatööstuse baasil.

Maagaas ei sisalda esialgselt polümeeride sünteesiks sobivaid aineid - küllastumata süsivesinikke. Maagaasi termilisel töötlemisel tekib aga rohkesti etüleen, propüleen ja teisi küllastumata ühendeid, mis pärast eraldamist ja puhastamist on sobivad polümeeride sünteesiks.

Tahkete kütuste - kivisöe, pruunsöe ja põlevkivi termilisel lagunemisel tekivad gaasid sisaldavad samuti küllastumata süsivesinikke, mida saab kasutada polümeeride sünteesiks. Peale gaasiliste ainete saadakse tahkete kütuste termilisel lagunemisel ka mõningaid vedelprodukte, millest otseselt või täiendava eeltöötuse abil on võimalik saada polümeerseid materjale. Tahkete kütuste termilisel lagunemisel saadavatest vedelproduktidest on polümeeride sünteesi seisukohalt suure tähtsusega fenoolid.

Nõukogude Liidus on nafta ja maagaasi ning tahkete kütuste varud väga suured, mistõttu praktiliselt on meil polümeeride tootmise toorainebaas ammendamatu.

8. Polümeersetes materjalides kasutatavad komponendid

Nagu eespool märgitud, saadakse polümeerseid materjale polümeeride baasil. Paljud polümeerseid materjalid sisaldavad aga peale polümeeri veel mitmesuguseid teisi komponente. Niisugustest komponentidest on tähtsamad täiteained, plastifikaatorid, stabilisaatorid, värv- ja määrdeained jt.

Täiteained suurendavad materjali mehaanilist vastupidavust, kõvadust ja kuumuskindlust ning vähendavad materjali maksumust. Täiteainetena kasutatakse nii orgaanilise kui ka anorgaanilise päritoluga aineid. Orgaanilistest ainetest on tähtsamad puidujahu, sulfittselluloos, puuvillane riie ja paber. Anorgaanilistest täiteaineist on levinud asbest, vilgukivi, kvartslüüv, klaaskiud ja -riie. Täiteaine hulk võib olla materjalis mitmesugune, ulatudes 50-60 protsendini.

Plastifikaatorid suurendavad polümeersete materjalide painduvust, elastsust, venivust ja voolavust, kergendavad nende töötlemist ning tõstavad külmakindlust. Plastifikaatoritena kasutatakse kõrge keemistemperatuuri ja vähese lenduvusega vedelikke. Väga levinud plastifikaatoriteks on mitmesugused estrid (dibutüülftalaat, trikresüülfosfaat jt.). Plastifikaatoriteks on ka mõned madalmolekulaarsed polüestrid. Peale estrite kasutatakse polümeeride plastifitseerimiseks mitmeid teisi keemilisi ühendeid. Plastifikaatori hulk materjalis võib kõikuda suures ulatuses ja ulatuda isegi 50-60 protsendini.

Stabilisaatorite ülesandeks on suurendada polümeeride termilist stabiilsust ja vähendada vananemisprotsesside mõju polümeerile. Stabilisaatoritena kasutatakse väga mitmesuguseid aineid, mida lisatakse väikeses koguses (kuni 1%).

Määrdeained kergendavad materjalide töötlemist detailideks.

Värvainete funktsioon ei vaja täiendavat selgitamist.

Paljudel juhtudel kasutatakse polümeere ka lisakomponentideta.

9. Plastmasside põhilised tehnilised omadused

Plastmassid on sünteetiliste polümeersete materjalide hulgas praegu kõige suurema tähtsuse ja tootismahuga. Plastmassideks nimetatakse tahkeid vastupidavaid ja elastseid materjale, mida saadakse polümeeride baasil. See definitsioon

ei ole aga ammendav, sest plastmasside omadused võivad suures ulatuses varieeruda. Enamasti sisaldavad plastmassid mitmesuguseid täiendkomponente, kuid võivad koosneda ka puhtal kujul polümeerist.

Keemiatööstus toodab käesoleval ajal laialdases sortimendis ja erinevate omadustega plastmasse. Mõned omadused on aga iseloomulikud enamikule plastmassidest. Järgnevas on antud lühike ülevaade plastmasside üldistest omadustest.

Kõikidel plastmassidel on suhteliselt madal erikaal, mis tavaliselt kõigub 0,9-2,2 piirides. Plastmassid on seega keskmiselt 2 korda kergemad alumiiniumist ning 5-8 korda kergemad terasest, vasest ja teistest värvilistest metallidest. Eriti kerged on vaht- ja poorplastmassid, mille mahukaal võib olla näiteks kuni 20 kg/m^3 .

Enamik plastmasse on hea keemilise püsivusega. Dielektrikutena ei allu nad üldse elektrokeemilisele korrosioonile. Paljud neist on vastupidavad hapete, leeliste, soolalahuste ja orgaaniliste lahustite toimele, mõned polümeerid aga lahustuvad isegi vees. Samal ajal ei tarvitse sellised polümeerid lahustuda orgaanilistes lahustites.

Plastmassid on üldiselt heade dielektriliste omadustega nii alalis- kui ka vahelduvvoolu tingimustes. Mitmed neist on praegu parimateks kõrgsagedus-dielektrikuteks (polüstürool, polüetüleen, fluorplast-4 jt.). Seetõttu kasutatakse neid materjale rohkesti raadioside-, televisiooni- ja raadiolokatsioonitehnikas. Viimastel aastatel on loodud ka selliseid polümeere, mis kujutavad endast pooljuhtmaterjale või millel on magnetilised omadused. Polümeeride dielektrilised omadused (eritakistus ja läbilöögipinged) olenevad suurel määral polümeeris sisalduvatest madalmolekulaarsetest lisanditest ja niiskusest, mis tugevas elektriväljas võivad anda laenguid kandvaid ioone ning seega vähendada nii eritakistust kui ka läbilöögipinget. Polümeeride elektriline läbitavus ja dielektriliste kadude suurus olenevad polümeeris sisalduvatest polaarsetest funktsionaalsetest rühmadest. Mida polaarsemad on need funktsionaalsed rühmad ja mida suurem on nende sisaldus, seda suurem on dielektriline läbitavus ning

seada suuremad on dielektrilised kaod polümeeris. Dielektriliste kadude suurust dielektrikus, s.o. dielektrikus soojuseks muutuvat elektrienergiat iseloomustab kaonurga tangens.

Mehaaniliste omaduste poolest on plastmassid küll väga erinevad, kuid enamik neist on heade mehaaniliste omadustega. Eriti suur on plastmasside kaaluline tugevus, (materjali tõmbetugevuse suhe erikaalusse), mis näiteks klaasplastidel võib olla suurem kui heal konstruktsiooniterasel. Mõnedel plastmassidel on suur kulumiskindlus, millega polüamiidide puhul kaasneb veel väike hõõrdekoefitsient.

Polümeeride mehaanilistest omadustest on tähtsamad tõmbe-, painde-, surve- ja löögitugevus ning kõvadus. Tõmbe-, painde- ja survetugevus iseloomustavad materjali vastupidavust staatilisele koormusele ning näitavad, kui suurt jõudu on vaja katsekeha ristlõike ühiku kohta rakendada, et materjal puruneks. Löögitugevus iseloomustab materjali vastupidavust dünaamilisele koormusele ning näitab töö hulka, mida on vaja kulutada katsekeha ristlõike ühiku kohta kuni materjali purunemiseni. Kõvadus Brinelli järgi näitab jõu suurust, mida tuleb rakendada, et suruda standardne teraskuulike kindlatel tingimustel materjalisse teatud sügavusele.

Väikese soojusjuhtivuse tõttu kujutavad kõik plastmassid endast isolatsioonimaterjale. Nende soojusjuhtivuse koefitsient on harilikult $\lambda = 0,3-0,4 \text{ kcal/m}^{\circ}\text{C.h}$. Eriti heade isolatsiooniomadustega on vaht- ja poorplastmassid.

Paljud polümeerid on väga hea adhesiooniga teiste materjalide suhtes ning on seetõttu sünteetiliste liimide põhikomponendiks. Polümeeride adhesioon oleneb polaarsete funktsionaalsete rühmade sisaldusest. Mida suurem on polaar- sus, seda suurem on ka polümeeri adhesioon.

Plastmasside põhilisteks puudusteks on nende suhteliselt madal kuumuskindlus ja vananemine. Enamiku plastmasside kuumuskindlus ei ületa $100-120^{\circ}$. On aga ka plastmasse, mille kuumuskindlus on märksa suurem, ulatudes 250 kraadini ja rohkemgi. Kuumuskindluse suhtes on parimateks plastmassideks fluorplastid ning räniorgaanilised ja metallorgaanilised plastmassid. Polümeeride vananemine seisneb mitmesuguste atmosfää-

ritegurite toimes, mille tagajärjel mehaaniline vastupidavus ja keemiline püsivus vähenevad ning dielektrilised omadused halvenevad. Ekspluateerimisel alluvad plastmassid õhuhapniku, ultraviolettkiirguse, soojuste ja niiskuse toimetele. Kõik need tegurid põhjustavad polümeeride keemilise koostise või struktuuri muutumist, millega kaasneb omaduste halvenemine. Sellist nähtust nimetataksegi polümeeride vananemiseks. Plastifitseeritud plastmasside puhul põhjustab plastmassi omaduste halvenemist ka plastifikaatori aeglane eraldumine, mille tagajärjel materjal muutub jäigemaks ja hapramaks.

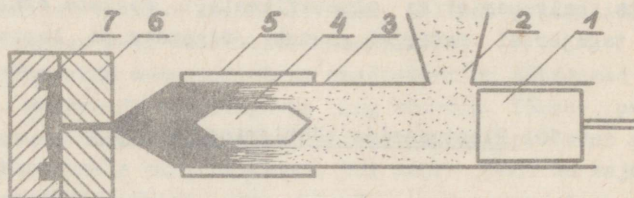
10. Plastmasside töötlemise meetodid

Plastmasside töötlemisel kasutatakse mitmeid spetsiaalseid meetodeid, aga ka teiste materjalide töötlemise tehnoloogias tuntud meetodeid. Töötlemismeetodi valik oleneb peamiselt plastmassi omadustest ning soovitava toote kujust. Oluline on ka see, kas töödeldav materjal on termoplastiline või termoreaktiivne. Kuigi plastmasside töötlemise meetodeid ja nende variante on üsna palju, töödeldakse põhiline osa plastmasse siiski pressimise, survevalu, ekstrusiooni ja vaakuumvormimise teel.

Termoreaktiivsete plastmasside töötlemine detailideks toimub enamikel juhtudel kuumpressimisel. Käesoleval ajal kasutatakse harilikult hüdraulilisi presse. Termoreaktiivne materjal läheb pressimisele peeneteralisel kujul - presspulbrina. Pressimisel kasutatav vorm koosneb kahest pooldest - matritsist ja templist. Pressvorm kuumutatakse elektriga vajaliku temperatuurini, täidetakse presspulbriga, suletakse ja hoitakse teatud aeg pressi surve all. Kõrgendatud temperatuuril termoreaktiivne materjal kõveneb ning pressitud detail omandab stabiilse kuju, mis pärast pressvormi avamist ja detaili väljavõtmist enam ei muutu. Tavaliselt presspulber eelnevalt tableteeritakse, et suurendada presside tootlikkust. Sel juhul ei asetata pressmaterjal pressvormi enam pulbri, vaid tableti kujul. Peale hariliku pressimise

kasutatakse valupressimist: voolavas olekusse viidud pressmaterjal surutakse pressvormi läbi spetsiaalse valukanali.

Survevalu on termoplastiliste plastmasside töötlemisel laialdaselt kasutatav meetod. Survevalumasina põhimõtteline skeem on toodud joonisel 5.

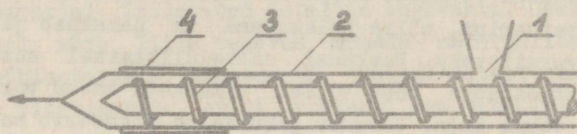


Joon. 5. Survevalumasina skeem:

- | | |
|-------------------|----------------------|
| 1 - plunžer, | 5 - kuumutuselement, |
| 2 - laadimiskarp, | 6 - valuvorm, |
| 3 - silinder, | 7 - toodetav ese. |
| 4 - torpeedo, | |

Termoplastiline materjal läheb töötlemisele harilikult granuleeritud kujul, harvemini pulbrina. Tööeldav materjal antakse laadimiskarbi kaudu dosaatorseadme abil masina silindrisse. Plunžer tõukab materjali silindri esimesse ossa, kus ta kuumeneb ja läheb üle voolavas olekusse. Uue materjalikoguse survele surutakse sula polümeer läbi peene valukanali valuvormi, mis koosneb kahest poolest. Valuvormi avamine ja sulgemine on sünkroniseeritud plunžeri liikumisega. Pärast valuvormi jahutamist veega vorm avatakse ja valmisdetail tõugatakse vormist välja. Moodsad survevalumasinad on täielikult automatiseeritud. Detaili valmimise tsükkel kestab mõnikümmend sekundit. Survevalumeetodil töödeldakse rohkesti selliseid termoplastilisi polümeere, nagu polüstürool, polüamiidid, polüetüleen jt.

Ekstrusioon, mida nimetatakse ka pritsmeetodiks, on teine laialdaselt kasutatav termoplastiliste materjalide töötlemise meetod. Ekstruuderi põhimõtteline skeem on esitatud joonisel 6.

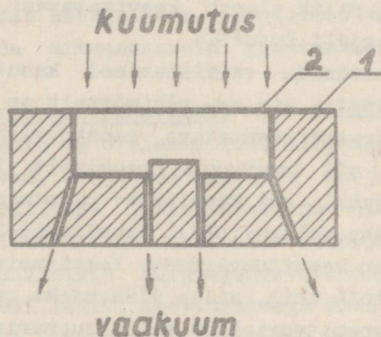


Joon. 6. Ekstruuderi skeem;

- | | |
|-------------------|----------------------|
| 1 - laadimiskarp, | 3 - tiguvõll, |
| 2 - silinder, | 4 - kuumutuselement. |

Laadimiskambrisse antakse termoplastiline materjal harilikult granuleeritud kujul. Tiguvõll surub silindrisse sattunud materjali silindri esimesse ossa, kus ta kuumeneb ja läheb üle voolavasse olekusse. Uue materjalikoguse survega surutakse voolav plastmass läbi teatud kujuga suulise, milles ta omandab soovitud kuju. Suulisest väljumisel toodet jahutatakse. Ekstrusiooni teel saadakse torusid, voolikuid, vardaid, mitmesuguseid profiiltooteid, lehti, kilet jms. Saadava toote kuju oleneb suulise konstruktsioonist.

Vaakuumvormimisel, millel on rohkesti variante, töödeldakse lehekujulisi termoplastilisi materjale. Vaakuumvormimise põhimõte on toodud joonisel 7.



Joon. 7.

Vaakuumvormimise skeem:

- | |
|--------------------|
| 1 - vorm, |
| 2 - vormitav leht. |

Termoplastilise materjali leht kinnitatakse vastava kinnitusseadmega vormile. Seejärel kuumutatakse lehte vajaliku temperatuurini, mille tulemusena ta pehmeneb ja muutub kergesti vormitavaks. Vaakuumi sisselülitamisel surutakse materjal atmosfääri rõhu toimele tihedasti vastu vormi ja leht võtab vormi kuju. Järgnev jahutamine fikseerib selle, mistõttu detail pärast vormist väljavõtmist enam ei muutu. Vaakuumvormimist ja selle mitmesuguseid variante kasutatakse tavaliselt suuregabariidiliste toodete saamiseks.

