Olga KIZINIEVIČ
Ramunė ŽURAUSKIENĖ

INOVATYVIOS POLIMERINĖS STATYBINĖS MEDŽIAGOS IR DIRBINIAI

Vilnius „Technika“ 2012

VILNIAUS GEDIMINO TECHNIKOS UNIVERSITETAS

Olga KIZINIEVIČ
Ramunė ŽURAUSKIENĖ

INOVATYVIOS POLIMERINĖS STATYBINĖS MEDŽIAGOS IR DIRBINIAI

Mokomoji knyga

Vilnius „Technika“ 2012

UDK 691.1(075.8)
Ki262

O. Kizinievič, R. Žurauskienė. Inovatyvios polimerinės statybinės medžiagos ir dirbiniai: mokomoji knyga. Vilnius: Technika, 2012.
104 p.

Mokomojoje knygoje aprašytos polimerinės statybinės medžiagos ir dirbiniai. Trumpai pateikta polimerinių statybinių medžiagų kūrimo istorija, gamybos technologijos, savybės, naudojimo galimybės.

Mokomoji knyga skirta studentams, studijuojantiems pagal antrosios pakopos studijų programą Statybos medžiagos ir dirbiniai, ja galės naudotis ir Statybinių medžiagų studijų programos studentai. Taip pat ji bus naudinga pirmosios pakopos nuolatinių ir išstėtinių studijų studentams, studijuojantiems Medžiagotyros, Statybinių medžiagų ir kitas disciplinas. Mokomoji knyga galės būti naudinga rengiant bakalauro ar magistro baigiamuosius darbus.

Recenzavo: Asta Kičaitė, VGTU Statybinių medžiagų katedra,
Darius Zabulionis, VGTU Skaitinio modeliavimo laboratorija

VGTU leidyklos TECHNIKA 1281-S mokomosios
metodinės literatūros knyga

<http://leidykla.vgtu.lt>

ISBN 978-609-457-165-7
eISBN 978-609-457-164-0
doi: 10.3846/1281-S

© Olga Kizinievič, 2012
© Ramunė Žurauskienė, 2012
© VGTU leidykla TECHNIKA, 2012

Turinys

Įvadas	4
1. Bendros žinios apie polimerus	5
1.1. Makromolekulės	6
1.2. Polimerų sintezė	9
1.3. Polimerų klasifikacija	10
1.4. Plastikų priedai	18
2. Termoplastikai	21
2.1. Polistireninis putplastis (PS)	21
2.2. Polivinilchloridas (PVC)	36
2.3. Polietilenas (PE)	49
2.4. Polipropilenas (PP)	59
3. Reaktoplastikai	66
3.1. Polikondensaciniai reaktoplastikai	66
3.2. Poliadiciniai reaktoplastikai	69
3.3. Polimerizaciniai reaktoplastikai	73
4. Kompozitinės polimerinės medžiagos ir dirbiniai	74
4.1. Daugiasluoksnės plokštės („sendvič“ tipo)	75
4.2. Dirbiniai iš medienos ir plastiko kompozitų	78
4.3. Sluoksniuotieji gaminiai iš plastikų	84
4.4. Polimerbetonis	87
4.5. Polimeriniai dirbiniai, armuoti pluoštais	90
Literatūra	104

Ivadas

Polimerinės statybinės medžiagos ir dirbiniai šiuolaikiniame pasaulyje vis dažniau pakeičia tradicines natūralias medžiagas. Polimerinių statybinių medžiagų poreikis nuolat auga, kuriama vis daugiau šių medžiagų rūšių. Žinios apie polimerines statybines medžiagas ir dirbinius bei iš jų sudarytus kompozitus reikalingos tiek specialistams, gaminantiems, projektuojantiems ir statantiems, tiek šių medžiagų vartotojams.

Mokomosios knygos pradžioje pateikiamos bendrosios žinios apie polimerus ir jų gamybos technologijas. Toliau aprašomos termoplastinės ir reaktoplastinės polimerinės medžiagos, jų žaliavos, gavimas, naudojimas.

Taip pat mokomojoje knygoje apibūdinti kompozitinių polimerinių medžiagų ir dirbinių kūrimo metodai, dirbinių savybės, naudojimo galimybės.

Autorių nuomone, mokomoji knyga gali būti naudinga Lietuvos universitetų ir kolegijų studentams, studijuojantiems Medžiagotyros, Statybinių medžiagų, Statybinių polimerų ir Polimerinių medžiagų bei dirbinių disciplinas, rengiantiems baigiamuosius darbus.

Dėkojame recenzentams už vertingus siūlymus ir pastabas.

1. BENDROS ŽINIOS APIE POLIMERUS

Polimerais vadinami stambiamolekuliai junginiai, susidedantys iš daug kartų pasikartojančių vienodų arba skirtingų atomų grupių – mažos molekulinės masės junginių – monomerų, tarp kurių veikia kovalentinio ryšio jėgos. Polimero pavadinimas susideda iš dviejų dalių: priešdėlio *poli-* ir grandinės sandaros grandžių pavadinimų (pvz., polimeras, gautas iš etileno (eteno), vadinamas polietilenu, iš stireno – polistirenu). Polimerai yra pagrindinė ir svarbiausioji plastikų, arba plastmasių, dalis. Žinių apie polimerus nuolat gausėja ir jos yra nuolat atnaujinamos. Šiuo metu pasaulyje nėra žmogaus veiklos srities, kuriose nebūtų naudojama polimerų arba jų gaminių. Polimerai yra sudaryti iš ilgų, lanksčių, asimetrinių, galinčių keisti pavidalą makromolekulių. Tarp molekulių pasireiškia tarpmolekulinė sąveika. Polimerai nėra vienalyčiai, juose gali būti ir kristalinių, ir amorfinių sričių. Ištirpę polimerai sudaro tikruosius tirpalus. Tikrieji – tai tokie, kuriuose yra tolygiai pasiskirstę tirpinio atomai, molekulės ar jonai.

Polimerinių statybinių medžiagų ir dirbinių paklausa, gamyba ir naudojimas didėja, nes jiems būdingos tokios fizikinės-mechaninės ir technologinės savybės, kurių neturi tradicinės medžiagos. Kartu su metalais, keramika ir mediena polimerai yra svarbi statybinių medžiagų grupė. Per pastaruosius 10 metų polimerinių statybinių medžiagų gamyba išaugo 12 kartų. Statybinių medžiagų pramonėje kasmet naudojama daugiau nei 30 % visų pasaulyje pagamintų plastikų. Polimerai susidaro cheminių ir terminių procesų metu, tačiau temperatūros ir energijos sąnaudos jiems pagaminti dažniausiai būna gerokai mažesnės nei tradicinių statybinių medžiagų. Polimerai yra įvairaus tankio (nuo 800 iki 2000 kg/m³, putplasčių – tik viena ar kelios dešimtys kg/m³), jų labai įvairios mechaninės (pvz., elastomerai, armuotieji plastikai) ir optinės (pvz., poliakrilatiniai, epoksidiniai plastikai) savybės. Yra polimerų, kurie atsparūs ne tik atmosferos, bet ir cheminių medžiagų poveikiui.

1.1. Makromolekulės

Makromolekulės (gr. *makros* – didelis, ilgas, lot. *molecula* – maža masė) yra ypatinga molekulių rūšis. Makromolekules sudaro tūkstančiai ar šimtai tūkstančių atomų. Kiekvienoje makromolekulėje yra bent viena grandinė. Atomai grandinėje sujungti nepoliniais ir (arba) poliniais kovalentiniais ryšiais. Dėl aktyviųjų centrų gausos sąveika tarp makromolekulių yra daug stipresnė negu mažamolekulių junginių tarpmolekulinė sąveika. Dėl ypatingos makromolekulių sandaros iš jų sudarytos medžiagos (polimerai) ir jų savybės labai skiriasi nuo kitų mažamolekulių medžiagų ir savybių.

Kiekvienos makromolekulės grandinę sudaro grandys. Skiriamos sandaros ir monomero grandys. Makromolekules sudaro į grandines susijungusios monomerų grandys. Sandaros grandį sudaro polimere nuosekliai besikartojantys viena tvarka sujungti grandinės atomai arba atomų grupės. Pvz., polietileno sandaros grandis yra $-\text{CH}_2-$, jo monomero grandis $-\text{CH}_2-\text{CH}_2$. Kai kurių polimerų grandinių grandys ir monomerai pateikti 1.1 lentelėje.

Monomero grandžių skaičius makromolekulėje vadinamas *polimerizacijos laipsniu*. Pažymėjus polimerizacijos laipsnį raide P , priklausomybė tarp makromolekulės molekulinės masės (M) ir monomero grandies molekulinės masės (m), bus tokia:

$$M = m \cdot P, \quad (1.1)$$

čia M – makromolekulės molekulinė masė; m – monomero grandies molekulinė masė; P – polimerizacijos laipsnis.

Polimerų formulėse polimerizacijos laipsnis paprastai žymimas raide n . Pvz., polipropileno makromolekulės, kurios $P = 1000$, santykinė molekulinė masė $M = 42\,000$. Polimero polimerizacijos laipsnio ir jo molekulinės masės vertės yra vidutinės.

Polimerams būdinga tai, kad mažiausia dalelė reakcijose gali būti ne tik makromolekulė, bet ir jos grandinės atkarpa, arba grandis.

Pagal geometrinę formą makromolekulės skirstomos į *linijines*, *šakotąsias* ir *tinklines (erdvines)*.

1.1 lentelė. Kai kurių polimerų grandinių grandys ir monomerai

Polimeras	Monomeras	Monomero grandys	Sandaros grandys	Grandinės atomai
Poli-etilenas	$\text{CH}_2 = \text{CH}_2$	$-\text{CH}_2-\text{CH}_2-$	$-\text{CH}_2-$	C
Poli-propilenas	$\begin{array}{c} \text{CH}_2 = \\ \text{CH}(\text{CH}_3) \end{array}$	$-\text{CH}_2-\text{CH}(\text{CH}_3)-$	$-\text{CH}_2-$ ir $-\text{CH}(\text{CH}_3)-$	C
Poli-stirenas	$\begin{array}{c} \text{CH}_2 = \text{CH} \\ \\ \text{C}_6\text{H}_5 \end{array}$	$\begin{array}{c} -\text{CH}_2-\text{CH}- \\ \\ \text{C}_6\text{H}_5 \end{array}$	$-\text{CH}_2-$ ir $-\text{CH}-$ $ $ C_6H_5	C
Polivinilchloridas	$\text{CH}_2 = \text{CHCl}$	$-\text{CH}_2-\text{CHCl}-$	$-\text{CH}_2-$ ir $-\text{CH}-$ $ $ Cl	C

Linijinių makromolekulių grandinės yra ilgos ($-\text{M}-\text{M}-\text{M}-\text{M}-\text{M}-\text{M}-$) ir neturi atšakų (pvz., polietilenas $(-\text{CH}_2-\text{CH}_2-)_n$), čia M yra monomero molekulė, o brūkšneliais pažymėtas – cheminis ryšys. Linijiniuose polimeruose susijungę monomerai sudaro ilgą grandinę. Tokio polimero struktūrą sudaro daugybė linijinių makromolekulių, tarp kurių veikia tarpmolekulinės jėgos, turinčios didelę įtaką polimero tankiui ir jo mechaninėms savybėms.