Peale nimetatud põhimeetodite rakendatakse plastmasside töötlemisel veel mitmesuguseid spetsiaalmeetodeid, nagu tsentrifugaalvalu, väljapuhumist jt. Enamiku plastmasside puhul on kasutatavad ka metallide ja puidu tehnoloogias tuntud lõiketöötlemise meetodid ning tööpingid, töötlemisrežiimeid ja lõikeinstrumendid on aga teataval määral erinevad.

11. Plastmasside keevitamine

Plastmassist detailide omavahelisel ühendamisel ja plastmasskonstruktsioonide valmistamisel kasutatakse laialdaselt keevitamist. Keevitamine on muidugi mõeldav ainult termoplastiliste plastmasside puhul. Kasutatavatest keevitusmeetoditest on tähtsamad gaaskeevitus, kontaktkeevitus, kõrgsageduskeevitus ja ultrahelikeevitus. Mõnel meetodil on veel mitu varianti. Sobiva meetodi valik oleneb keevitatavast plastmassist ning toote või materjali kujust.

Plastmasskonstruktsioonide valmistamisel kasutatakse kõige rohkem gaaskeevitust, mis oma põhimõttelt on analoogiline metallide tehnoloogias kasutatava gaaskeevitusega. Kuumutusgaasiks on õhk või inertgaas (peamiselt lämmastik). Inertgaas on vajalik juhul, kui keevitatav plastmass oksüdeerub kergesti (näiteks polüamiidid). Keevitamisel kasutatakse samast materjalist keevitusvarrast. Keevitamine toimub spetsiaalse keevituspüstoli abil, mille ülesandeks on gaasi kuumutamine vajaliku temperatuurini ja selle suunamine peene joana keevisõmblusele. Kuuma gaasi toimele ühendatavate detai-

lide liitepinnad ja keevitusvarras sulavad, mille tulemusena viimane täidab keevisõmbluse. Jahtumisel ühendab keevitusvarda materjal liidetavad detailid tugevasti. Oskuslikul keevitamisel võib liite tugevus mõnede materjalide puhul ulatuda põhimaterjali tugevuseni. Gaaskeevitust kasutatakse paljude plastmasside, eriti rohkesti aga vinüülplasti ja polüetüleeni puhul.

Kontaktkeevitust kasutatakse enamasti õhukeste lehtede, kiled, torude ja varraste keevitamisel. Kontaktkeevituse puhul asetatakse ühendatavad lehed või kiled keevitusseadme kuumutuskontaktide vahele, mis ühtlasi avaldavad liidetavatele pindadele teatud survet. Et kontaktid ei kleepuks keevitatava materjali külge, kaetakse nad mõne kuumuskindla plastmassidega mittekleepuva ainega, näiteks silikoonkautšukiga. Kontakte kuumutatakse tavaliselt elektriküttemähistega. Keevituskontaktide kohalt plastmass sulab ja liidetavad õhukesed lehed või kiled ühendatakse tugeva keevisõmblusega. Torude ja varraste ühendamisel kasutatakse kontaktkeevituse teist varianti. Sel juhul asetatakse ühendatavate toruotsade vahele sobiv metallist kuumutusinstrument, millest eralduva soojuse toimel toruotsad muutuvad pehmeks ja sulavad. Kui toruotsad on muutunud parajal määral sulaks, tõmmatakse kuumutusinstrument kiiresti toruotsade vahelt välja ja toruotsad surutakse kokku. Liidetavaid detaile hoitakse surve all kuni nende täieliku jahtumiseni. Et toruotsad on sulad, toimub surve all nende ühinemine ja moodustub vastupidav keevisliide. Kontaktkeevituse abil on võimalik keevitada mitmesuguseid plastmasse, sealhulgas isegi fluorplast-4.

Kõrgsageduskeevitust on võimalik kasutada seetõttu, et plastmassid on dielektrikud. Kõrgsagedusväljas dielektrikud kuumenevad, kusjuures eralduva soojuse hulk oleneb materjali dielektrilisest läbitavusest ja dielektriliste kadude suurusel. Elektrodide vahel olev materjal kuumeneb kõrgsagedusväljas ühtlaselt. Kõrgsagedusvooludega keevitatakse kilesid ja õhukesti lehti. Keevitamise ühendatavad kiled või lehed surutakse vastavate rullikute või pressi vahel kokku. Kõrg-

sageduskeevituse eeliseks on keevituse suur kiirus. Väga väikeste dielektriliste kadudega materjalide puhul (polüetüleen, polüstürool) ei ole see meetod otseselt kasutatav. Kui aga nendest materjalidest kiled asetada suuremate dielektriliste kadudega ja kõrgema sulamistemperatuuriga materjalist kilede vahele, on ka antud juhul võimalik kasutada kontaktkeevitust.

Ultraheliga on võimalik keevitada paljusid plastmasse (vinüülplast, polüetüleen, polüamiidid, orgaaniline klaas jt.). Ultrahelikeevituse põhiolemus on selles, et suure sagedusega mehaaniliste võnkumiste tagajärjel tekib materjalis kõrge temperatuur, plastmass pehmeneb, muutub osaliselt sulaks ja keevitatavad pinnad liituvad. Liitumine toimub muidugi teatud surve all.

Nimetatud keevitusmeetodite kõrval kasutatakse ka mõningaid teisi spetsiaalseid meetodeid.

II. SÜSINIKAHÉLPOLÜMEERID

1. Polüetüleen - $\left[-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\right]_x$

Polümerisatsiooni teel saadavatest plastmassidest toodetakse praegu kõige rohkem polüetüleeni, mille maailmatoodang on kaugelt üle miljoni tonni aastas. Polüetüleeni sünteesil lähtutakse gaasilisest aineist etüleenist $\text{CH}_2=\text{CH}_2$.

Tootmismeetodist olenevalt tuntakse kahte liiki polüetüleeni: kõrgrõhu- ja madalrõhupolüetüleeni, kusjuures nende omadused on mõningal määral erinevad. Polüetüleen on termoplastiline polümeer, mida iseloomustavad põhiliselt lineaarse struktuuriga makromolekulid. Välimuse poolest on ta valge vahataoline materjal, kuid on vahast palju suurema kõvadusega.

Keemiliste omaduste poolest on polüetüleen püsiv enamike agressiivsete ainete ja lahustite suhtes. Hapetest mõjuvad talle ainult kõrge kontsentratsiooniga lämmastikhape ja oleum (vaba SO_3 sisaldav väävelhape). Leeliste suhtes on ta püsiv. Toatemperatuuril polüetüleen orgaanilistes lahustites ei lahustu. Üle $70-80^\circ$ temperatuuridel lahustub ta aromaatsetes süsivesinikes (bensool, toluool) ja süsivesinike klooriderivaatides. Ta allub suhteliselt kergesti vananemisele, eriti kilena, mille tõttu muutub jäigaks ja hapraks. Polüetüleeni atmosfäärikindlust tõstab tunduval määral kuni 2 protsendi peendisperseesse gaasitahma lisamine.

Mehaanilistelt omadustelt ei ole polüetüleen silmatorkav materjal. Tal on ainult hea löögitugevus, kuna tõmbetugevus on väiksem kui paljudel teistel plastmassidel. Temperatuuri tõstmisel polüetüleeni mehaaniline tugevus langeb.

Dielektriliste omaduste poolest on polüetüleen väga hea materjal. Väikese polaarsuse tõttu on dielektrilised kaod polüetüleenis väikesed ning kaonurga tangens oleneb temperatuurist ja välja sagedusest vähe.

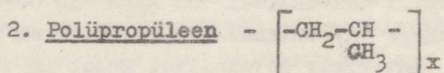
Polüetüleeni tähtsamad omadused on esitatud alljärgnevas tabelis:

Näitajad	Madalrõhu- polüetüleen	Kõrgrõhu- polüetüleen
Tihedus, g/cm ³	0,94-0,96	0,92-0,93
Tõmbetugevus, kg/cm ²	220-450	120-170
Löögitugevus	ei purune katsetamisel	
Sulamistemperatuur, °C	120-139	108-110
Külmakindlus	alla -70°	
Dielektriline läbitavus	2,1-2,4	2,2-2,3
Kaonurga tangens	$2 \cdot 10^{-4}$ - $1 \cdot 10^{-3}$	$2 \cdot 10^{-4}$ - $4 \cdot 10^{-4}$
Läbilöögiping, kV/mm	45-60	45-60

60-75% polüetüleenist töödeldakse ekstrusiooni teel torudeks, voolikuteks, lehtedeks ja kileks. Ligikaudu 25% töödeldakse survevalu teel. Polüetüleeni töödeldakse ka vaakuumvormimisel. Spetsiaalseid meetodeid kasutatakse polüetüleenist õnesesemete tootmiseks (pudelid, kanistrid jne.). Polüetüleen on hästi keevitatav nii kontakt- kui ka gaaskeevitamisel. Tema värvimiseks saab kasutada nii orgaanilisi värvaineid kui ka anorgaanilisi pigmente. Polüetüleeni on praktiliselt raske liimida. Liimimine nõuab eriliste võtete kasutamist, mis seisnevad polüetüleeni pinna eelnevas töötlemises keemilise struktuuri muutmise eesmärgil. Liimimist kasutatakse vaid erakordsetel juhtudel.

Polüetüleeni kasutatakse väga mitmesugustes rahvamajandusharudes ja ka laiatarbekaubana. Suur tähtsus on tal elekt-

rotehnilise materjalina, eriti kõrgsagedustehnikas. Elektrotehnikas kasutatakse polüetüleenini peamiselt kaablite ja juhtmete isoleermaterjalina, madalrõhupolüetüleenini kui mehaaniliselt tugevamat ka konstruktsioonilise materjalina. Ehituse alal valmistatakse polüetüleenist torustikke ja mõningaid ehitusdetalle, teda kasutatakse ventilatsiooniseadmetes ja hüdroisolatsioonimaterjalina (kiledena). Keemiatööstuses kasutatakse polüetüleenitorusid agressiivsete vedelike transportimiseks, polüetüleeniga kaetakse mahuteid ja seadmeid, mis ei allu liiga kõrge temperatuuri mõjule. Korrosiivses keskkonnas töötavate seadmete katmiseks polüetüleeniga kasutatakse sageli gaasileekpihustust. Selle meetodi järgi pihustatakse pulbrikujuline polüetüleen kaetavale pinnale läbi gaasileegi spetsiaalse püstoli abil. Leegi läbimisel polüetüleen sulab ja, paiskudes küllaldase kiirusega vastu kaetavat pinda, kinnitub sellele. Põllumajanduses on polüetüleenini kasutatud silohoidlate valmistamisel, kasvuhoonetes ja lavades klaasi asemel, veehoidlate vooderdamiseks, et takistada vee imbumist pinnasesse jne.

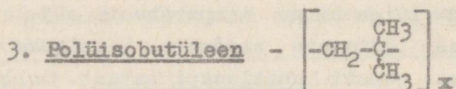


Polüpropüleenini toodetakse 1957. aastast alates. Kuigi tema tootmismahut on polüetüleeniniga võrreldes palju väiksem, kasvab see aastast aastasse kiiresti. Polüpropüleenini sünteesil on lähteaineks gaasiline küllastumata süsivesinik propüleen $\text{CH}_2=\text{CH}-\text{CH}_3$.

Polüpropüleenini omadused on üldiselt lähedased polüetüleenini omadustele. Polüpropüleen on veidi kergem (erikaal 20°C temperatuuril 0,90-0,91) ja suurema kuumuskindlusega. Ta sulab alles $165-170^\circ$ temperatuuril. Temast valmistatud detailid säilitavad oma kuju kuni 150 kraadini. Mehaaniliselt on polüpropüleen polüetüleenist tugevam ja on seetõttu kasutatav ka konstruktsioonilise materjalina masinaehituses. Keemilised ja dielektrilised omadused on analoogilised

polüetüleeniga. Töödeldakse samadel meetoditel, kuid kõrgema sulamistemperatuuri tõttu kõrgematel temperatuuridel. Polüpropüleeni kasutatakse üldiselt samal otstarbel kui polüetüleeni. Suurem mehaaniline tugevus ja kuumuskindlus võimaldavad temast valmistada mitmesuguseid detaile ja armatuuriosasid. Polüpropüleenist saadakse sünteetilist kiudainet.

Kasutatakse ka etüleeni ja propüleeni kopolümeere.



Polüisobutüleeni saamisel lähtutakse küllastumata gaasilisest süsivesinikust - isobutüleenist $\text{CH}_2=\text{C}(\text{CH}_3)_2$. Nagu eespool vaadeldud polüolefiine, nii saadakse ka polüisobutüleeni ahelapolümerisatsioonil.

Tehniliselt kasutatava polüisobutüleeni omadused olenevad tema molekulkaalust. Suhteliselt madalmolekulaarne polüisobutüleen, mille molekulkaal on alla 50 000, on viskoosne vedelik, kõrgema molekulkaaluga polümeer on aga pehme kautsukitaoline materjal. Naturaalsel kujul on ta välimuselt valkjashall materjal.

Polüisobutüleen on püsiv hapete ja leeliste suhtes, kaasa arvatud lämmastikhape. Kõrgemal temperatuuridel mõjuvad kõrge kontsentratsiooniga oksüdeerivad happed talle siiski lagundavalt. Orgaanilistes lahustites lahustub polüisobutüleen palju paremini kui ülalnimetatud polüolefiinid. Ta lahustub juba toatemperatuuril aromaatsetes süsivesinikes ja nende klooriderivaatides, väävelsüsinikus jt. Polaarsetes lahustites, näiteks etanoolis ja atsetoonis, ta ei lahustu, vaid pundub. Vastupidavus hapniku oksüdeerivale toimele on polüisobutüleenil parem kui polüetüleenil, kuid aja jooksul ta siiski laguneb, eriti ultraviolettkiirguse ja hapniku koostoimel. Stabiilsuse suurendamiseks kasutatakse aktiivseid täiteaineid (tahm, grafiit, talk).

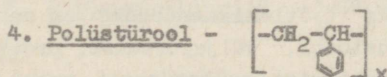
Pehme kautšukitaolise materjalina ei ole polüisobutüleen mehaaniliselt kuigi tugev, on aga hea venivusega. Et polüisobutüleen ei ole polaarne, on ta heade dielektriliste omadustega.

Polüisobutüleeni põhilisi omadusi iseloomustavad järgmised andmed:

tihedus, g/cm ³	-	0,91-0,93,
tõmbetugevus, kg/cm ²	-	20-60,
pikenedmine tõmbel, %	-	üle 1000,
dielektriline läbitavus		2,3,
läbilöögipingeline kV/mm	-	23-25,
kaonurga tangens	-	4.10 ⁻⁴ - 8.10 ⁻⁴

Polüisobutüleen on oma omadustelt lähedane kummile, seepärast kasutatakse tema töötlemisel harilikke kummitööstuse seadmeid ja meetodeid. Temast valmistatakse kalandree-rimise teel lehti ja killet, ekstrusiooni teel voolikuid, linti ja profiiltooteid. Polüisobutüleeni tähtsamaks kasutus-alaks on keemiatööstus. Hea korrosioonivastase materjalina kasutatakse teda mitmesuguste agressiivses keskkonnas töötavate seadmete katmiseks lehtede, kile või lakina. Koos sobiva täiteainega on ta keemiatööstuses hinnatav tihendusmaterjal. Elektrotehnikas on polüisobutüleen tuntud isolatsioonimaterjalina, enamasti segus polüetüleeniga. Sellist mehaanilist segu nimetatakse kaablipolüetüleeniks. Ehitusel kasutatakse polüisobutüleeni hüdroisolatsioonina. Ta on ka mitmete liikkompositsioonide koostisosaks. Madalmolekulaarse polüisobutüleeni (molekulkaal 15 000-25 000) lisamine määrdeõlile parandab nende viskoossust.