Šakotosiose makromolekulėse prie pagrindinės grandinės yra prisijungusios įvairaus ilgio atšakos – šoninės grandinės (1.1 pav.). Atšakų cheminė sudėtis gali būti tokia pati, arba kaip yra skiepytųjų kopolimerų atveju, skirtis nuo pagrindinės grandinės grandžių cheminės sudėties. Tačiau atšakomis negali būti laikomi net ir daugiaatomiai monomero grandžių H pakaitai. Šakotosios struktūros polimeruose tarpmolekulinės jėgos yra silpnesnės.

Šakotosios ir linijinės makromolekulės apibūdinamos pagal jų vidutinę molekulinę masę $\overline{M}$ ir cheminę sudėtį. Šakotosios makromolekulės turi dar vieną jas apibūdinantį parametą – šakotumo laipsnį. Jis parodo atšakų skaičių atkarpoje, kurią sudaro 1000 pagrindinės grandinės atomų.

1.1 pav. Šakotosios struktūros makromolekulės

Mažo tankio polietileno makromolekulių atkarpose yra nuo 20 iki 40 atšakų. Tokio polimero savybės labai skiriasi nuo didelio tankio polietileno savybių, kurio makromolekulės 100 anglies atomų ilgio pagrindinės grandinės atkarpoje vidutiniškai yra 5–10 atšakų.

Tinklinėse (erdvinėse) makromolekulėse kai kurie kaimyninių grandinių atomai tarpusavyje sujungti (susiūti) kovalentiniais ryšiais arba atomų grandinėėmis – tilteliais (1.2 pav.).

1.2 pav. Tinklinės struktūros makromolekulės

Netvarkingai susiūtos tinklinės makromolekulės atsiranda dėl polimerų sintezės metu vykstančių šalutinių reakcijų arba tarp linijinių ir šakotųjų makromolekulių susidarius naujiems skersiniams ryšiams, kuriuose yra keletas arba keliolika atomų, kurie gali būti kitokie nei pagrindinėje grandinėje.

Yra dvi polimerų fazinės būsenos – *amorfinė* ir *kristalinė*.

Amorfinė. Linijinių polimerų struktūra netvarkinga – jų grandinės susisukusios ir susipynusios. Šios būsenos gali būti kieti ir skysti polimerai.

Kristalinė. Polimerų molekulės yra gana ilgos, lanksčios, todėl kai kurios šių grandžių zonos gali būti išsidėsčiusios tvarkingai (tokios zonos savybėmis primena kristalus). Kristalinės būsenos būna tik kietosios agregatinės būsenos polimerai. Praktikoje abu būviai egzistuoja kartu, nes vien kristalinio būvio išgauti nepavyksta.

1.2. Polimerų sintezė

Stambiamolekuliai junginiai gali būti išskirti iš gamtinių medžiagų, gauti chemiškai modifikuojant polimerus arba susintetinti iš mažamolekulių junginių. Polimerų sintezė iš monomerų – lengvai aktyvinamų, dvigubųjų, trigubųjų ryšių arba ne mažiau kaip dvi funkcinės grupės turinčių, taip pat ciklinių junginių vadinama polimerizacija. Dažniausiai skiriami tokie polimerų sintezės būdai:

– grandininė polimerizacija:

čia M_n^* – polimero grandinė, M – monomero molekulė.

– polieliminavimas (kondensacinė grandininė polimerizacija):

čia M_m – monomerų reakcijos produktų molekulė.

– polikondensacija:

čia S – šalutinis produktas.

– poliadicija (polimerinis jungimasis):

Polimerizacijos proceso metu prie polimero grandinės aktyviojo centro M^* jungiasi monomero molekulės. Aktyvusis grandinės centras gali būti radikalas (radikalinė polimerizacija) arba jonas (joninė polimerizacija). Susidariusio polimero pagrindinės grandies elementinė sudėtis tokia pati kaip ir monomero.

Polieliminavimo metu prie polimero grandinės aktyviojo centro jungiasi tik monomero molekulės ir atskykla mažamolekuliai junginiai. Tokiu būdu susidaro daugelis biopolimerų (pvz., celiuliozė, baltymai (proteinai)).

Polikondensacijos sintezės procese į grandines jungiasi monomerai ir visi reakcijos metu iš monomerų susidarę junginiai. Taip pat susidaro mažamolekuliai reakcijos produktai.

Poliadicijos procesas vyksta panašiai kaip ir polikondensacijos procesas, tačiau proceso metu nesusidaro mažamolekulių junginių.

Vieną polimerų sintezės būdą atskirti nuo kito galima pagal polimero vidutinio polimerizacijos laipsnio P priklausomybę nuo monomero konversijos laipsnio q . Monomero konversijos laipsnis rodo, kuri dalis arba kiek procentų monomero sureagavo, t. y. susijungė į grandines.

Pagrindinė monomerų sintezės žaliava yra nafta ir gamtinės dujos. Polimerų sintezei taip pat naudojami monomerai, gauti perdirbant akmens anglis, polisacharidus (pvz., celiuliozė).

1.3. Polimerų klasifikacija

Polimerai gali būti klasifikuojami pagal kilmę, paskirtį, naudojimą, savybes. Pagal kilmę polimerai skirstomi taip: *gamtiniai* (pvz., celiuliozė, krakmolas, vilna, šilkas, oda, baltymai, natūralus kaučiukas), *dirbtiniai* (pvz., viskozė, kazeinas), *sintetiniai*.

Gamtiniai stambiamolekuliai junginiai išskiriami iš gamtinių medžiagų šalinant priemaišas ir mažamolekulius junginius (pvz., celiuliozė gaunama iš medienos, medvilnės pluošto atskyrus kitus komponentus).

Dirbtiniai polimerai gaunami cheminės reakcijos metu pakeičiant gamtinių stambiamolekulių junginių cheminę sudėtį.

Sintetiniai polimerai – tai polimerai, gauti iš mažamolekulių junginių – monomerų. Šių polimerų yra daug, todėl jie gali būti dar skirstomi pagal anksčiau minėtus sintezės būdus.

Pagal naudojimą polimerai klasifikuojami (1.3 pav.) taip: *plastikai*, *elastomerai*, *pluoštai*.

1.3 pav. Polimerų klasifikacija pagal naudojimą ir pagal savybių pokyčius šildant

Plastikai gaunami plastomerus sumaišius su priedais (užpildais, plastifikatoriais, dažikliais). Pagal savybių pokyčius šildant jie dar skirstomi į *termoplastinius* ir *reaktoplastinius polimerus* (1.3 pav.).

Termoplastiniai polimerai – tai linijinės ir šakotosios struktūros polimerai. Termoplastiniai polimerai yra tokie, kurie minkštėja aukštesnėje temperatūroje ir kietėja ataušę. Tokie polimerai daug kartų iš kietų arba labai elastingų pasidaro klampiai takūs ir priešingai, nesikeičiant jų cheminei sudėčiai ir molekulinei struktūrai. Šios grupės polimerai tirpsta kai kuriuose organiniuose ir mineraliniuose tirpikliuose. Didžioji dalis termoplastikų sintetinami iš naftos perdirbimo produktų (dujų: eteno, propeno, buteno) ir iš jų darinių (vinilchlorido, stireno) arba iš gamtinių dujų ir jų kondensato.

Tinklinės struktūros polimerai – *reaktoplastikai* (*duroplastikai*) deformuojasi mažai ir grįžtamai, šildomi jie nekeičia formos ir būsenos. Jie netinka pakartotinai perdirbti ir nepereina į klampų būvį kaitinant. Tinklinės struktūros polimerai gaunami linijinius polimerus su specialiais priedais šildant (vulkanizacija), veikiant didelės energijos spinduliais (ultravioletiniais, rentgeno, infraraudonaisiais) arba naudojant specialias medžiagas – kietiklius.

Elastomerai yra polimerai, sudaryti iš retai susiūtų makromolekulių. Jų grįžtamoji deformacija eksploataavimo metu yra didelė (pvz., gumos).

Pluoštus sudaro pluošto ašies atžvilgiu orientuotos makromolekulės. Tokio polimero bandinio stipris šia kryptimi – didžiausias. Tai anizotropinės medžiagos. Eksploatacijos metu pluoštai deformuojasi mažai ir grįžtamai, kai kurie jų šildomi gali elgtis kaip termoplastikai ir reaktoplastikai.

Plastikai taip pat gali būti skirstomi pagal *rišamąją medžiagą, plastikų sudėtį*. Kaip rišamosios medžiagos gali būti sintetiniai polimerai, gauti polimerizacijos arba polikondensacijos būdu, taip pat chemiškai modifikuoti gamtiniai polimerai, bituminės dervos. Pagal sudėtį plastikai skirstomi į vienalytes paprastos struktūros medžiagas ir nevienalytes sudėtingos struktūros medžiagas.

1.3.1. Termoplastikai

Termoplastikai kaitinami minkštėja, lydosi, o ataušinti vėl sukietėja ir atgauna pirmykštės savybes. Juos galima pakartotinai išlydyti ir perdirbti į gaminius. Formuojami jie susitraukia apie 1–3 %. Kadangi tarp polimero grandžių yra tik nestiprus tarpmolekulinis ryšys, gaminiai yra elastingi, netrapūs. Gerų eksploatacinių savybių termoplastikus galima pagaminti iš daugiau kaip penkių šimtų įvairios sudėties polimerų, tačiau pramonėje naudojama nuo 30 iki 40 polimerų. Pagal paskirtį visus termoplastikus galima suskirstyti į tokias grupes: *plataus vartojimo, techninius, specialiuosius*.

Plataus vartojimo termoplastikai tinkami įvairiems gaminiams – pakavimo plėvelėms, talpykloms, technikos detalėms, grindų ir izoliacinėms dangoms ir t. t. *Techniniai termoplastikai* sudaro 3–4 % visų gaminamų plastikų. Jie yra geresnių fizikinių-mechaninių savybių negu plataus vartojimo termoplastikai. *Specialieji termoplastikai* – tai techniniai termoplastikai, kurių savybės ypač vertingos (pvz., atsparumas karščiui, tamprumo modulis ir pan.). Šie gaminiai yra labai brangūs ir jų gaminama tik apie 0,2 % iš viso termoplastikų kiekio.

Pirmieji plataus vartojimo sintetiniai termoplastikai (polistirenas, polivinilchloridas) pramoniniu būdu pradėti gaminti 1930 m. Vokietijoje, chemijos koncerno „IG Farbenindustrie“. Iš termoplastikų plačiausiai naudojami polietilenas, polipropilenas, polivinilchloridas, polistirenas. Apie 70 % naudojamų termoplastikų gamybos apimtį sudaro polietileno ir polivinilchlorido gamyba.

Kai kurių termoplastikų fizikinės-mechaninės savybės pateiktos 1.2 lentelėje.

1.2 lentelė. Kai kurių termoplastikų fizikinės-mechaninės savybės

Savybės ir matavimo vienetai	Termoplastikų pavadinimas				
	PE		PP	PVC	PS
	mažo tankio	didelio tankio			
ρ , kg/m ³	915–925	940–960	900–930	1350	1050–1080
DT, °C, (min/max)	–50/70	–60/100	–5/150	–15/50	–40/65
LT, °C	115	135	176	–	–
E, MPa	19	860	1400	3400	4100
HB	14–25	45–63	80–90	30–120	140–150
σ , MPa	10	31	35	48	37
ϵ , %	800	1200	700	60	0,9

Pastaba: PE – polietilenas, PP – polipropilenas, PVC – polivinilchloridas, PS – polistirenas, ρ – tankis, DT – darbo temperatūra, LT – lydymosi temperatūra, E – tamprumo modulis, HB – kietumas pagal Brinelių, σ – trūkio įtempis, ϵ – santykinis trūkstamasis pailgėjimas.

Termoplastiniams gaminiams formuoti dažniausiai taikomi šie būdai: liejimas slegiant, išcentrinis liejimas, ekstruzija, pūtimas, vakuuminis ir pneumatinis formavimas, štapavimas, presavimas, laisvasis liejimas.

Liejimu slegiant dažniausiai gaminamos sudėtingos formos detalės. Suminkštinta iki klampiai tokios būklės žaliava įpresuojama į pašildytą liejimo formą. Forma vėliau yra ataušinama vandeniu. Plastikui sukietėjus preso forma atidaroma ir detalė išstumiami stūmok-

liais. Šiuo formavimo būdu pagaminamas didžiausias įvairių dirbinių kiekis. Formoje iš karto galima formuoti vieną ar keletą dirbinių ar jų detalių. Preso formos pavyzdys pateiktas 1.4 paveiksle.

Išscentrinio liejimo būdu išlydytas termoplastikas pilamas į karštą cilindrinę besisukančią formą, o išscentrinė jėga prispaudžia polimerą prie formos sienelių ir sutankina. Vėliau forma ataušinama ir sustabdoma, o ruošinys apdirbamas mechanškai. Tokiu būdu dažniausiai gaminami storasieniai vamzdžiai, krumpliaračiai ir kt. termoplastiniai gaminiai.

1.4 pav. Preso formos pavyzdys, kai formuojama liejimu slegiant:
1 – išlydyto termoplastinio polimero tiekimo galvutė; 2 – įpurškimo antgalis; 3 – nejudančioji preso formos dalis; 4 – temperatūros reguliavimo kanalai; 5 – formos kreiptuvai; 6 – judanti formos dalis; 7 – inžektorius; 8 – tuščia dirbinio formos ertmė

Ekstruzija – tai klampiai tokios būklės termoplastiko išspaudimas pro tam tikros formos antgalį. Šis gamybos procesas yra nenutrūkstamas. Ekstruderyje kaitinama žaliava suminkštėja ir besisukančiu sraigtiniu velenu įpresuojama į formavimo galvutę, kurioje plastikui suteikiama tam tikra forma. Išeinantis iš formos plastikas aušinamas ir jau išlaiko jam suteiktą formą (šis gamybos būdas plačiau aprašytas kituose skyriuose). Šiuo būdu gaminami įvairūs profiliai, strypai, vamzdžiai ir kt. gaminiai.

Pūtimo būdu gaminami tuščiaviduriai dirbiniai: indai, talpyklos, plėvelės (aprašyta 2.3.1 skyriuje).

Vakuuminis ir pneumatinis formavimas. Šiems procesams naudojami ploni polimetilmetakrilato, polistireno, polivinilchlorido lakštai. Prieš formuojant lakštai įkaitinami iki didelio elastingumo būsenos. Formos kameroje sudaromas vakuumas, lakštas prispaudžiamas prie formos sienelių, vėliau aušinamas. Esant storiems lakštams, vakuuminis būdas papildomas pneumatiniu. Formavimo vakuuminiu ir pneumatiniu presavimu principas pateiktas 1.5 paveiksle.

1.5 pav. Formavimo vakuuminiu ir pneumatiniu presavimu principas:
1 – lakšto laikiklis; 2 – lakštas; 3 – kaitinimo elementas

Štampavimo, presavimo būdu gaminami didelių matmenų plosnieniai dirbiniai. Žaliava pašildoma iki didelio elastingumo būsenos, vėliau po štampavimo, presavimo detalė yra aušinama.

Laisvojo liejimo būdu žaliava išlydoma, pilama į liejimo formą, kurioje stingsta nenaudojant papildomo slėgio. Siekiant išvengti tuštumų, tankio skirtumų ir kitų defektų, liejimo forma gali būti tvirtinama ant vibracinio stalo arba gamybos metu liejimo formoje palaikomas vakuumas. Tokiu būdu gaminami dirbiniai iš polimetilmetakrilato, epoksidinių ir poliesterinių dervų.

1.3.2. Reaktoplastikai

Reaktoplastiniai polimerai yra tokie, kuriuose įkaitinus ir ilgiau palaikius aukštesnėje temperatūroje įvyksta polimerizacijos reakcijos – jie negrižtamai sukietėja, tampa stiprūs ir netirpūs. Pakartotinai kaitinami jie išlieka kieti iki cheminio suirimo temperatūros. Reaktoplastiniai polimerai sintetinami iš dideliais kiekiais gaminamų monomerų (karbamido, formaldehido, fenolio, anilino, glicerolio, melamino ir kt.). Reaktoplastikus sudaro termoreakcinės dervos (priklauso prie savaime kambario temperatūroje kietėjančių polimerų), užpildai, plastifikatoriai, stabilizatoriai, kietikliai, dažalai, specialieji priedai. Reaktoplastikai yra atsparesni šilumai už termoplastikus. Kai kurių reaktoplastikų fizikinės-mechaninės savybės pateiktos 1.3 lentelėje.

Statybiniams polimeriniams dirbiniams gaminti plačiai naudojamos termoreakcinės dervos: fenolo, anilio, karbamido, melamino aldehidinės dervos; epoksidinės, alkidinės dervos; silikonai ir kt.

Fenolio formaldehidinės dervos (PF) gaunamos polikondensacijos būdu iš fenolio ir formaldehido. Priklausomai nuo šių komponentų

1.3 lentelė. Kai kurių reaktoplastinių polimerų fizikinės-mechaninės savybės

Žaliavos, savybės ir matavimo vienetai	Reaktoplastiniai polimerai			
	Poli- kondensacinis	Poli- adicinis	Poli- adicinis	Poli- merizacinis
	rezoliai, novolakai iš fenolio ir formaldehido	daugiafunkciai izocianatai ir polioliai	epoksidinės dervos ir kietikliai	nesočiosios poliesterinės dervos ir vinilmonomerai
ρ , kg/m ³	1250	1050	1200	1270
T, °C	130	91	170	155
E, MPa	2800	4400	2500	3400
σ , MPa	65	–	70	70
ε , %	1,8	–	6,0	2,0

Pastaba: ρ – tankis, T – formos išlaikymo temperatūra, E – tamprumo modulis, σ – trūkio įtempis, ε – santykinis trūkstamasis pailgėjimas

santykio, skiriamos dvi formaldehidinių dervų atmainos – novalikinės ir rezolinės. Novalikinės dervos yra termoplastinės. Jos yra skaidrios, trapios, tirpsta spirite, acetone. Rezoninės dervos yra termoreakcinės, kaitinant jos tampa nelydžios ir netirpios. Rezolinių dervų termoreakcijos produktas – rezitas. Rezitas nesideformuoja veikiamas apkrovos, bet yra trapus. Rezolitų dervos naudojamos gaminant plastikines medžiagas presavimo būdu, sintetinius klėjus.

Karbamido formaldehidinės dervos (UF) gaunamos polikondensacijos būdu iš karbamido ir formaldehido. Šios dervos yra bespalvės ir ore negelsta, tačiau laikui bėgant didėja jų trapumas.

Iš šių dervų gaminami sluoksniuotieji plastikai, putplasčiai, klėjai, lakai, emaliniai dažai.

Melamino formaldehidinės dervos (MF) gaunamos iš melamino ir formaldehido. Šios dervos yra kietesnės, termiškai atsparesnės ir brangesnės nei karbamido formaldehidinės dervos. Šios dervos naudojamos analogiškai kaip ir karbamido formaldehidinės dervos.

Iš *alkidinių dervų (AF)* labiausiai paplitusios yra gliftalinės dervos, gautos iš ftalio anhidrido ir glicerolio. Gliftalinės dervos yra termoreakcinės. Jos kietėja aukštesnėje temperatūroje lėtai, todėl tokios dervos naudojamos kaip aukštos kokybės plėvelę sudarančios medžiagos įvairiems lakams ir dažams gaminti. Alkidinių ir melamino formaldehidinių dervų mišiniu, įmaišius pigmentų, dažomi įvairūs metaliniai gaminiai, prietaisai, automobiliai. Vietoj glicerolio, naudojant pentaeritritą, gaunamos pentaftalinės dervos. Tokiomis emalėmis dažomi medienos gaminiai, namų apyvokos daiktai ir kt.

Epoksidinės dervos (EP) gaunamos polimerizacijos būdu iš epichloridino ir difenilpropano. Jos polimerizuojamos kambario temperatūroje įmaišius kietiklio. Sukietėjusios EP yra stiprios, netrapios, atsparios drėgmei, šarmams, daugeliui neorganinių rūgščių, tačiau jas ardo organinės rūgštys. Jos pasižymi gera adhezija su kitomis medžiagomis (metalais, plastikais, mediena, keramika). Epoksidinės dervos naudojamos kaip rišikliai stiklaplasčiui, jų pagrindu sudaromos lakų, emalinių ir miltelinių dažų kompozicijos. Kietėdamos jos neišskiria pašalinių medžiagų, todėl susitraukia tik nuo 0,3 iki 1,0 %.