Isobutüleeni kopolümeer butadieeniga on vulkaniseeritav ja seda kasutatakse kautšukina butüülkautšuki nime all.



Polüstürool oli üks esimesi polümeerisatsiooniteel saadavaid plastmasse ja on käesoleval ajal toodangumahu po-

lest seda liiki plastmasside hulgas polüetüleeni ja polüvinüülkloriidi järel kolmandal kohal. Monomeer stürool on seismisel kergesti polümeriseeruv vedelik.

Saamismeetodist olenevalt tuntakse polüstürooli plokk- ja emulsioonpolüstürooli nime all. Plokkpolüstürool ei sisalda elektrolüüte ja on suure puhtuse tõttu paremate dielektriliste omadustega. Polüstürool on termoplastiline materjal, mis, välimuselt on värvitu ja läbipaistev. Ta on hästi värvitav kõikidesse värvitoonidesse. Polüstürool on suhteliselt madala kuumuskindlusega, sest üle 80° temperatuuridel hakkab ta pehmenema ja läheb hiljem üle plastilise olekusse.

Hapete ja aluste suhtes on polüstürool vastupidav, sealhulgas ka fluorvesinikhappele. Ta on väga hea niiskuskindlusega ega ima praktiliselt endasse vett. Lahustub kergesti paljudes orgaanilistes lahustites, nagu aromaatsetes süsi- vesinikes, mitmetes estrites jt., ei lahustu aga bensiniis ja alkoholides.

Mehaaniliste omaduste poolest on polüstürool toatemperatuuril jäik ja habras materjal, keskpärase tõmbe- ja paindetugevusega ning väikese löögitugevusega.

Polüstürool on suurepärase dielektriliste omadustega. Kõrgsagedustehnika seisukohalt tähtsad näitajad - dielektriline läbitavus ja kaonurga tangens - on väikesed ning olenevad sagedusest ja temperatuurist väga vähe. Polüstürooli tähtsamaid omadusi iseloomustavad järgmised andmed:

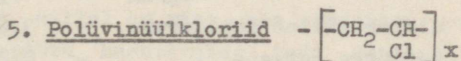
tiheus, g/cm ³	-	1,05.
tõmbetugevus, kg/cm ²	-	300-500,
paindetugevus, kg/cm ²	-	400-800,
löögitugevus, kg.cm/cm ²	-	5-15,
dielektriline läbitavus	-	2,2-2,8,
kaonurga tangens	-	4,5.10 ⁻⁴ .

Põhiliseks töötlemismeetodiks on survevalu. Kasutatakse ka ekstrusiooni, väljapuhumist, pressimist ja vaakuumvormimist. Keevitamist polüstürooli puhul ei kasutata. Polüstürooli on võimalik liimida polümeerist ja diklooretaanist

valmistatud liimiga. Et diklooretaan on mürgine, on polüstürooli liimimiseks soovitatav kasutada liimi, mis sisaldab 90% butüülatsetaati, 4% toluooli ja 6% polüstürooli. Polüstürooli kõige tähtsamaks kasutusalaaks on kõrgsageduselektrotehnika, kus teda kasutatakse raadiotehniliste detailide valmistamiseks, kaablite isolatsiooniks, kõrgsageduskondensaatorites kilena jne. Ehituses kasutatakse polüstürooli seinakatteplaatidena vannitubades ja sanitaarsõlmedes. Plaadid liimitakse seintele vastava mastiksi abil. Polüstüroolist valmistatakse spetsiaalseid laboratooriuminõusid ja ka laiatarbekaupu. Peale nimetatute on polüstüroolil veel teisi vähema tähtsusega kasutusalasid.

Polüstüroolist valmistatakse ka kõva ja pehmet vahtplastmassi. Viimast nimetatakse stüroporiks. Vahtplastmasse kasutatakse soojus- ja heliisolatsioonimaterjalidena mõõdukatel temperatuuridel, sest polüstürool on vähese kuumuskindlusega.

Suur tähtsus on stürooli kopolümeeril butadieeniga, mis kujutab endast suure kulumiskindlusega sünteetilist kautšukit „CKC“. Järjest suurema tähtsuse omandavad mitmesugused löögikindlad polüstüroolid. Need kujutavad endast samuti stürooli kopolümeere. Näiteks on löögikindel polüstürool „CH“ stürooli ja akrüülnitriili kopolümeer, „MCH“ stürooli, akrüülnitriili ja metüülmetakrülaadi kolmikopolümeer, materjal „CHN“ kopolümeeri „CH“ ja nitriilkautšuki segu jne. Vastupidi harilikule polüstüroolile on löögikindel polüstürool palju suurema löögitugevusega ning teda on hakatud laialdaselt kasutama mitmesuguste majapidamismasinade detailide (külmutuskapid jt.), kraanikausside ja teiste sanitaarsõlme detailide valmistamiseks jne. Löögikindel polüstürool on aga harilikust polüstüroolist mõnevõrra kallim.



Polüvinüülkloriid on käesoleval ajal üks tähtsamaid termoplastilisi polümeere. Teda saadakse gaasilisest ainest

vinüülkloriidist $\text{CH}_2=\text{CHCl}$ ahelpolümeerisatsioonil teel. Naturaalsel kujul on polüvinüülkloriid valge või kollakas pulber, mille erikaal on 1,4.

Polüvinüülkloriid on vastupidav hapetele ja leelistele. Talle mõjuvad vaid kõrge kontsentratsiooniga oksüdeeriva toimega happed, nagu 98-protsendine lämmastikhape, oleum ja fluorvesinikhape. Madalmolekulaarne polüvinüülkloriid lahustub atsetoonis ja mitmes teises lahustis, kõrgema molekulaaruga polüvinüülkloriid lahustub diklooretaanis, kloorbensoolis, dioksaanis jt.

Mehaaniliste omaduste poolest on polüvinüülkloriid vastupidav suure pinnatugevusega polümeer.

Polüvinüülkloriid kui polaarset iseloomuga polümeer ei ole nii heade dielektriliste omadustega kui eespool vaadeldud polümeerid. Tema dielektrilised omadused olenevad nii temperatuurist kui ka välja sagedusest, mistõttu kõrgsagedusdielektrikuks ta ei ole sobiv. Madalsageduste puhul on aga polüvinüülkloriid laialdaselt kasutatav isolatsioonimaterjal mitmesuguste elektrijuhtmete tootmisel.

Polüvinüülkloriidi kasutatakse plastmassina kahel kujul: plastifitseerimata vinüülplastina ja plastifitseeritud plastikaadina.

Vinüülplast kujutab endast kõva jäika sarvetaolist materjali, mis oma omadustelt sarnaneb esialgse polüvinüülkloriidiga. Vinüülplasti toodetakse mitmesuguse paksusega lehtede, varraste ja torudena.

Vinüülplasti tähtsamad omadused on järgmised:

tõmbetugevus, kg/cm^2	-	500-700,
paindetugevus, kg/cm^2	-	800-1200,
löögitugevus, kg.cm/cm^2	-	100-250,
kõvadus Brinelli järgi, $\frac{\text{kg}}{\text{mm}^2}$	-	15-18,
dielektriline läbitavus	-	3,2-3,6,
kaonurga tangens	-	0,04-0,10,
läbilöögipinge, kV/mm	-	15-35.

Vinüülplasti kasutatakse heade mehaaniliste omaduste tõttu rohkesti konstruktsioonilise materjalina agressiivses

keskkonnas töötavate seadmete valmistamisel, keemiatööstuse seadmete ja galvaaniliste vannide katmiseks, akumulaatorpaakide ja separaatorite ning ventiilide ja ventilatsiooniseadmete valmistamiseks jne. Vinüülplastist torusid kasutatakse agressiivsete vedelike transportimiseks ning kanalisatsioonitorustikes. Vinüülplastist konstruktsioonid valmistatakse harilikult gaaskeevituse teel, kusjuures kuumutusgaasina võib kasutada ka õhku. Vinüülplastist lehti on võimalik vormida vaakuumvormimise meetodil. Vinüülplasti liimimiseks on kõige kohasem liim, mida saadakse perkloorvinüüli lahustamisel diklooretaanis. Selle liimi abil saab vinüülplasti ühendada ka metalliga.

Õhukesi lehti ja kilet keevitatakse kontaktkeevituse teel. Plastifitseerimata polüvinüülkloriidist kilet kasutatakse ka toiduainete ja farmatseutiliste preparaatide pakkimisel. Vinüülplastist toodete töötemperatuuri ülempiiriks loetakse 60° , mõnedel juhtudel ainult 40°C .

Et muuta polüvinüülkloriidi painduvamaks ja elastsemaks ning suurendada voolavust, plastifitseeritakse teda töötlemisel. Saadud materjali nimetatakse plastikaadiks. Plastikaat on vinüülplastist mehaaniliselt väiksema tugevusega ja keemiliselt väiksema püsivusega. Ta on aga palju suurema külmakindlusega, mis on eriti oluline plastikaadist kilede puhul. Plastikaati kasutatakse elektrijuhtmete ja kaablite, voolikute, mitmesuguste kilede (vihmamantlid, keebid ja muud laiatarbekaubad), pakkematerjali, linoleumi, dekoratiivseinakatete, tehishaha, pastade ja mitmete muude materjalide valmistamiseks. Plastikaadist tooteid on võimalik värvida paljudesse värvitoonidesse.

Polüvinüülkloriidi baasil valmistatakse vahtplastmassi, mis on suurema kuumuskindlusega kui polüstüroolist vahtplastmass.

Polüvinüülkloriidi täiendaval kloreerimisel saadakse perkloorvinüülvaik, millel on väga hea adhesioon paljude materjalidega. Seetõttu kasutatakse teda sünteetilise liimina. Temast saadakse ka kiudu, mida nimetatakse kloriiniks.

teatud tähtsus on mitmetel vinüülkloriidi kopolümeeridel, näiteks vinüülatsetaadiga, vinülideenkloriidiga jt.

6. Polütetrafluoretüleen ehk $\left[\begin{array}{cc} \text{F} & \text{F} \\ | & | \\ -\text{C} & -\text{C}- \\ | & | \\ \text{F} & \text{F} \end{array} \right]_x$
fluorplast-4 (teflon) -

Fluorplast-4 on suhteliselt uus materjal, mida Nõukogude Liidus toodetakse 1949. aastast alates. Teda saadakse gaasilise aine tetrafluoretüleeni $\text{CF}_2=\text{CF}_2$ polümerisatsioonil.

Fluorplast-4 on välimuselt valge läbipaistmatu ja rasvasena tunduv materjal.

Fluorplast-4 on kõikidest tuntud polümeeridest kõige suurema keemilise püsivusega. Teda ei mõjуста happed ega leelised ning ta ei lahustuorgaanilistes lahustites. Talle mõjuvad ainult sulad leelismetallid ja fluor ning needki alles kõrgematel temperatuuridel. Vesi teda ei märga ja vett ta ei ima.

Fluorplast-4 on väga hea termilise püsivusega ja võib pidevalt töötada kuni 250° temperatuuridel, lühiaegselt ka kõrgematel temperatuuridel. Termiliselt laguneb ta üle 400° temperatuuridel. Kõrgetel temperatuuridel fluorplast-4 ei sula ega lähe üle voolavasse olekusse, vaid ainult pehmeneb.

Mehaaniliste omaduste poolest ei ole fluorplast-4 silmapaistev materjal, välja arvatud suur löögitugevus. Ta on väikese hõõrdekoefitsiendiga ja kulub hõõrdumisel vähe. Toatemperatuuril ta on võrdlemisi pehme ja noaga kergesti lõigatav. Küllalt suure koormuse all iseloomustab teda külmvoolavuse nähtus. Seepärast ei ole temast valmistatud detailidele soovitatav rakendada suuremaid erisurveid kui 30 kg/cm^2 kuni 100° temperatuuridel. Fluorplast-4 säilitab elastsuse ka väga madalatel temperatuuridel ning tema alumiseks töötemperatuuriks loetakse -269°C .

Fluorplast-4 molekulides on fluori aatomid asetatud sümmeetriliselt, mistõttu tema polaarsus on väike ja materjal on väga kõrgete dielektriliste omadustega. Kõrgsagedustehnika seisukohalt on eriti tähtis asjaolu, et tema dielektrilised omadused laias temperatuuride ja sageduste intervallis peaaegu ei muutu.

Fluorplast-4 omadusi iseloomustavad järgmised andmed:

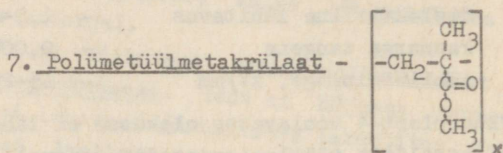
tihedus, g/cm ³	-	2,1-2,3,
tõmbetugevus, kg/cm ²	-	140-315,
paindetugevus, kg/cm ²	-	110-140,
kõvadus Brinelli järgi, kg/mm ²	-	3-4,
dielektriline läbitavus	-	1,9-2,2,
kaonurga tangens	-	0,0002,
läbilöögipinge, kV/mm	-	25-27.

Et fluorplast-4 voolavasse olekusse ei lähe, kasutatakse tema puhul tavaliste töötlemismeetodite asemel spetsiaalseid meetodeid. Enamasti töödeldakse teda mehaaniliselt. Fluorplast-4 turustatakse lehtede ja mitmesuguste toorikutena. Viimased saadakse pulbrist külmpressimise ja sellele järgneva paagutamise teel. Kilet toodetakse silindrikujulistest toorikutest täpsetel treipinkidel spetsiaalse lõiketera abil.

Fluorplast-4 kasutamine põhineb tema suurel keemilisel püsivusel ja väga kõrgetel dielektrilistel omadustel. Keemiatööstuses kasutatakse teda korrosioonikindla katematerjalina, väiksemate detailide valmistamiseks (tihendid, klapid jne.) ja torudena. Side- ja kõrgsagedustehnikas on ta hea isolatsioonimaterjal. Väikese hõõrdumiskoefitsiendi ja vähese kulumise tõttu on temast võimalik valmistada määrimist mittevajavaid laagreid. Mehaanilise tugevuse suurendamiseks täidetakse materjal sel juhul teatud koguse klaaskiu või koksiga. 3. liseid laagreid kasutatakse väiksemate kiiruste korral.