Silikonai – tai silicio organinės dervos, kurių pagrindinė grandinė sudaryta iš silicio ir deguonies atomų. Aukštesnėje temperatūroje silikoninės dervos yra stabilesnės už kitus polimerus, jų mechaninės savybės beveik nesikeičia iki 300 °C temperatūros. Silikonai gali būti skysti (naudojami kaip hidrofobiniai tirpalai), nekietėjantys – elastomerai (silikoninis kaučiukas) ir kieti (naudojami kaip atsparios aukštesnei temperatūrai ir drėgmei konstrukcinės medžiagos).

Pagrindinis reaktoplastikų formavimo į dirbinius būdas yra presavimas. Svarbiausi presavimo proceso parametrai yra presavimo temperatūra, slėgis ir gaminių išlaikymo laikas slegiant. Kaitinami reaktoplastikai išsilydo, sutankėja, užpildo formavimo kameros tūrį, dar toliau kaitinami – negrižtamai sukietėja. Reaktoplastiniams gaminiams formuoti dažniausiai taikomi šie gamybos būdai: *tiesioginis presavimas, liejamasis formavimas, formavimas sluoksniais*.

Tiesioginis presavimas gali būti atliekamas atvirose arba uždarose presavimo formose, kuriose įkaitintas ruošinys slegiamas. Atvirose presavimo formose dažniausiai naudojamos nesudėtingos formos detalėms iš gumos arba sluoksniuotiesiems plastikams presuoti. Uždarose presavimo formose naudojamos plonasieniams gaminiams iš pluoštinių arba sluoksniuotųjų reaktoplastikų presuoti.

Liejamasis formavimas naudojamas sudėtingos formos ir didelio tikslumo gaminiams su plonomis sienelėmis bei metaline ar kitokia armatūra lieti.

Formuojant sluoksniais dažniausiai gaminami lakštiniai kompozitai – tekstolitas, stiklo tekstolitas ir kt. Gamybos metu tarp kaitinamų presavimo plokščių klojama polimero lydinio įmirkyta pluoštinė medžiaga.

1.4. Plastikų priedai

Gaminant plastikus, be polimerų, dar naudojami priedai, tai: užpildai, plastifikatoriai, stabilizatoriai, kietikliai, dažalai, specialūs priedai.

Užpildai – tai medžiagos, kurių dedama į plastikus norint pakeisti savybes arba sutaupyti tam tikrą polimerinės medžiagos kiekį.

Užpildai gali sudaryti 7–70 % plastiko masės. Jie padidina stiprumą, kietumą, sumažina reaktoplastikų susitraukimą formuojant, gali pakeisti kai kurias kitas savybes (pvz., atsparumą kaitrai). Užpildai gali būti organiniai (medienos miltai, celiuliozė, popierius, medvilninis audinys ir kt.) ir neorganiniai (grafitas, stiklo pluoštas, žėrutis ir kt.). Pagal struktūrą užpildai skirstomi į dispersinius, pluoštinius ir sluoksniuotuosius. Dispersiniai užpildai, sumaišyti su polimerais, sudaro izotropinę tankią, kietą masę, padidina polimero standumą. Dispersiniai užpildai susideda iš vieno ar kelių labai smulkių komponentų, išsidėsčiusių matricoje. Pluoštiniai užpildai – tai dažniausiai didelio stiprumo stiklo, anglies, boro pluoštai, metalinės vielės. Šie užpildai padidina mechaninį stiprumą, smūginį tįsumą, tačiau kaudangi plastikų savybės įvairiomis kryptimis yra nevienodos, dirbiniai gaunami anizotropiniai. Sluoksniuotieji užpildai susideda iš dviejų ar daugiau sluoksnių. Sluoksniai gali būti sudaryti iš medvilnės, anglies pluošto audinio, popieriaus ir kt.

Plastifikatorių paskirtis – sumažinti polimero stiklėjimo temperatūrą, trapumą, padidinti minkštumą, elastingumą. Plastifikatoriai turi būti mažai lakūs, turėti aukštą virimo temperatūrą, būti netoksiniai, chemiškai patvarūs. Į mišinį jų dedama nuo procento dalių iki dešimčių procentų mišinio masės. Dažniausiai naudojami plastifikatoriai – tai aliejiniai klampūs organiniai skysčiai arba vaško tipo medžiagos (stearinas, ricina, dibutylftalatas ir kt.)

Stabilizatoriai – medžiagos, kurios saugo plastikus nuo senėjimo veikiant aplinkai, nes, veikiamos šilumos, oro deguonies ir šviesos, makromolekulės trūkinėja į dalis, susidaro papildomos skersinės jungtys, o tai blogina plastikų savybes. Dažniausiai stabilizatoriai sudaro 0,14–3 % plastiko masės. Naudojami aromatiniai aminorai, fenolio dariniai, dispersiniai metalų milteliai.

Kietikliai – tai medžiagos, kurių dedama siekiant padaryti reaktoplastikus nelydžius ir netirpius, kai formuojami gaminiai. Epoksidiniuose ir poliesteriniuose polimeruose kaip kietikliai naudojami daugiafunkciai junginiai (glikoliai, tiaminai, izocianatai). Jie daly-

vauja kondensacijos reakcijose ir naudojamos kaip medžiagos, kurios skatina polimerizacijos procesą (naftenatai, peroksidai).

Dažalai – tai smulkiai sumaltos spalvotos mineralinės medžiagos (pigmentai), taip pat organiniai dažikliai, išliekantys patvarūs formavimo temperatūroje ir suteikiantys plastikams reikalingą spalvą.

Specialieji priedai gali būti labai įvairios paskirties: tepimo medžiagos – didina plastikų elastingumą ir takumą, lengvina formavimą ir gaminio išėmimą iš formos; antipirenai – mažina polimerų degumą; antistatikai – mažina statinį įsielektršinimą; antimikrobiniai priedai – mažina biologinį pažeidžiamumą ir kt. (stearinas, oleino rūgštis ir kt.); porodariai – medžiagos, kurios kaitinamos virsta dujomis ir sudaro poras. Porodarių dedama į polimerus, kai norima gauti putpalsčius ar sumažinti plastikų tankį.

2. TERMOPLASTIKAI

2.1. Polistireninis putplastis (PS)

Polistireninis putplastis gali būti dviejų tipų – EPS ir XPS. Polistireninis putplastis (EPS – tarptautinis pavadinimas, angl. *expanded polystyrene*) yra standi poringa medžiaga, pagaminta sulydant išpūsto polistireno arba vieno iš jo kopolimerų granules, kurių uždarnos poros užpildytos oru (2.1 pav.). Polistireninio putplasčio oficialus pavadinimas buvo įteisintas 2003 m. įsigaliojus Europos Sąjungos standartui LST EN 13163:2003 „Statybiniai termoizoliaciniai gaminiai. Gamykliniai polistireninio putplasčio (EPS) gaminiai“.

2.1 pav. Polistireninis putplastis: a – bendras granulių vaizdas; b – granulės vidinės erdvės vaizdas

Polistireninis putplastis (XPS angl. *extruded polystyrene foam*) – tai kieta izoliacinė poroplastinė medžiaga, pagaminta iš išpūsto uždarnos porų struktūros ekstrudinio polistireno arba iš vieno jo kopolimerų, turinčių dangą arba be jos (2.2 pav.). XPS savybės turi atitikti LST EN 13164:2004 „Statybiniai termoizoliaciniai gaminiai. Gamykliniai ekstrudinio polistireninio putplasčio (XPS) gaminiai“ standarto reikalavimus.

2.2 pav. XPS polistireninis putplastis (vidinės erdvės vaizdas, padidinta 56 kartus)

Polistireninis putplastis naudojamas visų pastato atitvarinių konstrukcijų (rūsio, išorinių sienų, grindų, stogo) šilumai izoliuoti. Polistireninį putplastį sudaro 98 % oro, uždaryto į nedidelio skersmens akeles, ir 2 % polistireno, sudarančio šių akelių sienelės.

Šiuo metu pasaulyje iš polistireninio putplasčio, kuris naudojamas statyboje ir buityje, gaminamos įvairios paskirties plokštės, blokeliai ir blokai. Tačiau nagrinėjant polistireninio putplasčio perdirbimą galima teigti, kad produktai, pagaminti iš šios medžiagos, nėra perdirbami (yra nedidelių išimčių, kai polistireninio putplasčio trupiniai naudojami lengvajam betonui ar skiediniui gaminti, tačiau tai tik nedideli atliekų kiekiai). Perdirbimo procesą labiausiai stabdo tai, kad trūksta paskatų investuoti į perdirbimo technologijas. Polistireninio putplasčio laužas galėtų būti įtrauktas į tokių produktų, kaip EPS plokštės, gamybą. Tuo labiau, kad visos atliekos, susidarantys gamybos metu, yra grąžinamos į technologinį ciklą.

Kiekviena plastikų grupė gali būti identifikuojama pagal plastiko identifikavimo kodą (PIC, ang. *Plastic Identification Code*). Į šį kodą įeina skaičių arba raidžių santrumpa. PIC sudaro trys kreivalinijinės rodyklės, išdėstytos pagal laikrodžio rodyklę. Šis produktų simbolis nurodo, ar plastikas gali būti perdirbtas į naujus produktus ir koks tai yra plastikas. PIC buvo sukurtas tam, kad perdirbimo įmonės

2.3 pav. Polistireno identifikavimo kodas

lengviau atskirtų skirtingų rūšių plastiką. Kai kuriose šalyse ar regionuose plastikinių gaminių gamintojai privalo naudoti PIC etiketes, kiti gali savanoriškai ženklinėti savo produktus, jei nekeliami jokių reikalavimų. Polistireno identifikavimo kodas pateiktas 2.3 paveiksle.

2.1.1. Polistireninio putplasčio žaliavos

Polistireninis putplastis gaminamas iš polistireno, kuris gaminamas iš naftos perdirbimo produktų – stireno (C_8H_8), o pastarasis sintetinamas iš benzeno ir eteno. Stirenas gaunamas prapučiant eteną

esant slėgiui per skystą benzeną ir, dalyvaujant aliuminio chloridui, vyksta tokia reakcija:

Susidaręs etilbenzenas, dalyvaujant katalizatoriui, dehidratuojamas aukštoje temperatūroje, kol susidaro stirenas:

Stirenas ir pentanas yra angliavandeniliai. Polimerizacijos metu stireno molekulės jungiasi viena su kita į grandines. Polimerizacijoje dalyvaujant pentanui (C_5H_{12}), gaunama plėtriojo polistireno medžiaga:

arba

Stireno polimerizacijai sužadinti pakanka šiluminės energijos. Stireno terminė polimerizacija kondensuotame monomere pradeda nuolatinio veikimo maišymo reaktoriuje ir baigiama bokštiniame reaktoriuje (2.4 pav.).

Iš talpyklos skystas stirenas tiekiamas į intensyviai aušinamą maišymo reaktorių, kuriame vyksta pirmoji polimerizacijos stadija. Maišymo reaktoriuje temperatūra siekia 80–82 °C, polimerizuojama tol, kol 40 % monomero virsta polimeru. Toliau polistireno tirpalas patenka į bokštinį reaktorių, kuriame vyksta antroji polimerizacijos stadija. Čia temperatūra pakeliama nuo 110 iki 200 °C ir polimerizuojamas visas likęs monomeras (konversijos laipsnis – 100 %). Į polimerizacijos bokštinio reaktoriaus apačią po 28 valandų patekęs polistireno lydalas sliekiniu transporteriu išspaudžiamas ant juostinio

transporterio, aušinamas ir smulkinamas granulatoriumi. Terminės polimerizacijos būdu gautas polistirenas neturi priemaišų, yra skaidrus ir didelės molekulinės masės (~0,5 mln.).

2.4 pav. Nuolatinio veikimo polistireno sintezės įrenginys:

- 1 – maišymo reaktorius; 2 – bokštinis reaktorius;
- 3 – sliekinis transporteris; 4 – juostinis transporteris;
- 5 – granulatorius

Polistirenas yra kietas, skaidrus, amorfinis, termoplastinis polimeras. Tempiamos amorfinio polistireno molekulės iš dalies orientuojamos. Toks polistirenas yra standesnis, stipresnis, atsparesnis smūgiams. Aukštesnėje temperatūroje ir šviesoje polistirenas oksiduojasi, o 300 °C temperatūroje – depolimerizuojasi. Polistirenas tirpsta benzene, benzine, kai kuriuose chlorintuose angliavandeniuose. Ore veikiamas ultravioletinės spinduliuotės jis pamažu sensta, oksiduojasi, geltonuoja, pradeda pleišėti. Polistirenas atsparus vandeniui ir tepalams, žemoje temperatūroje – koncentruotoms rūgštims (išskyrus koncentruotą azoto rūgštį) ir šarmams.

Pentanas, naudojamas polistireniniam putplasčiui gaminti kaip plėtiklis, yra sotusis angliavandenis, į kurio sudėtį įeina metanas ir propanas. Pentanas yra bespalvis, labai lakus, vandenyje beveik netirpus skystis, kurio virimo temperatūra yra apie 35 °C. Pentanas yra sudedamoji naftos dalis, tačiau jis susidaro ir žmogaus bei gyvūnų organizmuose – vykstant natūraliems biocheminiams procesams patenka į atmosferą iškvepiant orą. Gaminant polistireninį putplastį, garo pavidalo pentanas patenka į atmosferą, kur greitai suardomas ir virsta anglies dioksidu ir vandeniu.

Polistireniniam putplasčiui gaminti dažnai naudojami antipirenai – degumą slopinantys priedai. Dažniausiai kaip degumą slopinantis priedas naudojamas heksabromciklododekanas (HBCD). Polimerizacijos metu, kai stirolo molekulės jungiasi viena su kita į grandines, įterpiamas antipirenas – vandenyje netirpi, atspari hidrolizei medžiaga. EPS polistireniniam putplasčiui gaminti naudojamos skaidrios sferinės 0,2–0,3 mm dydžio plėtriojo polistireno granulės.

2.1.2. EPS polistireninio putplasčio gamyba

Statyboje dažniausiai naudojamos polistireninio putplasčio plokštės ar blokai.

Polistireninio putplasčio blokas – standus izoliacinis gaminys, kurio pjūvis paprastai yra stačiakampio formos, o storis nereikšmingai mažesnis už plotį. Blokai gali būti apdailinti arba neapdailinti.

Polistireninio putplasčio plokštė – standus izoliacinis gaminys (supjaustytas atskirai arba suformuotas nepertraukiamuoju juostiniu būdu), kurio pjūvis yra stačiakampio formos, o storis gerokai mažesnis nei kiti matmenys. Plokštės gali būti vienodo storio arba plonėjančios. Plokštės kraštai gali būti įvairių formų (pvz., nupjauti statmenai, laiptuoti, su grioveliais ir pan.).

EPS polistireno granulės gaminamos iš polistireninio pusfabrikačio, kuriame yra dujų izopentano. Granulės išsipučia 90–120 °C temperatūroje. Galimi šie gamybos būdai: veikiant žaliavą karštu vandeniu, garais, karštu oru arba aukštojo dažnio elektros srove.

EPS polistireninio putplasčio plokštės gamykloje gaminamos vienos stadijos ir dviejų stadijų būdu (dažniausiai). Šiuolaikiniai standartai reikalauja, kad gaminiai būtų tikslių matmenų, vienodų šilumos izoliacinių savybių visame plokštės tūryje ir t. t. Todėl dažniausiai taikomas dviejų stadijų gamybos būdas, kai šilumnešis yra vandens garai.

Gaminių gamyba iš polistireno granulių nusakoma tuo, kad polistirenas, įkaitęs daugiau kaip $80\text{ }^{\circ}\text{C}$, iš kietosios būsenos pereina į elastingąją, o izopentanas – dujodaris, įeinantis į polistireno granulių sudėtį, kai temperatūra pakyla daugiau kaip $28\text{ }^{\circ}\text{C}$, pereina iš skystosios būsenos į dujinę. Veikiant dujų slėgiui suminkštintų polistireno granulių tūris padidėja. Granulių tūrio didėjimas priklauso nuo temperatūros. Maksimalus granulių tūris tampa esant $90\text{--}100\text{ }^{\circ}\text{C}$ temperatūrai.

Polistireninio putplasčio (EPS) gamybos procesą dažniausiai sudaro kelios stadijos: *pradinis pūtimas; tarpinis išlaikymas; galutinis pūtimas; pjaustymas*.

Principinė polistireninio putplasčio (EPS) gamybos schema pavaizduota 2.5 paveiksle. Polistireninio putplasčio (EPS) granulės beriamos į išpūtimo įrenginį, kuriame jos karštu maždaug $95\text{ }^{\circ}\text{C}$ temperatūros garu išpučiamos. Veikiamos karšto garo, granulių sielės suminkštėja. Pentanas, esantis granulėse, užverda. Dėl jo garų, taip pat iš dalies ir dėl įsiskverbiančių vandens garų granulės išsiplečia $35\text{--}50$ kartų ir virsta dalelėmis su didele vidine poringa erdve.

Pirminis granulių išpūtimas atliekamas tam, kad gauto gaminio tankis būtų kuo mažesnis ir pūtimo laikas baigiamojoje gamybos stadijoje sutrumpėtų.

Pirminis išpūtimas vyksta naudojant garą sraigtiniuose arba nepertraukiamojo veikimo būgniniuose aparatuose. Sraigtinis aparatas susideda iš sraigtinio konvejerio, apiplaunamo garų, dozatoriaus su bunkeriu, reduktoriaus ir elektros variklio. Suspensinis polistirenas tiekiamas į bunkerį per dozatorių, esantį ant sraigtinio konvejerio, kuriuo juda iškrovimo angos link. Konvejeriye taip pat juda per angą korpuse tiekiamas garas, kurio slėgis yra apie $0,1\text{ MPa}$. Tiekiamas

2.5 pav. Principinė polistireninio putplasčio (EPS) gamybos schema:
 1 – garų generatorius; 2 – garų talpykla; 3 – pirminis granulių išpūtimo įrenginys; 4 – priėmimo bunkeris su džiovintuvu; 5 – išlaikymo bunkeris; 6 – bunkeris; 7 – blokų formavimo įrenginys; 8 – pjaustymo įrenginys; 9 – ventiliatoriai; 10 – pneumatinis transportas; 11 – vamzdynas garams transportuoti

garas įkaitina polistireną iki 95–102 °C temperatūros. Išpūtimo laikas siekia 1–2 min. Sraigtinio aparato našumas yra iki 2,5 m³/h, priklausomai nuo polistireno savybių. Tokiu pat principu polistirenas išpučiamas ir naudojant besisukantį būgninį aparatą. Tačiau šio aparato našumas yra apie du kartus didesnis. Į aparatą tiekiamas garas yra 0,07–0,09 MPa slėgio, o jo temperatūra – 90–97 °C. Garas į būgninį aparatą tiekiamas 3–6 min. Jeigu gamybos apimtys nedidelės, naudojami periodinio veikimo išpūtimo aparatai. Tai gali būti vonios su vandeniu. Vanduo turi būti pakaitintas iki 95–98 °C temperatūros.

Po pradinio išpūtimo polistireninio putplasčio granulės transportuojamos į tarpinio išlaikymo bunkerius. Tarpinio išlaikymo metu iš granulių pasišalina dalis plėtiklio (pentano), kurį pakeičia oras. Tai daro granules mechaniškai stabilesnes. Tarpinis išlaikymas gali trukti 4–12 val. Išlaikymo laikas priklauso nuo granulių dydžio, piltinio tankio, likutinės drėgmės. Išlaikytos išpūstos granulės pilamos į aliumininį arba nerūdijančiojo plieno blokų formą, kurioje per atitin-

kamas angas, veikiamos karšto garo, jos dar labiau išsipučia ir susilydo į polistireninio putplasčio bloką. Vėliau blokai yra supjaustomi pjauštymo įrenginyje. Toks gamybos būdas vadinamas *periodiniu*. Formos gali būti stacionarios arba perstumiamos. Gaminant polistireninį putplastį galimas ir toks gamybos etapas, kai formos su užpildytu polistirenu surenkamos į paketus ir siunčiamos į autoklavą, kuriame tiekiamas garas ir gaminiai įkaitinami iki 95–105 °C temperatūros. Baigiamasis išpūtimo procesas vyksta 1–2 min. Po išpūtimo gaminiai aušinami 10 min.

Nenutrūkstamasis formavimo būdas taikomas įvairiuose įrenginiuose: konvejerinėse linijose; paketiniuose formuotuvuose; karuselinėse mašinose. Nenutrūkstamojo veikimo polistireninio putplasčio gaminių gamybos technologija susideda iš tų pačių operacijų kaip ir periodinio gaminių formavimo metu. Polistireninis putplastis gaunamas ištisinėmis juostomis, kurių storis 50–100 mm, arba blokais, kurių tūris 0,3 m³. Polistireninio putplasčio nenutrūkstamojo formavimo mašina sudaro horizontalus konvejeris, kuris susideda iš trijų zonų:

1. pakrovimo zonos, kurioje polistirenas veikiamas 105–120 °C temperatūros garo ir 0,035 MPa slėgio;
2. formavimo zonos,
3. aušinimo zonos, kurioje aušinama oru iki 40 °C temperatūros. Vėliau plokštės išilgai ir skersai supjaustomos pjūklais.