Fluorplast-4 põhiliseks puuduseks on mittevoolavus ja sellest tingitud halb töödeldavus. Neid puudusi ei ole aga fluorplast-4-le lähedasel materjalil fluorplast-3-1. Viimane kujutab endast polümeeri $[-CF_2-CFCl-]_x$, seega polütrifluorklooretüleen. Fluorplast-3 on väiksema keemilise püsivusega. Talle mõjuvad näiteks oleum, sulatatud leelised ja kloorsul-

foonhape kõrgemal temperatuuril. Ka lahustub ta mõnes lahustis. Fluorplast-3 eeliseks fluorplast-4-ga võrreldes on aga üleminek voolavasse olekusse ja töödeldavus termoplastiliste materjalide töötlemise meetoditega. Võrreldes fluorplast-4-ga on ta väiksema kuumuskindlusega, kuid paremate mehaaniliste omadustega. Suurema polaarsuse tõttu on fluorplast-3 dielektrilised omadused halvemad, eriti kõrgete sageduste puhul. Fluorplast-3 peamiseks kasutusala on keemiamasinaehitus, kus teda kasutatakse korrosioonikindla materjalina pumpade, torude, tihendite, laagrite jne. valmistamisel. Kasutatakse ka metallide katmiseks lateksi kujul.



Orgaanilistest klaasidest on tähtsaim polümetüülmetakrülaad, mida tavaliselt tuntaksegi orgaanilise klaasi (ka pleksiklaasi ja lennukiklaasi) nime all. Teda saadakse polümerisatsiooni teel vedelast ainest - metüülmetakrülaadist.

Polümetüülmetakrülaad on värvusetu läbipaistev klaasitaoline termoplastiline polümeer. Ta on püsiv lahjades hapete ja leeliste suhtes ega lahustu bensiinis ja õlides. Orgaanilistest lahustitest lahustavad teda aromaatsed ja kloorisüvesinikud, estrid, äädik- ja sipelghape jmt.

Polümetüülmetakrülaad on plastmasside hulgas erilaadne selle poolest, et tema mehaanilised omadused muutuvad temperatuuri alanemisel väga vähe. Isegi löögitugevus jääb temperatuuride intervallis -183 kuni $+60^\circ$ peaaegu muutumatuks. Tema puuduseks on suhteliselt madal pinnakõvadus. Polümetüülmetakrülaadil väärtuslikuks tehniliseks omaduseks on hea läbipaistvus. Ta laseb päikesevalgust läbi 90-99% ulatuses ning ultravioletvalgust 70-73% ulatuses. Valguse läbilaskvuse suhtes ületab polümetüülmetakrülaad hariliku silikaatklaasi. Üle $100-110^\circ$ temperatuuridel hakkab ta minema pikkamööda elastseks ja hiljem, $180-200^\circ$ puhul, plastili-

seks. Polümetüülmetakrülaad laguneb 260-270° temperatuuridel.

Polümetüülmetakrülaadi tähtsamaid omadusi iseloomustavad järgmised andmed:

tihedus, g/cm ³	- 1,18,
tõmbetugevus, kg/cm ²	- 790-990,
paindetugevus, kg/cm ²	- 800-1'000,
löögitugevus, kg.cm/cm ²	- 15-20,
dielektriline läbitavus	- 3-3,6,
läbilöögipinge, kV/mm	- 25,
kaonurga tangens	- 0,02-0,03.

Polümetüülmetakrülaad on hästi töödeldav kõigi mehaaniliste meetoditega ning survevalu ja pressimise teel. Lehekujulist polümeeri on võimalik töödelda vaakuumvormimise meetodil. Materjal on keevitav kontaktkeevituse teel 180-185° temperatuuril ja 2-4 kg/cm² surve all. Polümetüülmetakrülaati on võimalik liimida liimiga, mida saadakse polümeeri lahustamisel diklooretaanis või äädikhappes.

Polümetüülmetakrülaati kasutatakse mitmesugusel otstarbel, näiteks lennukite, vitriinide ja verandade klaasimiseks, seadmete ja aparaatide kaitseklaasina, laiatarbekaupade, hambaproteeside, kellaklaaside, aparaadiskaalaade ja mitmesuguste teiste toodete valmistamiseks. Tema kasutamist optilistes riistades takistab liiga väike pinnakõvadus, mistõttu pind kergesti kriimustub.

Metüülmetakrülaati kasutatakse ka kopolümeeriseerimiseks, näiteks stürooli ja akrüülnitriiliga.

8. Polüvinüülatsetaat ja tema derivaadid

Polüvinüülatsetaati $\left[\begin{array}{c} \text{CH}_2 - \text{CH} \\ | \quad | \\ \text{O} - \text{C} - \text{CH}_3 \\ | \\ \text{O} \end{array} \right]_x$ saadakse vinüülatsetaadi polümerisatsioonil.

Polüvinüülatsetaat on läbipaistev ja värvusetu polümeer, millel on madal klaasistumistemperatuur (25-30°). Vee mõjul

ta pundub, hapete ja leeliste toimel aga laguneb. Ta lahustub alkoholides, aroomaateses süsivesinikes ja mõnedes teistes lahustites, kuid ei lahustu bensiinis.

Polüvinüülatsetaadi peamiseks kasutusalaaks on mitmesugused liimkompositsioonid ja mastiksid, suur osa töödeldakse aga derivaatideks. Ta on uute ehitusmaterjalide - polümeerbetoonide, -kipside ja -tsementide tähtsaks koostisosaks. Need materjalid kujutavad endast orgaanilise polümeeri segu mineraalse täiteainega. Sellises materjalis on ühendatud nii orgaanilise polümeeri kui ka mineraalse aine head omadused. Polüvinüülatsetaadi baasil saadavatel polümeerbetoonidel on 3-4 korda suurem survetugevus kui tavalisel betoonil, väga hea vibratsioonikindlus ja hea adhesioon. Polümeerbetoonides kasutatakse enamasti polüvinüülatsetaadi vesiemulsiooni. Polüvinüülatsetaadi baasil saadavaid polümeerbetooni kasutatakse põrandakatteks, betoonkonstruktsioonide remondiks (sel juhul polüvinüülatsetaat on sidematerjaliks; mis seob vana materjali uuega), dekoratiivkateteks (eriti suurpaaneehitustel) jne. Polüvinüülatsetaadi vesiemulsiooni kasutatakse ka vesiemulsioonvärvide tootmiseks. Sellised värvid ei mürgista õhku, kuivavad kiiresti (2-4 tunni jooksul) ja on ökonoomsed.

Polüvinüülatsetaat on lähtematerjaliks mõnede teiste polümeersete materjalide tootmisel. Tema alkoholüüsil saadaks polüvinüülalkoholi $\left[\begin{array}{c} \text{CH}_2 - \text{CH} \\ | \\ \text{OH} \end{array} \right]_x$. Viimane on välimuselt valge pulber, mis lahustub aeglaselt külmas vees. Nii tahke polümeer kui ka tema lahused lagunevad hapete ja leeliste toimel.

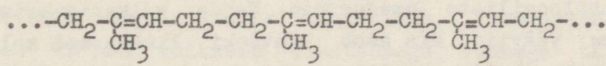
Polüvinüülalkoholi kasutatakse peamiselt vees lahustuva liimi ning õli mitteläbilaskva paberi valmistamiseks, želatini asemel fotoemulsioonides, meditsiinis jm. Et polüvinüülalkohol on omadustelt sarnane tärklisega, leiab ta kasutamist viimase asendajana ka tekstiilitööstuses ja polügraafias. Plastifitseeritud polüvinüülalkoholist valmistatakse voolikuid, kindaid ja mitmeid teisi esemeid, mis peavad olema vastupidavad orgaaniliste lahustite, eriti bensiinide suhtes.

Polüvinüülalkohol on lähteaineks polüvinüülatsetaalidele. Neid saadakse aldehüüdide toimel polüvinüülalkoholisse.

Polüvinüülatsetaalidest on tähtsaim polüvinüülbutüraal, mida saadakse võihappe aldehüüdi toimet polüvinüülalkoholisse. Polüvinüülbutüraali kasutatakse peamiselt mitmekihilise killukindla klaasi valmistamiseks, universaalsete BF-tüüpi liimide valmistamiseks ja muuks otstarbeks. Tema kiledest valmistatakse ka vihmamantleid. Polüvinüülformaali saadakse formaldehüüdi toimet polüvinüülalkoholisse. Ta on polüvinüülalkoholi atsetaalidest kõige suurema mehaanilise vastupidavuse ning hea kulumiskindlusega. Kasutatakse peamiselt isolatsioonemai- lina elektrimasinates.

9. Sünteetilised kautšukid

Sünteetilised kautšukid on suure tähtsusega polümeersed materjalid. Kautšukite sünteesi eelduseks oli loodusliku polümeeri - naturaalkautšuki koostise ja struktuuri selgitamine. On kindlaks tehtud, et naturaalkautšuk kujutab endast kahe kaksiksidemega süsivesiniku (selliseid süsivesinikke nimetatakse dieenideks) isopreeni $\text{CH}_2=\underset{\text{CH}_3}{\text{C}}-\text{CH}=\text{CH}_2$ polümeri- satsiooniprodukti. Tema struktuur on



Nii naturaalkautšuk kui ka sünteetilised kautšukid sisaldavad makromolekulides veel kaksiksidemeid, mille kau- du kulgevadki praktikas väga suure tähtsusega vulkanisatsi- oonireaktsioonid.

Sünteetilisteks kautšukiteks nimetatakse aineid, mis oma füüsikalise-mehaanilistelt omadustelt on lähedased natu- raalkautšukile. Käesoleval ajal toodetakse mitmesuguseid sünteetiliste kautšukite marke. Kasutusala-dest olenevalt jaotatakse sünteetilised kautšukid universaalseteks ja spet- siaalseteks. Universaalkautšukeid kasutatakse transpordiva- hendite kummide ja enamiku kummist esemete valmistamiseks.

Spetsiaalkautsukitel on eriti silmatorkavad mingid kindlad omadused, mistõttu neid kasutatakse ainult teatud otstarbeks. Universaalseiks loetakse sünteetilistest kautsukitest divinüül- ehk butadieenkautsukeid ning divinüül-stürool- ja divinüül-metüülstüroolkautsukeid, kuna ülejäänud sünteetiliste kautsukite liigid kuuluvad spetsiaalkautsukite hulka.

Divinüül- ehk butadieenkautsük. Divinüülkautsuki saamisel on lähteaineks monomeer divinüül ehk butadieen $CH_2=CH-CH=CH_2$, mille molekulis on kaks kaksiksidet. Polümeerisatsiooni katalüsaatorina kasutatakse metalset naatriumi, mistõttu saadavat sünteetilist kautsukit nimetatakse sageli ka naatriumbutadieenkautsukiks. Selle kautsuki makromolekulid sisaldavad veel küllaldaselt kaksiksidemeid, mille kaudu toimub hiljem kautsuki vulkaniseerimine. Sünteesi tingimustest olenevalt saadakse mitut sorti divinüülkautsukit.

Välimuselt on divinüülkautsük kollakas elastne mass, mille erikaal on 0,90-0,92. Ta on hästi lahustuv bensiinis, bensoolis, kloroformis ning mitmes teises aromaatses ja alifaatses lahustis. Hapniku toimel divinüülkautsuki omadused muutuvad. Kautsük muutub jäigemaks tema mehaaniline tugevus suureneb, kuid suhteline pikenemine venitamisel väheneb, samuti väheneb tema lahustuvus. Vaadeldavad kautsukid on heade tehnoloogiliste omadustega. Nende vulkaniseerimiseks kasutatakse väävlit, mis seob kautsuki lineaarsed molekulid kaksiksidemete kaudu ruumilisse struktuuri. Vulkaniseeritud kautsukit nimetatakse kummiks. Väga suure väävlisisalduse puhul saadakse eboniit. Kummi mehaaniliste omaduste parandamiseks kasutatakse aktiivseid täiteaineid (näiteks tahma) ja mõningaid teisi lisandeid.

Põhiliseks naatriumbutadieenkautsuki tüübiks on kautsük „CKB”. See on universaalne kautsük, kuid tema baasil saadakse ka mõningaid spetsiaalseid sorte (dielektriline, balloon- ja toidunainete tööstuses kasutatavad kautsukid). Kautsük „CKB” on põhiliseks materjaliks autokummide, kummijalatsite, voolikute ja tehniliste kummitoodete valmistamisel. Dielektrilist kautsukit kasutatakse elektrijuhtmete ja kaablite isoleerimiseks.

Kautšuk „CKM” on kautšukist „CKB” suurema külmaskindlusega ja elastsusega. Ta asendab madalatel temperatuuridel edukalt naturaalkautšukit. Temast valmistatakse autokumme, mida kasutatakse Kaug-Põhjas, külmaskindlaid linttransportööre, voolikuid ning sagedase mehaanilise deformatsiooni tingimustes töötavaid tehnilisi kummitooteid.

Kolmas naatriumbutadien kautšuk „CKB” on oma omadustelt kahe eelneva kautšukimargi vahepealne.

Divinüülstüroolkautšukid. NSV Liidus toodetakse tööstuslikult mitut marki divinüülstüroolkautšukeid. Nende tähtsaks on „CKC”, metüülstürooli ja divinüüli baasil saadava kautšuki tähtsaks aga „CKMC”. Nimetatud sünteetilised kautšukid kujutavad endast seega kopolümeere. Sünteesi tingimustest ja lähtemonomeeride vahekorras olenevalt saadakse teatud määral erinevate omadustega kautšukid. Kõrgtemperatuurilisi kautšukeid (saamistemperatuur 50°C) markeeritakse „CKC-30”, „CKC-50” ja „CKC-10”, kus arv näitab stüroolisisaldust polümerisatsiooni lähtesegus. Madalatemperatuuriliste kautšukite puhul (saamistemperatuur 5°C) lisatakse A-täht juurde, näiteks „CKMC-30A”. Divinüül-stüroolkautšukite omaduste modifitseerimiseks kasutatakse täiteaineid ja mõnel juhul ka teisi komponente, näiteks õlisid.

Vaadeldavad sünteetilised kautšukid lahustuvad osaliselt mõnedes orgaanilistes lahustites. Naturaalkautšukiga võrreldes on nad väiksema elastsusega. Tahmaga täidetud ja vulkaniseeritud divinüülstüroolkautšukil on naturaalkautšukiga võrreldes tunduvalt suurem kulumiskindlus, kuid väiksem külma- ja kuumuskindlus. Divinüül-stüroolkautšukid on kasutamise seisukohast universaalsed, peamine osa neist kasutatakse aga autokummide ja tehniliste kummitoote valmistamiseks.

Divinüülnitriilkautšukid. Seda liiki sünteetilised kautšukid kujutavad endast divinüüli ja akrüülnitriili $\text{CH}_2=\text{CH}-\text{CN}$ kopolümeere. Neid toodetakse paljudes maades laialdaselt sortimendis. Akrüülnitriilisisaldusest olenevalt on saadavad kautšukid erineva õli- ja külmaskindluse ning tehnoloogiliste omadustega. Akrüülnitriilisisalduse tõstmise

sel suureneb kautšuki bensiini- ja õlikindlus, kuid samal ajal väheneb tema külmakindlus. Nõukogude Liidus on divi-
 nüülnitriilkautšukite tähiseks „CKH.“ Toodetakse mitmeid
 marke, näiteks „CKH-18“, „CKH-26“ jt., kus number näitab ak-
 rüülnitriilisisaldust protsentides polümerisatsiooni läh-
 tesegus. Nitriilrühmade olemasolu annab polümeerile mitmed
 spetsiifilised omadused. Nitriilkautšuki ja tema vulkani-
 saatide kõige väärtuslikumaks omaduseks on hea püsivus mi-
 neraalõlide, taimse ja loomse päritoluga rasvade ning ali-
 faatsete süsivesinike, bensiinide ja petrooleumide suhtes.
 Estrite, aromaatsete ja halogeensüsivesinike suhtes pole
 nitriilkautšuk püsivam kui teised sünteetilised kautšukid.
 Nitriilkautšuki elastsus on väiksem kui enamikel teistel
 sünteetilistel kautšukitel. Kulumis- ja kuumuskindluse poo-
 lest ületab nitriilkautšuk enamikku sünteetilisi kautšu-
 keid ja ka naturaalkautšukit. Nitriilkautšukeid kasutatakse
 põhiliselt seal, kus on nõutav hea bensiini- ja õlikindlus.
 Temast valmistatakse bensiini- ja õlikindlaid voolikuid,
 tihendeid, linttransportööre, kummikindaid jne. Nitriilkaut-
 šuki baasil saadav eboniit on suure mehaanilise tugevuse
 ja kuumuskindlusega. Spetsiaalkautšukitest toodetakse teda
 kõige rohkem.