Paketų formuotuvus veikia pulsuojančiame ruože. Paketas susideda iš 24 formų, judančių vertikalioje šachtoje iš apačios į viršų. Forma užpildoma iš anksto išpūstomis granulėmis. Toliau išpučiama perkaitintuoju garu, kurio temperatūra 103–112 °C. Išpūtimo procesas trunka 1 min. Paskui formos juda į viršų, ten gaminiai patenka į aušinimo zoną. Aušinimo trukmė – 20 min.

Ką tik pagamintas polistireninis putplastis kurį laiką išskiria plėtiklį (pentaną) ir stireno likučius ir per pirmąsias 24 valandas aušdamas, priklausomai nuo gamybos sąlygų ir tankio, susitraukia. Susitraukimas gali siekti iki 0,3–0,5 %. Todėl pagamintas polistireninis putplastis pirmąsias keletą dienų išlaikomas gamykloje.

Šiuo metu daugiausia polistireninio putplasčio gaminama iš Anglijos ir Vokietijos firmų žaliavų „Styrocell“ ir „Styropor“. Lietuvoje gaminamos skirtingo tankio polistireninio putplasčio plokštės. Skirtingas tankis pasiekiamas naudojant atitinkamos frakcijos polistireno pusfabrikatą (biserį). Atitinkamas pusfabrikačio dydis užtikrina tam tikro skersmens išpūstą polistireno granulę. Po pirminio pūtimo granulių dydis svyruoja nuo 1,25 iki 10 mm. Pavyzdžiui: 35 kg/m^3 tankio polistireninio putplasčio plokštėms gaminti naudojamos išpūsto polistireno iki 2,5 mm skersmens granulės, 25 kg/m^3 tankio – iki 7 mm skersmens granulės ir 15 kg/m^3 tankio – iki 10 mm skersmens granulės. Polistireninio putplasčio gaminimo energijos sąnaudos yra pakankamai mažos, palyginti su kitomis termoizoliacinėmis medžiagomis.

2.1.3. EPS polistireninio putplasčio klasifikavimas ir savybės

Polistireninio putplasčio (EPS) gaminiai skirstomi į tipus pagal stiprumines savybes, kaip parodyta 2.1 lentelėje. Kiekvienas tipas, išskyrus EPS S (naudojamas ten, kur nėra apkrovos), turi vienu metu atitikti dvi sąlygas. Jei polistireninis putplastis atitinka ir akustinius reikalavimus, prie tipo pavadinimo pridedama raidė T.

Fizikinės-mechaninės savybės. Polistireniniam putplasčiui būdingas gniuždymo įtempis, lenkimo stipris, statmenas paviršiui tempiamasis stipris ir kt. Polistireninio putplasčio gniuždymo įtempis dažniausiai priklauso nuo tankio. Polistireninis putplastis yra labai lengva medžiaga. Jo tankis – $9\text{--}40 \text{ kg/m}^3$. Gniuždymo stipris svarbus gaminiams, kurie naudojami sutapdintiesiems stogams ir grindims izoliuoti. Lenkimo stiprio reikalavimai dažniausiai siejami su gaminių transportavimu ir montavimu. Statmenas paviršiui tempiamasis stipris nustatomas polistireninio putplasčio gaminiams, kurie naudojami išorinėms sudėtinėms termoizoliacinėms sistemoms izoliuoti. Statmeno paviršiui tempiamojo stiprio ribiniai lygiai pateikti 2.2 lentelėje.

2.1 lentelė. Polistireninio putplasčio klasifikavimas

Tipas	Gniuždymo įtempis, kai gaminys deformuojamas 10 %, kPa	Lenkimo stipris, kPa
EPS S	–	50
EPS 30	30	50
EPS 50	50	75
EPS 60	60	100
EPS 70	70	115
EPS 80	80	125
EPS 90	90	135
EPS 100	100	150
EPS 120	120	170
EPS 150	150	200
EPS 200	200	250
EPS 250	250	350
EPS 300	300	450
EPS 350	350	525
EPS 400	400	600
EPS 500	500	750

2.2 lentelė. Statmeno paviršiui tempiamojo stiprio ribiniai lygiai

Ribinis lygis	TR 20	TR 50	TR 80	TR 100	TR 150	TR 200	TR 400
Reikalaujamas lygis, kPa	≥20	≥50	≥80	≥100	≥150	≥200	≥400

Šilumos laidumas. Polistireninį putplastį sudaro uždaroose porose esantis oras ir polistirenas, sudarantis porų karkasą. Nejudantis oras yra blogas šilumos laidininkas, todėl jis užtikrina geras polistireninio putplasčio termoizoliacines savybes. Apytikrė polistireninio putplasčio deklaruojamojo šilumos laidumo koeficiento priklausomybė nuo medžiagos tipo pateikta 2.3 lentelėje.

Polistireninio putplasčio gaminiams būdingas 0,030–0,045 W/(m·K) deklaruojamasis šilumos laidumo koeficientas.

2.3 lentelė. Apytikrė polistireninio putplasčio deklarujamojo šilumos laidumo koeficiento priklausomybė nuo medžiagos tipo (λ_d – šilumos laidumo koeficientas, W/(m·K))

Tipas	EPS 50	EPS 70	EPS 80	EPS 100	EPS 150	EPS 200
λ_d	0,043	0,039	0,038	0,035	0,034	0,033

Matmenų kitimas. Polistireninio putplasčio matmenys kinta dėl temperatūros poveikio, susitraukties ir mechaninės apkrovos. Polistireninio putplasčio terminio plėtimosi koeficientas yra 0,05–0,07 mm/m, gaminio temperatūrai pakilus 1 °C. Šis terminis polistireninio putplasčio plėtimasis yra grįžtamasis reiškinys. Polistireninio putplasčio gaminy, kurio ilgis 0,4 m, atšaldytas nuo +20 iki –20 °C temperatūros, susitraukia 1 mm.

Polistireninio putplasčio susitrauktis skirstoma į ankstyvąją ir vėlyvąją. Susitrauktis sukelia negrįžtamus polistireninio putplasčio matmenų pokyčius. Ankstyvoji polistireninio putplasčio susitrauktis – tai gaminio matmenų pokytis, vykstantis per pirmąsias 24 h. Ji lygi 0,3–0,5 %. Vėliau vykstantis gaminio matmenų sumažėjimas vadinamas vėlyvąja susitrauktimi. Vėlyvoji susitrauktis sparčiausiai vyksta per pirmąsias 14 parų, kai polistireninis putplastis laikomas gamykloje. Ribinė vėlyvoji susitrauktis pasiekama po 150 parų.

Įmirkis. Polistireninio putplasčio įmirkis nustatomas tūrio procentais. Kadangi akelių sienelės vandeniui nelaidžios, vanduo į putplastį gali įsiskverbti tik mažyčiais kanalėliais tarp susilydžiusių akelių. 15–30 kg/m³ tankio polistireninio putplasčio įmirkis: po 7 parų yra iki 1,5 % tūrio, po 28 parų – iki 3 % tūrio. Panardinto vandenyje polistireninio putplasčio ilgalaikio įmerkio tyrimo rezultatai naudojami nustatant gaminių tinkamumą naudoti drėgmės poveikio zonose.

Valkšnumas. Veikiant 0,30 σ_{10} gniuždymo įtempiui, polistireninio putplasčio gaminiai po 50 metų turės ne didesnę kaip 2 % valkšnumo deformaciją. Valkšnumas svarbus polistireninio putplasčio gaminiams, kurie konstrukcijoje nuolat veikiami statinių ir dinaminių apkrovų.

Ekologiškumas. Polistireninis putplastis netirpsta vandenyje, todėl neskleidžia jokių tirpių medžiagų, galinčių užteršti požeminius

vandenį. Jis nepūva ir netrūnija, todėl jokiomis kenksmingomis medžiagomis neužteršia dirvožemio.

Polistireniniame putplastyje nėra formaldehido, jis nėra radioaktyvus: neskleidžia alfa, beta ar gama spindulių. Tai inertiška, įprastomis sąlygomis nenuodinga, netoksinė ir nedirginanti medžiaga. Į rinką tiekiamas polistireninis putplastis neišskiria nei stireno, nei pentano.

Ilgamžiškumas. Ilgiau veikiamas tiesioginių ultravioletinių spindulių, polistireninis putplastis pagelsta, jo paviršius darosi trapus. Dėl lietaus ir vėjo gali prasidėti polistireninio putplasčio erozija. Nuo šių poveikių apsaugo medžiagos dažymas, tinkavimas, laminavimas ir pan. Pastato viduje ultravioletinis spinduliavimas yra menkas, todėl polistireniniam putplasčiui tai nedaro jokio poveikio.

Polistireninis putplastis visiškai išlaiko termoizoliacines bei mechanines savybes ir atlieka savo funkcijas per visą pastato gyvavimo trukmę, kuri šiandien apibrėžiama 50 metų.

Degumas. Ilgiau veikiamas didesnės negu 100 °C temperatūros, polistireninis putplastis ima minkštėti, trauktis ir galiausiai lydytis. Anot gamintojų, bandymai rodo, kad polistireninio putplasčio su degumą slopinančiais priedais degumo temperatūra yra 374 °C. Esant žemesnei temperatūrai degių dujų nesusidaro. Terminio irimo produktai užsidega tik tiesiogiai susilietę su paviršiais ar erdvėmis, kurių temperatūra yra 450–500 °C. Polistireninis putplastis savaime neužsidega esant žemesnei nei 450 °C temperatūrai.

Atsparumas senėjimui. Polistireninis putplastis nepūva, nedūla ir yra atsparus senėjimui. Senėjimu vadinamas procesas, kai medžiagos savybės tam tikromis gamtinėmis aplinkos sąlygomis kinta nepaisant to, kad tenkinami jos eksploatavimo reikalavimai. Senėjimą rodo medžiagos negebėjimas atlikti numatytų funkcijų ar irimas.

Atsparumas įvairių cheminių medžiagų poveikiui. Polistireninio putplasčio gaminiai konstrukcijoje neturi liestis su jokia medžiaga, kuri juos ardytų ar plėstų. Polistireninis putplastis gali susitraukti ar net suirti ilgai veikiamas šių medžiagų: augalinio aliejaus, parafininės alyvos, vazelino, dyzelinės alyvos, metilo ir etilo spirito. Polistireninis putplastis neatsparus: šaltam bitumui ir bituminiam glaistui; degutui,

deguto tepalui; organiniams skiedikliams (acetonui, benzinui, terpentinui, acto esencijai ir kt.); sotiesiems angliavandeniliams (cikloheksanui, vaitspiritui); dyzeliniams ir karbiuratoriniams degalams.