Kloropreenkautšukit saadakse kloropreeni $\text{CH}_2=\underset{\text{Cl}}{\text{C}}-\text{CH}=\text{CH}_2$
 polümerisatsioonil. Seda kautšukit nimetatakse sageli ka
 neopreeniks. Kloropreenkautšukite hulka kuuluvad mitmed
 kloropreeni ja teiste monomeeride kopolümeerid. Kloorisisal-
 duse tõttu on kloropreenkautšuk hea keemilise püsivusega.
 Tema lahustuvus ja pundumine orgaanilistes lahustites on
 märksa väiksem kui naturaalkautšukil. Õlikindluse poolest
 jääb ta maha vaid nitriilkautšukist. Ta on mittepõlev ma-
 terjal. Kloropreenkautšuki baasil saadud kummid on hea
 mehaanilise tugevusega, kuid suhteliselt madala kulumiskind-
 luse ja elastsusega. Tema puudusteks on madal külmakind-
 lus ja madalad dielektrilised omadused. Kloropreenkautšuk
 leiab rakendamist sel juhul, kui on vajalik hea keemiline
 püsivus koos suure mehaanilise tugevusega. Teda kasutatakse
 linttransportööride ja rihmade valmistamiseks, valtside

ja teiste taoliste seadmete katmiseks kummiga ning mõnel juhul reaktorite kattematerjalina. Kloropreenkautšukist valmistatakse ka kummiliimiseid.

Butüülkautšuk. Butüülkautšukiks nimetatakse isobutüleen-i kopolümeerisatsiooni produkte vähese koguse dieense süsivesinikuga, peamiselt isopreeniga. Et põhiliseks lähteaineks on ühe kaksiksidemega ühend, sisaldab saadav kautšuk kaksiksidemeid väga vähe. Seetõttu toimub tema vulkaniseerimine aeglaselt. Butüülkautšukil on mitmeid häid omadusi. Ta on hea keemilise püsivusega, suurepärase gaasipidavusega, vastupidav vananemisele ja heade dielektriliste omadustega. Gaasipidavuse poolest ületab ta kõik sünteetilised kautšukid ja ka naturaalkautšuki. Butüülkautšukist valmistatakse auto sisekumme, mis peavad mitu korda paremini õhku kui naturaalkautšukist kummid. Teda kasutatakse isolatsioonimaterjalina ning gaasimaskide, kummeeritud riide ja paljude teiste toodete valmistamiseks.

Polüsulfiidkautšukid ehk tiokoolid. Tiokoolide saamisel on lähteaineteks dihalogeenuhendid ja naatriumdi- või polüsulfiidid. Erinevalt eespool vaadeldud kautšukitest saadakse polümeer polükondensatsiooni teel. Polümeeri struktuur on tavaliselt $...-CH_2-CH_2-\underset{\text{S}}{\underset{\text{S}}{\text{S}}}-...$

Tiokoolide omadused olenevad suurel määral kasutatud lähteaineist. Ühed neist on hea õlikindlusega, kuid madalate mehaaniliste omadustega, teistel, vastupidi on heade mehaaniliste omaduste kõrval madal õlikindlus. Tiokoolid on kõrge erikaaluga (1,5-1,7). Nende kõige hinnatavamaks omaduseks on vastupidavus lahustite suhtes. Neil on samuti hea gaasi- ja niiskuskindlus. Tiokoole kasutatakse temperatuuride intervallis -20 kuni $+70^\circ$ peamiselt seal, kus materjalilt nõutakse head õli- ja gaasikindlust ning vastupidavust osoonile. Tiokoolidest valmistatakse mitmesuguseid tehnilisi tooteid, neid kasutatakse ka komponendina liimides ja mastiksites.

Kautšukite üleviimisel tehniliselt kasutatavaks kummiks on tähtsaks tehnoloogiliseks operatsiooniks vulkani-

seerimine. Vulkaniseerimise tulemusena muutub mehaaniliselt nõrk plastiline kautšuk palju paremate mehaaniliste omadustega elastseks kummiks. Enamiku kautšukite vulkaniseerimisel kasutatakse elementaarseid väävlit, vahel ka mõningaid teisi ühendeid, mis keemilise reaktsiooni tulemusena seovad kautšukite lineaarsed makromolekulid ruumilisse struktuuri. Vulkaniseerimisprotsessi kiirendamiseks kasutatakse spetsiaalseid kiirendajaid ja aktivaatoreid. Kautšuki tüübist ja vulkaniseeriva aine iseloomust olenevalt moodustuvad lineaarsete makromolekulide vahel põiksidemed $-C-C-$, $-C-S-C-$ ja $-C-S_n-C-$.

Vulkaniseerimise tehniline protsess seisneb enamikel juhtudel selles, et kautšukit koos vajalike täiteainete, väävli ja teiste vulkaniseerimiskomponentidega kuumutatakse $130-160^{\circ}$ temperatuuril. Saadava kummi omadused olenevad suurel määral kasutatava väävli hulgast. Kui väävli kogus on 0,5-5%, saadakse pehme elastne kumm, suure väävli sisalduse puhul (30-50%) tekib aga kõva materjal - eboniit. Väävli abil toimuvat vulkaniseerimist nimetatakse kuumvulkaniseerimiseks. Vulkaniseerida on võimalik ka külmalt, näiteks väävelkloriidi S_2Cl_2 abil. Külmvulkaniseerimise praktiline tähtsus on aga väike. Mõningaid kautšukeid, mis kaksiksidet ei sisalda (fluor-, silikoon- ja polüuretaan-kautšukid jt.), vulkaniseeritakse spetsiaalsete meetodite ja vulkaniseeritavate reagentidega.

III. HETEROAHEL- JA TEISED POLÜMEERID

1. Polüformaldehüüd

Polüformaldehüüd on üks uuemaid plastmasse, mida käesoleval ajal toodetakse Ameerika Ühendriikides delriini nimetuse all. Delriini saadakse formaldehüüdi polümerisatsioonil, tema keemiline koostis on $[-CH_2-O-]_x$. Välimuselt on polüformaldehüüd valge ja sünteesi tingimustest olenevalt matt või osaliselt läbipaistev. Delriin on termoplastiline polümeer ja sulab $175-182^\circ$ temperatuuridel.

Polüformaldehüüd on võrdlemisi püsiv lahjade hapete ja leelistes suhtes ega lahustu toatemperatuuril orgaanilistes lahustites. Ta laguneb kontsentreeritud hapetes ja leelistes ning lahustub kõrgematel temperatuuridel (üle 100°) mõnedes orgaanilistes lahustites.

Polüformaldehüüdi mehaanilised omadused on head ja muutuvad vaid vähesel määral temperatuuri tõstmisel kuni 120 kraadini. Ta on märkimisväärselt hea löögitugevusega kuni -40° temperatuurini. Kulumiskindluse poolest ületab polüformaldehüüd enamiku plastmasse, jäädes selles suhtes maha vaid polüamiididest. Tema hõõrdekoefitsient terase suhtes on kuivas olekus $0,1-0,3$ piirides. Polüformaldehüüd on väikese veeimavusega ning temast valmistatud detailid on kujult ja gabariitidelt suure stabiilsusega.

Ka dielektrilised omadused on head ning muutuvad temperatuuri ja sageduse muutmisel ainult vähesel määral. Dielektrilised omadused säilivad ka niisketes tingimustes ning pärast plastmassi vette kastmist.

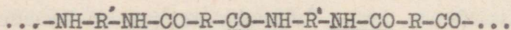
Polüformaldehüüdi omadusi iseloomustavad järgmised andmed:

tihedus, g/cm^3	- 1,43,
tõmbetugevus, kg/cm^2	- 700,
paindetugevus, kg/cm^2	- 990,
dielektriline läbitavus	- 3,7,
läbilöögipinge, kV/mm	- 20,
kaonurga tangens	- 0,004.

Polüformaldehüüd on hästi töödeldav survevalu ja ekstrusiooni teel. Tema põhilisteks kasutusaladeks on masinaehitus ja elektrotehnika. Polüformaldehüüdist valmistatakse survevalu teel hammasrattaid, laagreid, vedrusid ja mitmesuguseid muid detaile. Temast valmistatud hammasrattad töötavad peaaegu mürata ning detailid on suure väsimuskindlusega. Elektrotehnikas kasutatakse polüformaldehüüdi peamiselt sel juhul, kui materjalilt nõutakse peale heade dielektriliste omaduste veel kõrgeid mehaanilisi omadusi. Polüformaldehüüdist valmistatakse ka laiatarbekaupu.

2. Polüamiidid

Polüamiidid on tähtsamaid sünteetilisi polümeere. Nende makromolekulides vahelduvad amiidsed rühmad $-CO-NH-$ süsivesinikradikaalidega. Kasutatud lähteainetest olenevalt jagunevad polüamiidid kahte rühma. Kahealuseliste hapete $HOOC-R-COOH$ ja diaminiide $NH_2-R^2-NH_2$ polükondensatsioonil saadakse nailon-tüüpi polüamiidid, mille koostis on



Kaprolaktaami $\overline{NH-(CH_2)_5-CO}$ polümerisatsioonil tekkiiva kaproni koostis on $\dots-NH-(CH_2)_5-CO-NH-(CH_2)_5-\dots$

Polüamiidid on termoplastilised polümeerid, nende omadused olenevad suurel määral kasutatud lähteaineist. Välimuselt on polüamiidid kõvad sarvetaolised materjalid valgest kuni pruunika värvuseni. Nad on vastupidavad lahjadele hapetele ning leelistele. Kontsentreeritud hapetes polüamiidid lahustuvad. Orgaanilistest lahustitist lahustavad polüamiide vaid vähesed, näiteks fenoolid, sipelghape ning fenoolid ja alkoholide segud. Ka mõnede soolade alkooolsed lahused võivad polüamiide lahustada.

Polüamiidid on võrdlemisi kõrge kuumuskindlusega polümeerid. Nii sulab nailon $264-265^\circ$ temperatuuril, kapron umbes 220° temperatuuril. Erinevalt enamikest polümeeridest

toimub polüamiidide üleminek voolavasse olekusse kitsas temperatuuride intervallis.

Mehaaniliste omaduste poolest on polüamiidid väga head materjalid. Neil on suur tõmbetugevus, eriti orienteeritud olekus, hea pinnakõvadus ning polümeeridest kõige suurem kulumiskindlus. Ühtlasi on neil väike hõõrdekoefitsient, mistõttu nad sobivad mitmesuguste kulumiskindlate hõõrde-detailide valmistamiseks. Väga kõrge on ka polüamiidide löögitugevus. Madalatel temperatuuridel (alla -15° kuni -25°) väheneb polüamiidide mehaaniline tugevus tunduvalt.

Polaarse ehituse tõttu ei saa polüamiide lugeda eriti headeks dielektrikuteks. Pealegi halvnevad nende dielektrilised omadused niisketes tingimustes, sest polüamiidid imavad niiskes õhus kuni 2% vett. Heade mehaaniliste omaduste tõttu kasutatakse polüamiide siiski ka isoleermaterjalina, kuid mitte kõrgsagedusdielektrikuna.

Polüamiidide omadusi iseloomustavad järgmised andmed:

	Polüamiid 66 (nailon)	Polüamiid 6 (kapron)
tihedus, g/cm^3	- 1,14,	1,14,
tõmbetugevus, kg/cm^2	- 700-1000,	600-650,
paindetugevus, kg/cm^2	- 800-1000,	700-900,
survetugevus, kg/cm^2	- 700-1000,	700-800,
löögitugevus, kg.cm/cm^2	- 20-30,	100-160,
dielektriline läbitavus	- 4-5,	4-5,
läbilöögipinge, kV/mm	- 15-18,	30,
kaonurga tangens	- 0,02.	0,04.

Polüamiidid on töödeldavad kõikide termoplastilistele polümeeridele ettenähtud töötlemismeetoditega. Enamik detaile valmistatakse survevalu teel. Polüamiidid on keevitatavad, kusjuures soojuskandjana tuleb oksüdeerimise vältimiseks kasutada lämmastikku. Polüamiidide liimimiseks kasutatakse polümeeri lahustumisel sipelghappes saadud liimi või spetsiaalset liimi „PFE 2/10“. Polüamiidide liimimiseks metallidega annavad parimaid tulemusi polüüretaanide baasil loodud liimid.

Suurem osa polüamiide kasutatakse sünteetilise kiudainena, mis on tuntud väga mitmesuguste nimetuste all (nailon, kapron, perloon, siloon, rilsaan jt.). Väiksem osa kasutatakse plastmassina, peamiselt masina- ja aparaadiehituses. Polüamiididest valmistatakse survevalu teel mitmesuguseid hammasrattaid, laagreid, tihendusdetalle jpm. Rohkesti kasutatakse polüamiidist detaile tekstiili ning kontori- ja elutarbelistes masinates, autotööstuses jm. Polüamiididest valmistatakse ka mitmesuguseid sanitaarsõlmede detaile (sifoonid, kraanid) ja laiatarbekaupu. Polüamiidniiti kasutatakse meditsiinis.

3. Polüestervaigud

Nimetuse "polüestervaigud" all tuntakse polümeere, mida saadakse põhiliselt kahealuseliste hapete ja kahe- või mitmeatomiliste alkoholide vahelisel polükondensatsioonil. Mõnel juhul on polüestrid võimalik saada ka teistel meetoditel, näiteks ümberesterdamise teel. Polüestervaikude struktuur on $(-O-R-O-\underset{\text{O}}{\underset{|}{\text{C}}}-R'-\underset{\text{O}}{\underset{|}{\text{C}}}-)_x$,

kus R ja R' on vastavalt alkoholi ja happe jäägid.

Polüestritest on tähtsamad alküüdvaigud, küllastumata polüestrid ja polüetüleentereftalaat.

Alküüdvaikude saamisel on lähteaineteks kahealuselised karboonhapped ja kahe- või mitmeatomilised alkoholid. Alküüdvaikudest on kõige suurema praktilise tähtsusega glüftaalvaik ja pentaftaalvaik, mida saadakse vastavalt mitmealuselistest alkoholidest glütseriinist ja pentaeritriidist ning ftaalhapest. Mõlemad vaigud on termoreaktiivse iseloomuga. Alküüdvaigud on levinud peamiselt lakivaikudena, enamasti modifitseerituna mitmesuguste õlidega. Modifitseerimata glüftaalvaike kasutatakse ka elektriisolatsioonilakkide, mikaniidi ja kihiliste plastide valmistamiseks. Modifitseerimata glüftaalvaigud lahustuvad alkoholides, estrites ning aroamatsetes ja kloorisüvesinikes, ei lahustu aga alifaatsetes süsivesinikes. Modifitseerimata glüftaal-

vaikude puuduseks on haprus, mistõttu kaitsekatetena ei ole nad kuigi sobivad. Modifitseerimisel mitmesuguste happeid sisaldavate õlidega saadakse elastsed kiled, mis püüvad hästi ka atmosfääri mõjutuste suhtes. Nende ekspluatatsiooniga välistingimustes ulatub 6-7 aastani, ruumides aga üle 10 aasta. Alküdvaikude baasil saadud lakke ja emaille kasutatakse autode, vagunite, tööpinkide, põllumajandusmasinate, seadmete ja aparatuuride värvimiseks. Modifitseeritud alküdvaikke kasutatakse veel litograafiliste värvide, liimide ja linoleumi tootmisel ning mitmeks muuks otstarbeks.

Küllastumata polüestrite saamise lähteaineteks on glükoolid ja küllastumata iseloomuga kahealuselised happed. Viimastest on kõige suurema tähtsusega maleinhape $\text{HOOC-CH}_2\text{-CH}_2\text{-COOH}$. Lähteainete polükondensatsioonil moodustuvad lineaarse struktuuriga polüestrid, mille ahelates on säilinud kaksiksidemed. Kaksiksidemete tõttu on küllastumata polüestrid võimelised mingi vinüülühendi (näiteks stürooli) toimel kõvenema ja üle minema ruumilisse struktuuri. Kõvenemine toimub polümerisatsiooni teel, kusjuures polüestri lineaarsete ahelate vahel moodustuvad näiteks polüstüroolilist põiksillad. Vaikude kõvenemisel eraldub soojust ning vaigu maht väheneb tunduvalt (5-8%). Polüestervaikude kõvenemine võib toimuda nii toatemperatuuril kui ka kõrgendatud temperatuuridel (üle 90°). Kõvenenud vaigud on vastupidavad mitteoksüdeerivatele hapetele ning happelistele ja neutraalsetele sooladele. Ieliste toimel nad lagunevad. Orgaanilistest lahustitest mõjuvad polüestritele lagundavalt atsetoon, süsivesinike klooriderivaadid jt. Nende puuduseks on vähene kuumuskindlus ja süttivus.

Küllastumata polüestritel on kõige suurem tähtsus klaasplastide valmistamisel. Et küllastumata polüestervaigud on võimelised toatemperatuuril kõvenema, saab neid kasutada suuregabariidiliste esemete valmistamiseks kontaktmeetodil. Küllastumata polüestrite baasil valmistatakse väiksemate laevade korpusi, paate, autokabiine, katusekattematerjali, vanne, kraanikasse, ehitusdetalle jpm. tooteid, kusjuu-

res täiteainena kasutatakse klaasriiet, klaaskiudu või klaasmatte. Tugevuse ja kerguse tõttu on klaasplastid hinnatavad materjalid lennukiehituses ja raketitehnikas. Küllastumata polüestrite baasil saadud klaasplastide omadusi iseloomustavad järgmised andmed:

tihedus, g/cm ³	-	1,5-2,1,
tõmbetugevus, kg/cm ²	-	2800-3500,
paindetugevus, kg/cm ²	-	3500-4400,
survetugevus, kg/cm ²	-	2100-4200,
dielektriline läbitavus	-	4,3-5,2,
läbilöögipinge, kV/mm	-	27-80,
käonurga tangens	-	0,009-0,02.

Polüetüleentereftalaat kujutab endast tereftaalhappe ja etüleenglükooli polümeerset estrit $\left[\begin{array}{c} -\text{C}-\text{C}_6\text{H}_4-\text{C}-\text{O}-\text{CH}_2-\text{CH}_2- \\ \parallel \quad \quad \quad \parallel \\ \text{O} \quad \quad \quad \text{O} \end{array} \right]_x$.

Ta on valge kõva ja läbipaistmatu termoplastiline materjal, millel on suhteliselt kõrge kuumuskindlus. Polüetüleentereftalaat sulab 264° temperatuuril ja hakkab termiliselt lagunema üle 280° temperatuuridel. Ta on vastupidav lahjendele hapetele, laguneb aga kontsentreeritud hapete ja kangete leeliste toimel. Orgaanilistest lahustitest lahustavad teda vaid vähesed. Temast valmistatud kiled ei lase peaaegu üldse läbi gaase ja auru, ületades selles suhtes polüetüleenkiled.

Polüetüleentereftalaati kasutatakse põhiliselt sünteetilise kiu valmistamiseks. NSV Liidus nimetatakse temast valmistatud kiudu lavsaaniks, Inglismaal terüleeniks jne. Polüetüleentereftalaadist valmistatud riie ei kortsu ja on omadustelt lähedane villale.

4. Polüuretaanid

Polüuretaanid saadakse kaheaatomilistest alkoholidest HO-R-OH ja diisotsüanaatidest O=C=N-R'-N=C=O polüaditsiooni teel. Polüuretaanide polümeerse ahela struktuur on

$\left[\begin{array}{c} \text{C}-\text{NH}-\text{R}-\text{NH}-\text{C}-\text{O}-\text{R}-\text{O} \\ \parallel \qquad \qquad \parallel \\ \text{O} \qquad \qquad \qquad \text{O} \end{array} \right]_x$. Kasutatud lähteainete funktsionaalsusest olenevalt (võib kasutada ka triisotsüanaate) saadakse lineaarse või ruumilise struktuuriga polüuretaanid.

Polüuretaanid on omadustelt lähedased polüamiididele. Et aga polüuretaanide põhiahelas on hapniku aatom, erinevad nad mõnel määral polüamiididest. Nad on väiksema kuumuskindluse ja mehaanilise vastupidavusega, kuid elastsemad. Polüamiididega võrreldes on polüuretaanidel tunduvalt väiksem veeimavus ning suurem püsivus hapete ja oksüdeerijate suhtes.

Polüuretaanidel on rohkesti kasutusalasid. Neist toodetud kiudmaterjale kasutatakse harjasesemetete, tehnilise kanga, võrkude ja teiste taoliste toodete valmistamiseks. Polüuretaanist detaile saadakse survevalumeetodil. Peale kiudmaterjali kasutatakse polüuretaane liimide, lakkide, kautšukite, pressmaterjalide ja vahtplastmasside saamiseks.

Polüuretaanliimid saadakse diisotsüanaatide toimel madalmolekulaarsetesse polüestritesse. Polüuretaanliimid on kasutatavad mitmesuguste materjalide (metallid, puit, kumm, keraamika jt.) liimimiseks nii omavahel kui ka teiste materjalidega. Universaalliimidena kasutatakse neid rohkesti lenn- ja tööstuses.

Polüuretaanide baasil saadavad kautšukid on suurepärase kulumiskindlusega, heade mehaaniliste omadustega ning vastupidavad orgaaniliste lahustite ja oksüdeerivate agentide toimetele. Neid kasutatakse peamiselt mitmesuguste tehniliste kummidetailide valmistamiseks.

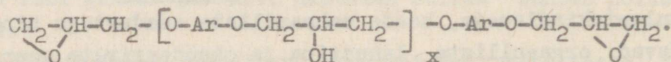
Polüuretaanlakiid on hea adhesiooniga, vastupidavad keemilistele reagentidele ning vee ja pesemisvahendite toimetele ja mehaaniliselt elastsed. Laki valmistamiseks segatakse vastavad komponendid kohapeal, kusjuures valmislakk tuleb vähemalt 24 tunni jooksul ära kasutada. Laki tüübist olenevalt toimub kuivamine kas toa- või kõrgemal temperatuuril.

Polüuretaani baasil toodetavatest materjalidest on käesoleval ajal kõige suurema tähtsusega vahtplastmassid. Nende saamiseks kasutatakse madalmolekulaarseid polüestrideid

ja diisotsüanaate. Kõvu vahtpolüuretaane kasutatakse nii konstruktsioonilise kui ka isolatsioonimaterjalina. Konstruktsioonilise materjalina on kõva vahtpolüuretaan levinud näiteks lennukiehituses ja kihilistes ehituskonstruktsioonides, kus ta on ühtlasi ka isolatsiooniks. Pehmet vahtpolüuretaani (porolooni) kasutatakse transpordivahendite istmete ja pehme mööbli valmistamisel ning isolatsioonimaterjalina nii madalatel kui ka kõrgematel temperatuuridel (kuni 120°). Peale selle tehakse temast patju, tekke, madratseid, vaipu, käsnu, sooje riideid jt. laiatarbekaupu.

5. Epoksüvaigud

Epoksüvaigud on lühikese ajaga kujunenud suure tehnilise tähtsusega polümeerideks. Nende hinnatavaks omaduseks on väga hea adhesioon paljude materjalidega, seetõttu kasutatakse neid peamiselt konstruktsiooniliimina. Tehniliselt kasutuskõlblikke epoksüvaike saadakse polükondensatsiooni teel epikloorhüdriniist $\text{CH}_2\text{-CH-CH}_2\text{-Cl}$ ja difenoolidest HO-Ar-OH , kus Ar on aroomaatne tuum või rühmitus $-\text{C}_6\text{H}_4\text{-C}(\text{CH}_3)\text{-C}_6\text{H}_4-$. Polükondensatsioon toimub leelise juuresolekul. Kõvendamata epoksüvaigud kujutavad endast lineaarseid polümeere, mille struktuur on



Välimuselt on kõvendamata epoksüvaigud kollakaspruunid viskoossed vedelikud, kuid võivad olla ka tahke konsistentsiga. Nad lahustuvad mitmetes lahustites, nagu bensoolis, toluoolis, atsetoonis, dioksaanis, butanoolis jt.

Reaktsioonivõimeliste epoksü- ja hüdroksüülrühmade tõttu on epoksüvaigud võimelised mitmete reagentide toimel kõvenema, kusjuures vaigud lähevad üle ruumilisse struktuuri. Kõvenenud kujul on epoksüvaigud vastupidavad paljudele keemilistele reagentidele ja orgaanilistele lahustitele. Õhukese kilena kõvenenud polümeer on hea elastsuse ja kõrge adhesiooniga. Nende puuduseks on suhteliselt madal kuumuskindlus.

Epoksüvaikude kõvendamiseks kasutatakse peamiselt diamiine ja kahealuseliste hapete anhütriide. Vaigud on aga võimelised kõvenema ka näiteks kahealuseliste hapete ja difenoolide ning vabu hüdroksüülrühmi sisaldavate madalmolekulaarsete fenoolformaldehüüdvaikude toimel.

Nagu öeldud, kasutatakse epoksüvaike põhiliselt liimidenä. NSV Liidus selleks otstarbeks toodetavatest epoksüvaikudest on tähtsamad ЭД-6 ja ЭД-5. Need on viskoossed vedelikud, mis kõvendist olenevalt on võimelised kõvenema nii toa- kui ka kõrgemal temperatuuril. Võimaluse korral tuleb kasutada kuumkõvendust, mis annab tugevama liimühenduse. Vaikude kõvendamiseks toatemperatuuril kasutatakse enamasti polüetüleenpolüamiini ja heksametüleendiamiini. 100 osa vaigu kohta võetakse 6-7 kaaluosa polüetüleenpolüamiini ning segatakse mõne minuti jooksul vahetult enne liimi kasutamist. Liimühendust on soovitatav hoida vähemalt 24 tundi toatemperatuuril surve all. Epoksüvaikude kuumkõvendamisel kasutatakse enamasti maleiinhape anhütriidi, mida võetakse vaigu kohta umbes 30%. Enne kõvendi lisamist tuleb vaiku soojendada ja vahetult enne liimi kasutamist lisada eelnevalt sulatatud maleiinhape anhütriidi. Kõvendamine kestab 6-8 tundi 120°C temperatuuril ja täiendavalt mõni tund 150°C temperatuuril.

Epoksüvaikude kõvenemisel amiinide ja anhütriididega madalmolekulaarseid kõrvalprodukte ei eraldu ning mahu kahanemine kõvenemisel on väike. Liimühenduse nihketugevus mitmesuguste materjalide liimimisel on tavaliselt 250-450 kg/cm². Epoksüliimid on universaalsed, neid saab kasutada metallide, puidu, plastmasside, keraamika jne. liimimiseks.

Peale liimide on epoksüvaigud levinud mitmesuguste kompaundide koostises valuvaikudena elektrotehnikas, masinaehituses ja mujal. Epoksüvaigu kõrval kuulub kompaundi ka mõni teine vaik, näiteks polüestervaik, täiteaine ja sageli ka plastifikaator. Pärast kõvenemist ei toimi niisugustele valukompositsioonidele lahjendatud happed, kuni 10-protsendilise kontsentratsiooniga leelised, soolad ega lahustid. Kuu-

muskindlus ulatub 120 kraadini. Epoksüvaikusid kasutatakse veel mitmesuguste rakiste ja vormide valmistamisel, klaasplastide tootmisel ja pinnakatetena. Epoksüvaikude baasil saadavad pinnakatted on heledatoonilised, hea atmosfäärikindluse ja adhesiooniga ning elastsed. Kasutatavast kõvendist olenevalt toimub epoksülaki kuivamine kas toatemperatuuril või kõrgematel temperatuuridel.

6. Fenoolformaldehüüdvaigud ja nende baasil saadavad materjalid

Fenoolformaldehüüdvaigud saadakse polükondensatsiooni teel fenoolidest ja formaliinist happeliste või leeliste katalüsaatorite juuresolekul. Sünteesi tingimustest olenevalt saadakse termoplastilised novolakkvaigud või termoreaktiivsed resoolvaigud. Viimased on võimelised kuumutamise teel üle minema mittesulavasse ja mittelahustuvasse vormi. Kõvenenud fenoolformaldehüüdvaiku nimetatakse resiidiks. Vastavate kõvendite juuresolekul lähevad ka novolakkvaigud üle resiidiks.

Fenoolformaldehüüdvaikudel on rohkesti kasutusalasid. Kõige suuremas ulatuses valmistatakse neist presspulbreid, millest saadud materjali nimetatakse fenoplastiks. Presspulbrite valmistamiseks on sobivad nii novolakk- kui ka resoolvaigud. Presspulbrite koostisse kuulub peale vaigu veel täiteaine, kõvendi, määrdeaine ja üksikutel juhtudel veel mõned täiendavad komponendid. Tuntud fenoplasti - bakeliidi täiteaineks on puidujahu, karboliidi täiteaineks aga peenendatud vilgukivi või kvartsijahu. Kõvendina kasutatakse harilikult heksametüleentetramiini ehk urotropiini $(\text{CH}_2)_6\text{N}_4$. Presspulbritest valmistatakse kuumpressimise teel väga mitmesuguseid tooteid, mida kasutatakse elektrotehnikas, masina- ja aparaadiehituses, raadiotehnikas jm. Fenoplastidest toodetakse rohkesti ka laistarbekaupu. Fenoplasttooted on harilikult pruuni või musta värvusega, kuid neid saab värvida ka teistesse tumedatesse toonidesse. Nende me-

haanilised ja füüsikalised omadused olenevad suurel määral kasutatud täiteainest ja selle hulgest. Fenoplastid on võrdlemisi vastupidavad staatilisele koormusele, purunevad aga suhteliselt kergesti löökoormuse all.