Polistireninis putplastis atsparus: vandeniui, kuriame yra padidinta druskų koncentracija; kalkėms, cementui, gipsui, anhidritui; natrio ir kalio šarmams; 35 % druskos rūgščiai, iki 50 % azoto rūgščiai, iki 95 % sieros rūgščiai, druskoms, trąšoms; silikono alyvai, amoniakui.

2.1.4. XPS polistireninio putplasčio gamyba ir savybės

Ekstruzinio polistireninio putplasčio (angl. *Extruded Polystyrene*, XPS) žaliava, kaip ir EPS polistireninio putplasčio, yra polistirenas, tačiau jų gamybos technologija iš esmės skiriasi. Ekstruzinis polistireninis putplastis pradėtas gaminti maždaug prieš 60 m. Jungtinėse Amerikos Valstijose. Kaip putokšliai gali būti naudojamos sistemos freono pagrindu, o šiuo metu dažniausiai naudojami putokšliai anglies dioksido (CO₂) pagrindu. Gaminant XPS putplastį pagrindinis įrenginys yra ekstruderis. Pagrindinis ekstruderio uždavinys – išlydytą polimerą sumaišyti su priedais ir formavimo galvute suteikti jam formą. Gamyboje naudojami keli ekstruderių tipai: vienastraigtis (2.6 pav.) ir dvisraigtis. XPS polistireninis putplastis gaunamas maišant polistireno granules su įvairiais priedais (pvz., antipirenais, dažalais) ir putokšliu aukštoje temperatūroje. Pradinės žaliavos tiekiamos į ekstruderį (2.6 pav.), kuriame jos lydomos ir išmaišomos, esant aukštai temperatūrai. Į paruoštą masę dideliu slėgiu įterpiamas putokšlis ir gaunamas klampus vientisas lydalas. Jis išspaudžiamas per ekstruderio galvutę. Gautas pusgaminis aušinamas ir supjaustomas į tam tikro dydžio gaminius.

Putokšlis išgaruoja iš plokščių per kelias savaites nuo pagaminimo ir pakeičiamas oru. Polistireno ir putokšlio dalis mišinys yra apie 96–98 %. Likusią dalį sudaro papildomos medžiagos: dažalai, proceso stabilizavimo medžiagos, porų struktūros modifikavimo medžiagos ir t. t.

2.6 pav. Principinė ekstruderio schema: 1 – variklis; 2 – ekstruderio galvutė; 3 – korpuso šildytuvas; 4 – ekstruderio korpusas; 5 – sraigtas; 6 – krovimo anga; 7 – atraminis guolis; 8 – reduktorius

Ekstruzijos būdu pagaminti gaminiai pasižymi geromis fizikinėmis ir mechaninėmis savybėmis, kurios priklauso nuo porų struktūros. Gaminų struktūra yra visiškai vientisa ir uždara.

XPS polistireninio putplasčio gaminiai netrūnija, nepūva, jiems būdingas geras cheminis atsparumas, mažas šilumos laidumo koeficientas, labai mažas vandens įmirkis, didelis stipris.

Statybos reikmėms gaminamas $25\text{--}45\text{ kg/m}^3$ tankio ekstruzinis polistireninis putplastis. Šios medžiagos uždara ir absoliučiai vientisa porų struktūra gerai sulaiko nejudantį orą, kurio šilumos laidumo koeficientas (λ_{10}) yra $0,026\text{ W/(m}\cdot\text{K)}$. XPS polistirenio putplasčio gaminių šilumos laidumo koeficientas, priklausomai nuo gaminio tipo, yra $0,029\text{--}0,45\text{ W/(m}\cdot\text{K)}$, įmirkis ne didesnis kaip $0,9\%$ nuo tūrio, gniuždymo stipris, kai bandinys deformuojamas 10% , didesnis kaip $0,29\text{ MPa}$, lenkimo stipris – $0,45\text{ MPa}$, tempimo stipris – $0,3\text{ MPa}$.

2.1.5. Polistireninio putplasčio gaminiai ir jų naudojimas

Gaminiai iš polistireninio putplasčio naudojami naujų, restaurojamų, remontuojamų pastatų vidaus ir išorės sienoms šiltinti, plokščių ir šlaitinių stogų termoizoliacijai, perdangų, grindų ir pamatų konstrukcijose.

Iš polistireninio putplasčio gaminamos polistireninio putplasčio plokštės, kurios gali būti naudojamos pastatų sienoms, stogams, perdangoms, grindims, pamatams šiltinti.

Atitvarų, kurioms šiltinti naudojamas EPS polistireninis putplastis, apibūdinimas ir naudotini putplasčio tipai pagal ST 124555873. 01:2005 „Atitvarų šiltinimas polistireniniu putplasčiu“ pateikti žemiau.

1. Sieną:

- išorinė rūšio siena su išorine šilumos izoliacija, apsaugota nuo mechaninių pažeidimų; apkrova, veikiant šilumos izoliacijai, yra vidutinė – EPS 100;
- išorinė rūšio siena su išorine šilumos izoliacija, apsaugota nuo mechaninių pažeidimų; apkrova, veikiant šilumos izoliacijai, yra didelė – EPS 150;
- fasadų šiltinimas – išorinė siena su šilumos izoliacija išorėje, padengta tinku, – EPS 70;
- išorinė siena su išorine šilumos izoliacija, padengta lakštiniais elementais, dailylentėmis, skarda ir pan., – EPS 50;
- išorinė sluoksniuota siena su šilumos izoliacija viduje – EPS 50;
- išorinė siena, apšiltinta iš vidaus, – EPS 50;
- išorinė karkasinio pastato siena (skydinė) – EPS 50.

2. Stogas:

- Stogas, apšiltintas virš gegnių arba kitokių laikančiųjų konstrukcijų. Standi arba kieta danga virš šilumos izoliacijos (čerpės, betonas, profiliuota skarda ir pan.) – EPS 80;
- stogas su šilumos izoliacija tarp gegnių – EPS 50;
- stogas su šilumos izoliacija po gegnėmis, apšiltintas patalpoje (iš vidaus) – EPS 50;
- sutapdintas stogas, apšiltintas dviem skirtingais polistireninio putplasčio sluoksniais. Viršutinis EPS sluoksnis užtikrina stogo mechaninį stiprį – EPS 100, apatinis – pakankamą šilumos izoliavimą – EPS 80;

- stogas su šilumos izoliacija, apsaugota ritinine danga nuo atmosferos kritulių; stogo apkrova vidutinė – EPS 100;
- stogas su šilumos izoliacija, apsaugota ritinine danga nuo atmosferos kritulių; stogo apkrova didelė (terasos, apželdinti stogai ir pan.) – EPS 150;
- stogas su šilumos izoliacija, neapsaugota nuo atmosferos kritulių, – atvirkštinis stogas, EPS 200.

3. Grindys:

- grindys su šilumos izoliacija, esančia po išlyginamuoju betono sluoksniu; garso izoliacijos reikalavimų nekeliamą; apkrova, veikianti grindų paviršių, maža (gyvenamuosiuose, administraciniuose, poilsio ir pan. pastatuose) – EPS 70;
- grindys su šilumos izoliacija, esančia po išlyginamuoju betono sluoksniu; gali būti sąlytis su gruntu; garso izoliacijos reikalavimų nekeliamą; apkrova, veikianti grindų paviršių, vidutinė (salėse, kavinėse, restoranuose ir pan.) – EPS 100;
- grindys su šilumos izoliacija, esančia po išlyginamuoju betono sluoksniu; gali būti sąlytis su gruntu; garso izoliacijos reikalavimų nekeliamą; grindų paviršių veikianti apkrova yra didelė (knygų saugyklose, archyvuose, pramonės įmonėse, automobilių parkavimo aikštelėse, baseinuose ir pan.) – EPS 200;
- šildomos grindys gyvenamuosiuose ir viešosios paskirties pastatuose – EPS 80;
- šaldytuvų, vaisių, daržovių, mėsos ir kitų maisto produktų saugyklų grindys – EPS 200;
- garsą izoliuojančios atitvaros, esant nedideliām, vidutiniškai padidintam spūdumui, – EPS T.

2.2. Polivinilchloridas (PVC)

Šiuo metu polivinilchloridas yra plačiausiai naudojamas termoplastikas. Pirmą kartą šį polimerą 1872 metais atsitiktinai atrado vokiečių mokslininkas Eugenius Baumanas. 1912 metais mokslininkas F. Klatte'as parengė teorinius pagrindus šiam polimerui gaminti.

Pramoniniu mastu PVC produkcija pradėta gaminti 1938 metais. Polivinilchlorido granulių bendras vaizdas pateiktas 2.7 pav., a. Europoje PVC atliekų tvarkymo plėtrą stebi 2000 m. įsteigtas juridinis subjektas „Vinyl 2010“. Ši organizacija numato atliekų tvarkymo metodus ir stebi, kad žaliavos būtų naudojamos kaip įmanoma veiksmingiau. 2010 m. buvo perdirbta 260,8 tūkst. tonų PVC atliekų, t. y. 220 tūkst. tonų daugiau nei 1999 metais. Polivinilchlorido identifikacijos kodas pateiktas 2.7 pav., b.

2.7 pav. Polivinilchlorido granulių vaizdas (a), polivinilchlorido identifikacijos kodas (b)

2.2.1. Žaliavos ir gamyba

Polivinilchloridas sintetinamas iš vinilchlorido radikalinės polimerizacijos būdu:

Polimerizuojama kondensuotame monomere, suspensijoje arba emulsijoje. Pramoniniu būdu vinilchloridas gaminamas chlorinant etileną ir pirolizuoiant susidariusį dichloretaną. Polivinilchloridas iš vinilchlorido polimerizacijos metu gaunamas trimis būdais: *polimerizuojant masėje* (gaunama apie 11 % medžiagos); *emulsijoje*; *suspensijoje*.

Apie 70–75 % polivinilchlorido pramonėje gaminama suspensinės polimerizacijos būdu. Polimerizacijos procesas baigiamas, kai

monomero konvekcijos laipsnis siekia 75–90 %. Gautas polimeras iš suspensijos nusodinamas pridėjus elektrolito. Vinilchloridas yra nuodinga žaliava, galinti sukelti įvairių susirgimų, todėl monomero likučiai iš suspensinio polivinilchlorido šalinami šildant polimerą vakuumė arba šūtinant vandens garuose.