Head mehaaniliste omaduste ja suure kuumuskindlusega on asboresiidid, milles täiteainena kasutatakse asbesti. Seda tüüpi fenoplastide hõõrdekoefitsienti on võimalik tõsta, mistõttu neid kasutatakse piduriklotside valmistamiseks. Suure mehaanilise tugevusega on ka fibriidid, mille täitematerjaliks on puuvillatselluloos. Sellistes kiulise täidisega fenoplastides kasutatakse resoolvaike. Resoolvaigust kui sideainest ja asbestist, grafiidist või liivast kui täiteainest saadavad faoliidid on hea happekindlusega. Faoliiti kasutatakse keemiatööstuses seadmete happekindlaks vooderdamiseks ning mitmesuguste torustike, armatuuride (happekindlad ventiliidid) ja teiste detailide valmistamiseks. Temperatuuri tõstmisel faoliidi happekindlus langeb. Fenoolformaldehüüdvaikudest toodetakse vähesel määral ka valatud vaike, millest hilisemal mehaanilisel töötlemisel valmistatakse galvanterieesemeid ja laatarbekaupe. Valatud vaikudest on tähtsamad heledavärvilised neoleikoriidid. Neist valmistatakse näiteks piljardipalle.

Suur tähtsus on fenoolformaldehüüdvaikude baasil valmistataval kihilistel plastidel. Tädisena kasutatakse sellistes materjalides riidet, paberit, asbestriidet või puiduspooni, vaiguna resoolvaiku. Puuvillase riide baasil saadud kihilisi plaste nimetatakse tekstoliidiks. See on suure mehaanilise tugevusega aine, mida kasutatakse peamiselt masina- ja aparaadiehituses konstruktsioonilise materjalina ning mitmesuguste detailide valmistamiseks. Edukalt töötavad tekstoliidist hammasrattad, laagrid ja teised detailid. Kihilist plasti, milles täiteaineks on paber, nimetatakse getinaksiks. See materjal on heade dielektriliste omaduste ja rahuldava mehaanilise tugevusega, mistõttu teda kasutatakse peamiselt elektrotehnikas konstruktsioonilise ja isolatsioonimaterjalina.

Kihilisi fenoplaste, milles täiteaineks on puiduspoonid, nimetatakse puitplastideks. Väga õhukese puiduspooni kasutamisel saadakse suure tugevusega homogeenne materjal puitfenoliit, mida meil toodetakse margi ДСН all. Paksemate puiduspoonide kasutamisel saadakse resitvineer. Selles materjalis ei ole üksikud puiduspoonid vaiguga immutatud, vaid resoolvaiguga kokku liimitud. Puitplaste kasutatakse masinaehituses, eriti aga suurte koormuste all töötavate liugelaagrite valmistamiseks. Värviliste metallidega võrreldes on puitplastid sellistes tingimustes pikema eksploatatsioonieaga ja tunduvalt odavamad. Fenoolformaldehüüdvaikudest valmistatakse ka puitlaastplaate, mida kasutatakse järjest rohkem ehitustel ja mööblitööstuses. Fenoolformaldehüüdvaikude baasil saadavad laastplaadid on parema veekindlusega kui karbamiidvaikudest toodetud plaadid. Fenoolformaldehüüdvaikude kasutatakse samuti veekindlate konstruktsioonliimide ja pinnakattematerjalide - lakkide valmistamisel. Fenoolformaldehüüdvaikude baasil saadavate lakkide puuduseks on vähene valguskindlus, mistõttu nad aja jooksul tumenevad.

7. Karbamiidvaigud ja nende baasil saadavad materjalid

Karbamiidvaigud on suure tähtsusega polümeerid, mille baasil on võimalik saada mitmesuguseid materjale. Karbamiidvaikude sünteesil on lähteaineteks karbamiid $\text{NH}_2\text{-CO-NH}_2$ ja formaliin. Vaigud saadakse polükondensatsiooniteel, kusjuures esialgsed kondensatsiooniproduktid on lineaarse struktuuriga polümeerid, mis on aga võimelised kõvenema ja seega ruumilisse struktuuri üle minema. Kõvenemata karbamiidvaigud on välimuselt kreemika tooniga viskoossed vedelikud, mille viskoossus oleneb vaigus sisalduva vee hulgast. Karbamiidvaigud on väga tundlikud keskkonna suhtes. Leelises keskkonnas säilivad vaigud pikka aega lineaarses struktuuris, happelises keskkonnas toimub aga vaigu kiire kõvenemine - üleminek ruumilisse struktuuri. Seda vaikude

omadust kasutatakse nii karbamiidvaikude baasil saadavate pressmaterjalide kui ka liimide tehnoloogias.

Suur osa karbamiidvaike läheb presspulbrite valmistamiseks. Täiteainena kasutatakse sulfittselluloosi. Karbamiidvaikude baasil saadavad presspulbrid on värvusetud, kuid vastavate värvainete lisamisel saab neid kergesti värvida mistahes tooni. Karbamiidvaikude baasil saadavaid plastmasse nimetatakse aminoplastideks. Presspulbrid töödeldakse detailideks kuumpressimisel. Aminoplastide põhilisteks kasutajateks on elektrotehnika ja masinaehitus. Rohkesti valmistatakse aminoplastist ka laiatarbekaupu. Fenoplastidega võrreldes on aminoplastid väiksema kuumus- ja veekindlusega. Neid on aga võimalik valmistada heledates või mistahes toonides.

Karbamiidvaikude teiseks põhiliseks kasutusala on liimide valmistamine. Karbamiidid on sobivad puidu ja paberi liimimiseks ning käesoleval ajal on nad mööblitööstuses põhilisteks liimideks. Karbamiidliimid saadakse karbamiidvaigu segamisel kõvenditega. Kõvendi ülesandeks on muuta keskkond happeliseks, sest vaikude üleminek ruumilisse struktuuri toimub ainult happelises keskkonnas. Kõvenditena kasutatakse happeid (oblikhape, soolhape) ja happelisi sooli. Viimastest kasutatakse kõige rohkem ammooniumkloriidi NH_4Cl . Kasutatud kõvendist olenevalt kõvenevad liimid kas toatemperatuuril või kõrgemal temperatuuridel. Toatemperatuuril kõvendamisel on vaja kõvendina kasutada vabu happeid, kuumpõvendamisel aga ammooniumkloriidi. Kõvenemise ajal tuleb liimitavad detailid hoida surve all, sest sel juhul saadakse tugevam liimühendus. Karbamiidliimide puuduseks on nende suhteliselt madal veekindlus, eriti kuuma vee suhtes. Parema vee- ja kuumuskindlusega on karbamiidliimidele lähedased mēlamiinliimid, mis on aga tunduvalt kallimad. Kasutatakse ka mēlimate liimide baasil saadavaid segaliime.

Suurem osa puitkiud- ja puitlaastplaate valmistatakse praegu karbamiidvaikude baasil. Sellised plaadid on mitmesuguse tugevuse ja mahukaaluga ning neid kasutatakse vahesteinte ehitamiseks, isolatsioonplaatidena jne. Spetsiaalsetest

suure kõvadusega plaatidest tehakse ka põrandaid. Peale selle kasutatakse plaate mööblitööstuses.

Karbamiidvaikude baasil valmistatakse rohkesti mitmesuguseid dekoratiivplaste. Selliste plastide täitematerjaliks on paber, mida immutatakse vaiguga ja seejärel pressitakse. Sisemistes kihtides kasutatakse tavalist jõupaberit, pealmise kihi moodustab mingi dekoratiivpaber. Sageli imiteerib selline paber mingi väärispuidu mustrit. Dekoratiivplastide valmistamisel liimitakse plasti sisemised kihid fenoolformaldehüüdvaiguga, pealmised kihid aga karbamiidvaiguga. Dekoratiivplastid on meeldiva välimusega, pestavad ja vastupidavad pesemisvahendite toimele. Neid kasutatakse mööbli valmistamisel ning ehitustel seinte ja paneelide katmiseks.

Vähemal määral kasutatakse karbamiidvaikusid kombinatsioonis mitmesuguste teiste lakivaikudega heledate lakkide valmistamiseks.

8. Räniorgaanilised polümeerid

Räniorgaanilistest polümeeridest on kõige suurema praktilise tähtsusega polüsiloksaanid, mille makromolekulide põhiahelas vahelduvad räni ja hapniku aatomid: ...-Si-O-Si-O-Si-O-...

Räni aatomite ülejäänud valentsidega võivad olla seostatud mitmesugused süsivesinikrühmitused, nii alküül- kui ka arüülrühmad. Räni ja hapniku aatomite vaheline side on väga tugev, mistõttu räniorgaanilised polümeerid on suure kuumuskindlusega. Kasutatud lähteainetest olenevalt on polüsiloksaanid lineaarse või ruumilise struktuuriga. Kõik räniorgaanilised polümeerid on värvusetud või nõrgalt kollaka kuni pruunika värvusega. Nad on püsivad kuumuse, mitmesuguste keemiliste reaktiivide ja hapniku suhtes. Polüsiloksaanide omadused olenevad tunduval määral orgaaniliste asendusradikaalide iseloomust, polümerisatsiooni astmest ja polümeeri ehitusest.

Räniorgaanilisi polümeere kasutatakse põhiliselt lakki-
de ja kautšukite valmistamiseks. Kõrge kuumuskindluse ja
heade dielektriliste omaduste tõttu on polüsiloksaanlakkide
kasutamine eriti efektiivne elektrotehnikas. Elektrimasinad,
milles orgaaniliste isolatsioonimaterjalide asemel kasutatakse
räniorgaanilisi lakke, töötavad tunduvalt kõrgematel
temperatuuridel ja nende eksploatatsiooniga on pikem. Sellised
lakkid on töökindlad 200-250° temperatuurideni, alumiiniumi-
pülobriki kasutamisel isegi kuni 500 kraadini.
Vaikude lahustina kasutatakse polüsiloksaanlakkide puhul
harilikult toluooli.

Räniorgaaniliste ehk silikoonkautšukite põhiliseks
eeliseks teiste sünteetiliste kautšukite ja naturaalkautšuki-
ga võrreldes on tunduvalt suurem kuumuskindlus. Nad või-
vad kestvalt töötada kuni 250° temperatuurini. Teisest kül-
jest säilitavad nad oma elastsuse ka väga madalatel tempera-
tuuridel (iseegi -100°). Silikoonkautšukid on hea püsivusega
paljude keemiliste reagentide suhtes, lagunevad aga leeliste
ja kangete hapete toimel. Atsetoon ja alkoholid mõjuvad neile
vähe, bensiinides ja aromaatsetes süsivesinikes ning
süsivesinike klooriderivaatides silikoonkautšukid punduvad,
kui pärast lahusti auramist omadused taastuvad. Silikoon-
kautšukite vastupidavus mineraalõlile on parem kui tavalis-
tel orgaanilistel kautšukitel. Mehaaniliste omaduste poolest
on aga silikoonkautšuk halvem kui teised sünteetilised kaut-
šukid ja naturaalkautšuk. Ka on ta väiksema kulumiskindluse-
ga. Silikoonkautšukit kasutatakse kuumuskindlate kummidetaili-
de ja tihendite valmistamiseks ning elektriisolatsioonima-
terjalina.

Peale lakkide ja kautšukite on räniorgaanilised polümeeri-
d kasutusel veel mitmeks muuks otstarbeks. Madalmolekulaar-
seid polümeere kasutatakse silikoonõlidenä. Neil on mine-
raalõlidega võrreldes mitmeid eeliseid. Silikoonõlidel on
väiksem lenduvus, kõrgem leektäpp ja madalam hangumistäpp,
nad on stabiilsemad oksüdatsiooni suhtes ning nende viskoossus
oleneb temperatuurist vähemal määral kui naftaõlidel. Sil-
koonõlidel on ka head dielektrilised omadused. Neid kasuta-

takse spetsiaalsete määrdeõlidena, elektriseadmetes isolatsioonõlidena, amortiseeriva ja hüdraulilise vedelikuna, soojuskandjana, valutöödel vormide määrimiseks, difusiooni-pumpades jne. Monomeersetele ja polümeersetele räniorgaanilistele vedelikele on iseloomulik hüdrofoobsus. Seetõttu kasutatakse neid mitmesuguste materjalide hüdrofobiseerimiseks (vett eemaletõrjuvate omaduste andmiseks). Väikese pindpinevuse tõttu vähendavad räniorgaanilised õlid vahu tekkimist, näiteks suure kiirusega pöörlevates hõõrdesõlmedes. Vahu tekkimise vältimiseks tuleb määrdeõlile lisada vaid veidi räniorgaanilist õli.

Räniorgaaniliste polümeeride tähtsus plastmassidena on väiksem. Nende hinnatavaks omaduseks on suur elektrisädeme- ja -kaarekindlus, mistõttu räniorgaanilisi plastmasse kasutatakse selliste elektriseadmete valmistamisel, mis peale pinget alluvad veel elektrisädeme ja -kaare toimele, näiteks kontaktorid. Räniorgaanilistel plastmassidel positiivseteks omadusteks on veel suur niiskus- ja kuumuskindlus.

Koos teiste vaikudega (fenoollormaldehüüd-, epoksü- ja polüestervaigud) kasutatakse räniorgaanilisi polümeere sageli ka klaasplastide valmistamisel. Teiste vaikude baasil saadud klaasplastidega võrreldes on räniorgaanilised klaasplastid väiksema mehaanilise tugevusega, kuid suure kuumuskindluse ja heade dielektriliste omadustega.

IV. POLÜMEERSED PINNAKATTED

Seadmete kaitsmiseks keskkonna mitmesuguste kahjustavate mõjutuste vastu kaetakse nad pinnakatetega. Õhuhapniku ja niiskuse tõttu roostetavad metallid ning mädaneb puit, korrodeerivalt mõjuvad seadmetele keemilised reaktiivid. Seadmete korrosioonivastase kaitsmise seisukohalt on suur tähtsus polümeersetel materjalidel, mille hulka kuuluvad osaliselt ka lakid ja värvid. Polümeerseid pinnakatteid (värvid ja lakid kaasa arvatud), kasutatakse kõigis rahvamajanduseharudes, eriti aga keemia-, nafta- ja toiduainete tööstuses, galvaanikas jms. Seadmete katmiseks kasutatavad materjalid peavad vastama mitmetele nõuetele. Kattekiht peab olema vastupidav ja hästi püsima kaitstavatel pinnal, ta ei tohi võimaldada kokkupuudet korrodeeriva keskkonnaga ning peab olema mehaaniliselt tugev. Et kõikidele nõuetele vastavaid universaalseid kattematerjale ei ole, tuleb igal konkreetsel juhul leida kõige sobivam kattematerjal.

Kaitsekihi hea püsivuse eelduseks on pinna eelnev hoolikas puhastamine roostest, mustusest ja rasvast. Mustuse ja rooste eemaldamiseks kasutatakse sageli liivapritse, rasv kõrvaldatakse aga orgaaniliste lahustite abil.

Lakkide ja värvidega katmisel tehakse kaitsekate hea mehaanilise tugevuse ja meeldiva välisilme saavutamiseks mitmekihilisena. Tüüpiline kaitsekiht koosneb järgmistest järjestikku pinnale kantavatest kihtidest: aluskruunt, kohalik või üldine pahteldus ja lõpuks värvikihid.

Aluskruundi ülesandeks on võimaldada head niduvust värvitava pinna värvi-lakikihi vahel. Kruunt kantakse pinnale vastava pihusti abil.

Pahteldamise eesmärgiks on värvitavate pindade silumine. Eristatakse kohalikku ja üldist pahteldust. Kohaliku pahteldusega silutakse üksikud suuremad ebatasasused ja kriimustused. Kohalik pahtel kantakse pinnale vastava laabidaga. Üldise pahtelduse puhul kantakse pahtel pinnale vedeldatud kujul vastava pulverisaatori abil. Pärast kuivamist pahtel lihvitakse.

Põhiliseks kattekihiks on värvi-lakikiht. Värvid-lakid kantakse pinnale harilikult mitme kihina pulverisaatori või pintsli abil. Värvikihtide optimaalseks paksuseks loetakse 0,1 mm. Paksema kihi puhul võib värv põrutuste ja vibratsiooni tõttu kergemini lahti tulla, õhem kiht ei kaitse aga pinda küllaldaselt keskkonna kahjustava toime vastu. Seadmete esitatavatest nõuetest ja töötingimustest olenevalt jäetakse vahel aluskruunt või pahteldus ära.

Lakkide-värvide tähtsaimaks osaks on kilemoodusti, mis kuivamisel annab kindla kaitsekihi. Kilemoodusteid on kolme liiki - looduslikud või sünteetilised vaigud, värnits (ja selle aseained) ning nende segud.

Laki koostisse kuuluvad üldisel juhul järgmised komponendid: kilemoodusti, lahusti, vedeldi, plastifikaator ja sikatiiv. Põhilisteks komponentideks on lahusti ja kilemoodusti, kuna teised komponendid võivad mõnel juhul ka puududa.

Lakkide puhul on kilemoodustiks kas looduslikud või sünteetilised vaigud, tselluloosi nitraadid (nitrotselluloos) ja nende segud. Nende omavahelise kombineerimisega võib saada mitmesuguste omadustega lakke.

Lahusti ülesandeks on kilemoodusti lahustamine. Lahusti koosneb tavaliselt mitmest komponendist, olles seega mitme orgaanilise lahusti segu. Segu koostise valimisel lähtutakse kilemoodusti omadustest. Et lahusti on küllalt hinnaline, kasutatakse vahel laki viskoossuse vähendamiseks odavamat orgaanilist lahustit, mida nimetatakse vedeldiks. Vedeldi ei tarvitse kilemoodustit lahustada nii hästi kui lahusti, kuid tema lisamine vähendab laki viskoossust ja kergendab selle kandmist pinnale. Vedeldi tuleb lisada ainult teatud koguses, sest liiga suure hulga vedeldi puhul võib kilemoodusti lakist välja sadestuda.

Plastifikaatoreid lisatakse lakkidele selleks, et moodustuv kaitsekile oleks elastsem. Ilma plastifikaatorita vananeb lakikile kiiremini, ta võib praguneda ja pinnalt kergemini lahti tulla.

Sikatiivide ülesandeks on kiirendada kile moodustumist. Nad toimivad oksüdatsioon- ja polümerisatsioonireaktsioonidele katalüütiliselt, mistõttu need reaktsioonid kiirenevad ja kile moodustub rutemini.

Kile võib moodustuda kahesuguselt. Kui lakk sisaldab peale lahusti ja vedeldi ainult vaiku või tselluloosi nitraati, moodustub kaitsekile lahusti aurumise teel. Seega on tegemist lihtsa füüsikalise protsessiga. Värnitsa puhul moodustub aga kile teisiti. Antud juhul toimuvad peale lahusti aurustumise veel oksüdatsioon- ja polümerisatsiooniprotsess, s.o. keemilised protsessid, mille tulemusena tekib kaitsekile.

Värvid koosnevad kilemoodustist ja pigmentidest. Pigmentideks on looduslikud või kunstlikud värvilised ained, mis lisatakse kilemoodustile peene pulbrina. Pigment ei lahustu, vaid moodustub suspensioon. Peale värvile vajaliku tooni andmise suurendavad pigmendid värvikihi püsivust ja niiduvust.

Kasutatavast kilemoodustist olenevalt jagatakse värvid õlivärvideks ja emailvärvideks. Õlivärvid koosnevad värnitsast ja pigmentidest, emailvärvid lakist ja pigmentidest. Õlivärvid, eriti naturaalse värnitsa baasil valmistatud õlivärvid, annavad nii atmosfääri kui ka mehaanilistele mõjutustele vastupidava kattekihi. Sünteetiliste värnitsate baasil valmistatud õlivärvid on vähem püsivad. Õlivärvide puuduseks on pikk kuivamisae (24 tundi) ja läike puudumine. Ka on õlivärvid suhteliselt kallid.

Emailvärvidest on tähtsaimad glüftaal- ja nitroemailvärvid. Glüftaalemailvärvides on kilemoodustiks sünteetiline glüftaalvaik, millele sageli lisatakse kile elastsuse suurendamiseks vähesel määral värnitsat. Lahustite ja vedelditena kasutatakse glüftaalvärvide puhul "white-spiritit", solventnaftat, ksüloole jt. Glüftaalemailidel on hea niiduvus

värvitava pinnaga. Tekkiv kaitsekiht on vastupidav atmosfääri mõjutustele, on hea kattevõime ja läikega. Nitroemalvärvides on kilemoodustiks tselluloosi nitraat kolloksiliin, mida saadakse tselluloosi töötlemisel lämmastik- ja väävelhappe seguga. Peale kolloksiliini lisatakse nitroemalvärvidele ka vaike. Viimased parandavad värvi niduvust pinnaga ja annavad kattele parema läike. Lahustitena kasutatakse nitroemalide puhul atsetooni, atsetaate, alkohole ja aromaatseid süsivesinikke. Neid lahusteid kasutatakse seguna teatud vahekorras. Nitroemalvärvid kuivavad kiiresti.

Mitmesugused plastmassid kantakse pinnale lakina, õhukeste lehtedena, kilena või pulbrikujulisena mingil pihustusmeetodil. Ka siin on eeltingimuseks kaetava pinna puhtus ja täiendavalt veel siledus. Plastmassist lehed ja kiled liimitakse kaetava seadme pinnale või keevitatakse vastavakujuline vooder, mis asetatakse reaktorisse või mahutisse lahtisena.

Kattematerjalina kasutatavatest plastmassidest on tähtsamad polüetüleen, polüpropüleen, polüisobutüleen, polüvinüülkloriid ja fluorplastid.

Polüetüleeniga katmisel kasutatakse kilede või õhukeste lehtede keevitamist või gaasleekpihustust. Väiksemaid detaile on võimalik katta ka keerispihustusmeetodil. Liimimine ei anna polüetüleeni puhul rahuldavaid tulemusi. Gaasleekpihustusel on mitmeid eeliseid, võrreldes enam tuntud meetoditega (katmine lakkide või lehtede ja kilega). Sellel meetodil on võimalik saada mitmesuguse paksusega kaitsekatet ning teda võib peale polüetüleeni kasutada ka mitmete teiste polümeeride puhul. Plastmassist lehtede liimimisega võrreldes saavutatakse materjali tunduv kokkuhoid, lakkmeetoditega võrreldes ei kasutata lahusteid. Ka adhesioon materjalidega on suurem kui teistel meetoditel.

Gaasleekpihustuse puhul kasutatakse pulbrilist plastmassi, mis pihustatakse kaetavale pinnale läbi gaasileegi. Lennul läbi leegi plastmassi osakesed kuumenevad ja sulavad. Põrgates sulas olekus vastu kaetavat pinda kleepuvad nad tugevasti sellele ja moodustavad kaetaval pinnal omava-

nel liitudes tiheda ühtlase kile. Selliseid kihte võib soo-
vi korral kanda pinnale mitu. Katmiseks on kõige sobivamad
teras, malm, nende valu ja kerged metallid. Kaetav materjal
tuleb eelnevalt puhastada ja ette soojustada. NSV Liidus
toodetakse gaasleekpühustuseks aparaati VIIIH-4, mis koosneb
pühustuspüstolist, toitepaagist ning mõõteriistade ja regu-
leerimisseadmete kilbist. Gaasleekpühustusel on võimalik katta
igasuguse konfiguratsiooniga esemeid, millele on võimalik
püstoliga ligi pääseda.

Keerispühustusmeetodil kaetav ese, mis on kuumutatud va-
jaliku temperatuurini, asetatakse nõusse, kus on hõljuvas
olekus peenike plastmassipulber. Ese kattub pulbriga, mis su-
lab eseme pinnal ja moodustab ühtlase kihi. Jahtumisel tõm-
bub kile teatud määral kokku ja moodustab eseme ümber tihe-
dalt kinnituva kaitsekile. Sel meetodil saab katta ainult
väiksemaid esemeid.

Mitmesuguste mahutite katmisel polüvinüülkloriidiga
(kas vinüülplastina või osaliselt plastifitseeritult) kasu-
tatakse liimimist perkloorvinüüllimiga. Viimane saadakse
perkloorvinüüli lahustamisel diklooretaanis. Kasutatakse 10-
20-protsendilisi lahuseid. Selle liimi abil on võimalik
vinüülplasti liimida metallile, betoonile ja puidule. Liim
kantakse pindadele (nii plastmassile kui ka kaetavale sead-
mele) mitme kihina ja pärast osalist kuivamist surutakse
eelnevalt parajaks lõigatud lehed vastu mahuti pinda. Me-
tallmahuti puhul on soovitatav kaetavaid seinu enne lehte-
de kinnivajutamist väljastpoolt kuumutada 140° temperatuu-
rini. Saadav kate on vastupidav hapetele ja leelistele ning
mõnedele orgaanilistele lahustitele.

Polüisobutüleeniga kaetakse madalamatel temperatuuri-
del töötavaid seadmeid, mida on vaja kaitsta hapete või
leeliste korrodeeriva toime vastu. Metallide katmiseks ka-
sutatav polüisobutüleen on püsiv hapete ja leeliste toime
suhtes, kuid on võrdlemisi madala pehmenemistemperatuuri ja
mehaanilise tugevusega. Ta ei ole püsiv bensiinide ja õlide
suhtes.

Fluorplastide kasutamine korrosioonikindla kattematerja-
lina on seotud mitmete tehnoloogiliste raskustega, sest nad on

halvasti liimitavad ja keevitatavad. Fluorplast-4 puhul kasutatakse reaktorite vooderdamisel spetsiaalseid liimimis- ja keevitusmeetodeid. Fluorplast-4 on vastupidav praktiliselt kõikidele korrodeerivatele ainetele ja on kattematerjalina kasutatav temperatuuride intervallis - 195 kuni 250°.

Fluorplast-3 kasutatakse kattematerjalina peamiselt suspensiooni kujul, mis pärast kuumutamist moodustab pinnal ühtlase kile. Ta on kasutatav temperatuuride intervallis -195 kuni +100°. Suspensiooni on võimalik kasutada selliste materjalide katmiseks, mis kannatavad kuumutamist 260-270 kraadini. Sellel temperatuuril fluorplast-3 sulab. Suurema püsivuse andmiseks on soovitatav pinnakatet karastada. Seda tehakse materjali kiire jahutamise teel.

Aparaatide katmiseks kasutatakse ka kautšuki baasil saadavaid materjale - kummi ja eboniiti. Need materjalid on vastupidavad lahjendatud mineraalhapetele, kontsentreeritud leelistele, orgaanilistele hapetele ja polaarsetele lahustitele. Kummi ja eboniidi puhul kaetakse seadmed toorkummi, kummiliimide või lateksitega, seejärel vulkaniseeritakse.

Resoolitüüpi fenoolfomaldehüüdvaigu happekindla asbesti ja grafiidi baasil saadakse happekindel kattematerjal faoliit, mida toodetakse toorfaoliitlehtedena ja määrdena. Faoliitlehed muutuvad vähesel kuumutamisel kergesti vormitavateks, mistõttu nendega on hõlbus katta reaktorit või mahutit. Iditekohad tihendatakse toorfaoliidist määrdega. Faoliidi kõvendamine toimub kõrgendatud temperatuuril. Selleks tõstetakse temperatuur pikemaööda 120-130 kraadini ja kõvendatakse kolm tundi. Faoliiti kasutatakse ka iseseisvalt konstruktsioonilise materjalina.

Korroosioonivastastest lakkidest kasutatakse rohkesti bakeliitlakki, mis kujutab endast resoolvaigu piirituslahust. Ta ei ole aga kangete hapete ja oksüdeerijate suhtes püsiv. Lakk vajab kõvendamiseks kõrgemat temperatuuri (kuni 170°).

Räniorgaanilisi lakke kasutatakse juhul, kui seade töötab kõrgel temperatuuril. Alumiiniumipulbriga pigmenteeritud silikoonlakkid võivad töötada 450-500° temperatuurideni.

Perkloorvinüül on levinud mitte ainult liimina, vaid ka lakina ja emailina mitmesuguste materjalide katmiseks. Tal on hea adhesioon metallide ja ehitusmaterjalidega. Lakid on vastupidavad mitmetele hapetele, leelistele ja soolalahustele.

Soovitatav kirjandus

1. А.А. Стрелихеев, В.А. Деревицкая, Основы химии высокомолекулярных соединений, 1961.
2. Б.А.Архангельский, Пластические массы, 1961.
3. Неметаллические материалы, Справочник, 1962.
4. М.И. Гарбар, И.В. Растанин, Пластмассы и синтетические смолы в строительстве, 1960.
5. А.К. Варденбург, Пластические массы в электротехнической промышленности, 1963.
6. Н.П. Федоренко, Экономика промышленности синтетических материалов, 1961.
7. Новые материалы в технике, 1962.
8. А.Ф. Николаев, Синтетические полимеры и пластические массы на их основе, 1964.

Samal kirjandust on kasutatud ka konspekti koostamisel.

S I S U K O R D

	Eessõna	3
	Sissejuhatus	4
I.	ÜLDMÕISTED	
	1. Polümeerid ja polümeersed materjalid	5
	2. Polümeeride omaduste sõltuvus makromolekulide ehitusest	6
	3. Polümeeride füüsikaline olek	8
	4. Polümeeride orientatsioon	9
	5. Polümeeride klassifikatsioon	10
	6. Polümeeride sünteesi meetodid	11
	7. Sünteetiliste polümeeride toorainebaas	15
	8. Polümeersetes materjalides kasutatavad komponendid	15
	9. Plastmasside põhilised tehnilised omadused	16
	10. Plastmasside töötlemise meetodid	19
	11. Plastmasside keevitamine	22
II.	SÜSINIKAHELPOLÜMEERID	
	① Polüetüleen	25
	2. Polüpropüleen	27
	3. Polüisobutüleen	28
	④ Polüstürool	29
	⑤ Polüvinüülkloriid	31
	6. Polütetrafluoretüleen ehk fluorplast-4	34
	7. Polümetüülmetakrülaad	36
	8. Polüvinüülatsetaat ja tema derivaadid	37
	9. Sünteetilised kautšukid	39
III.	HETEROAHEL- JA TEISED POLÜMEERID	
	1. Polüformaldehüüd	45
	2. Polüamiidid	46
	3. Polüestervaigud	48
	4. Polüuretaanid	50
	5. Epoksüvaigud	52
	6. Fenoolformaldehüüdvaigud ja nende baasil saadavad materjalid	54
	7. Karbamiidvaigud ja nende baasil saadavad materjalid	56
	⑧ Ränioorgaanilised polümeerid	58
IV.	POLÜMEERSED PINNAKATTED	61
	Soovitav kirjandus	67

1100 13 kop.

A-27631.

TÜ RAAMATUKOGU



1 0300 00399364 1