Principinė polivinilchlorido gamybos schema, kai gaminama suspensiniu būdu, taikant du džiovavimo variantus, pateikta 2.8 pav. Į polimerizacijos reaktorių, kurio tūris, tarkim, yra 10 m³, įdedama 3000 kg vinilchlorido, 6000 kg vandens, 4 kg suspensijos agento, 2–4 kg iniciatoriaus.

Gautas polivinilchloridas gali būti perdirbamas į kietojo PVC (viniplasto) arba minkštojo PVC dirbinius. Kadangi į polivinilchlorido sudėtį įeina chloras, gamybos procese sunaudojama mažiau etileno, todėl PVC tampa santykinai pigesne medžiaga nei polietilenas ar polipropilenas.

Kietasis PVC kaitinamas 120–190 °C temperatūroje, o iš gauto lydalo formuojami dirbiniai. Toks PVC yra gana atsparus atmosferos poveikiui. Iš kietojo PVC gaminami vamzdžiai, konstrukcinės detalės, lakštai, langų ir durų rėmai.

2.8 pav. Principinė polivinilchlorido gamybos (esant dviem džiovavimo variantams) schema: 1 – polimerizacijos reaktorių; 2 – separatorius, kuriame atskiriamas nesusireagavęs vinilchloridas; 3 – maišymo įrenginys; 4 – centrifuga; 5 – greito džiovavimo įrenginys; 6 – džiovavimo būgnas; 7 – polimero surinktuvas; 8 – sijosimo mazgas; 9 – ciklonas dulkėms surinkti

Minkštasis PVC gaminamas iš PVC ir 10–40 % plastifikatorių mišinio (dažniausiai naudojami ftalatai), gamybos metu paruošiamas homogeniškas mišinys, kuris formuojamas 160–180 °C temperatūroje. Minkštas PVC naudojamas kaip elektroizoliacinė medžiaga, iš kurios gaminamos grindų dangos, dirbtinės dangos. Minkštasis PVC atsparus daugkartinėms deformacijoms.

Ekstrudiniu būdu gali būti formuojami vienasluoksniai ir daugiasluoksniai gaminiai. Statyboje naudojami tokie ekstrudiniu būdu pagaminti dirbiniai: vamzdžiai, šuliniai, langų rėmai, palangės, grindjuostės, plastikinės dailylentės.

Vienasluoksnių dirbinių gamybos technologija. Principinė PVC ekstrudinių dirbinių gamybos technologinė schema pateikta 2.9 paveiksle.

2.9 pav. Principinė technologinė PVC ekstrudinių dirbinių gamybos schema: 1 – užpildas; 2 – plastiko žaliava; 3 – perdirbti skirti neatitiktiniai dirbiniai; 4 – užpildo talpykla; 5 – plastiko žaliavos talpykla; 6 – maišymo įrenginys; 7 – paruoštos masės talpykla; 8 – trupintų dirbinių tiekimo įrenginys; 9 – masės tiekimo įrenginys; 10 – ekstruderis; 11 – formavimo įrenginys; 12 – kalibratorius su vakuuminiu aušintuvu; 13 – aušinimo vonelė; 14 – žymėjimo įrenginys; 15 – griebtuvas; 16 – pjaušymo įrenginys; 17 – gaminio nuėmimo nuo linijos įrenginys

PVC granulių pavidalo į gamyklą gali būti atvežamas automobilių transportu. Iš autovežio cisternos PVC pneumatiniu siurbliu iškraunamas į silosus, kuriuose laikomas ir sandėliuojamas. Iš silosų PVC granulės patenka į malimo ir maišymo įrenginį, kuriame sumai-

šomos su užpildu ir stabilizatoriumi. Mišinys permalamas, užtikrinant masės homogeniškumą ir vienodą dalelių skersmenį. Paruoštas mišinys sandėliuojamas bunkeryje, iš kurio pro dozavimo įrangą tiekiamas į estruderį. Užpildas taip pat gali būti atvežamas automobilineis cisternomis ir sandėliuojamas silosuose arba atvežamas 1 t maišuose ir laikomas sandėliuose. Iš silosų arba iš maišų užpildas pneumatiniiais siurbliais tiekiamas į malimo ir maišymo vietą. Malimo ir maišymo vietoje į mišinį pridedama ir stabilizatoriaus mišinio, kuris atvežamas automobilineiu transportu maišuose po 25 kg. Į maišymo įrenginį stabilizatorius dedamas rankiniu būdu.

Mišinys iš sandėliavimo bunkerio toliau apdirbti per dozatorių tiekiamas į ekstruderį, kuriame išlydomas. Tiekimo metu mišinys eidamas vamzdžiais nuo trinties įkaista ir tampa pradinės temperatūros. Ekstruderyje yra sraigtai, kurie besisukdami stumia įkaitintą plastiko mišinį pirmyn paversdami jį formuoti tinkama mase. Ekstruderyje temperatūra pakeliama iki 195 °C ir joje mišinys išsilydo. Tokios būsenos jis tampa lengvai formuojamas – galima formuoti vientisą ar kombinuotąjį nenutrūkstamą gaminį. Tuo metu vykstant nenutrūkstamam tiekimui jau išlydyta žaliava stumiama į dirbinio formavimo galvutę, esančią formavimo įrenginyje. Formavimo galvutėje temperatūra siekia iki 210 °C. Bendras suformuoto nenutrūkstamo PVC dirbinio, išėjusio iš formavimo įrenginio, vaizdas pateiktas 2.10 pav.

2.10 pav. Bendras suformuoto PVC dirbinio, išėjusio iš formavimo įrenginio, vaizdas

Suformuotas dirbinys toliau patenka į kalibratorių, kuriame jam suteikiamas tikslus išorinis matmuo. Užtikrinti ypač tikslų sienelės storį galima naudojant ultragarsinį kalibratorių, kuris matuoja dirbinio sienelės storį ultragarsu. Iš kalibratoriaus dar šiltas ką tik suformuotas ir kalibruotas dirbinys patenka į vakuuminę aušinimo vonelę. Joje palaikomas pastovus slėgis, neleidžiantis dirbiniui subliukšti, deformuotis ar kitaip pakeisti įgytą formą, kol dirbinys pasieks optimalią temperatūrą. Dirbinys, eidamas per vakuuminį aušintuvą, per laistymo angas visą laiką laistomas tam tikros temperatūros vandeniui. Dirbinys, atvėsintas vakuuminiame aušintuve, jau išlaiko suteiktą formą ir galutinai ataušti toliau nukreipiamas į paprastą aušinimo vonelę, kurioje atvėsinamas vandens čiurkšlėmis. Linijos pastoviam greičiui užtikrinti reikalingas griebtuvas, kuris pastoviu greičiu dirbinį traukia per visą gamybos liniją. Greitis turi būti pritaikytas prie kitų linijos įrenginių pajėgumų, svarbiausia – prie pagrindinio įrenginio ekstruderio žaliavos lydymo greičio. Paprastai linija juda apie 4 m per minutę greičiu. Atvėsintas dirbinys jau atitinka visus jam keliamus reikalavimus, bet prieš tai jį dar reikia pažymėti, supjaustyti ir pašalinti iš gamybos linijos. Dirbinys iš griebtuvo stumiamas į pjaustymo įrenginį, kuris, prisitaikydamas prie gamybos linijos greičio, pjausto jį įvairiais gamyklos nustatytais ilgiais. Dirbinys žymimas tam tikrais intervalais. Žymėjimo įrenginys pažymi pagamintą produkciją, ant dirbinio užrašydamas: pagaminimo datą, standarto numerį, atsparumo klasę, partijos numerį. Tai padeda užtikrinti dirbinio kokybę, ištaisyti gamybos broką, nustatyti ir pašalinti jo atsiradimo priežastis.

Daugiasluoksnių dirbinių gamybos technologija. Pastaraisiais metais pradėtos naudoti naujos plastikinių dirbinių gamybos technologijos. Šios technologijos pritaikytos daugiasluoksniams dirbiniams gaminti. Tai dirbiniai, kuriems gaminti naudojami skirtingo tankio plastiko sluoksniai. Daugiasluoksniai dirbiniai gaminami dėl keleto priežasčių: jie yra lengvesni, pigesni, puikių mechaninių savybių, tikslesnių matmenų ir labai atsparūs mechaniniams poveikiams. Pavyzdžiui, pagal šią technologiją gaminamų vamzdžių yra daugiau nei

50 % iš visų Europos Sąjungoje parduodamų išorės nuotekų tinklų vamzdžių. Daugiasluoksniu dirbinio sienelės pjūvis pateiktas 2.11 pav. Dirbinio vidurinis sluoksnis yra pagamintas iš išputinto PVC.

2.11 pav. Daugiasluoksniu dirbinio pjūvis

Pagal nagrinėjamą daugiasluoksnių dirbinių technologiją karšto plastiko sluoksniai išspaudžiami į formavimo įrenginį, kuriame sluoksniai sulydomi į vieną gaminio sienelę, suformuojant ištisinį gaminį. PVC, kuris naudojamas vidiniam sluoksniui, tankis yra apie 900 kg/m^3 . Vidinio sluoksniu medžiagos tankis mažesnis, nes jam suformuoti naudojami poras sudarantys priedai.

Daugiasluoksniu dirbinio gamybos technologijos pagrindinė idėja yra ta pati kaip ir tėjinės sijos. Didžiausi įtempiai susidaro vamzdžio viršutinėje ir apatinėje sienelės dalyje, o vidurinis sluoksnis yra kaip rišamasis. Esant tokiai konstrukcijai, dirbinio stipris sumažėja nereikšmingai, o vartotojas gauna tokios pačios kokybės dirbinį, tik už mažesnę kainą.

Vidiniams sluoksniams įprasta naudoti lengvesnę ir mažesnio stiprio medžiagą, nes šį sluoksnį veikia ne tokie dideli mechaniniai įtempimai, fizikiniai ir cheminiai veiksniai, tokie kaip UV spinduliavimas ir įvairi tarša.

Skirtingai nuo vienasluoksnių dirbinių, daugiasluoksniams dirbiniams gaminti naudojamas ne vienas, o du ekstruderiai – vienas išoriniams sluoksniams, kitas vidiniam sluoksniui formuoti.

Daugiasluoksniu dirbinys suformuojamas formavimo galvutėje. Gaminamo dirbinio skersmuo ir sienelės storis priklauso būtent nuo šio įrenginio. Gaminant PVC daugiasluoksni dirbinį formavimo galvutėje temperatūra siekia iki 210°C . Šiame įrenginyje vidinis ir

išoriniai sluoksniai patikimai sukimba ir sudaro vientisą sienelę. Pagaminti tokį dirbinį tampa įmanoma dėl termoplastikų linijinių molekulių grandinių savybės: išsilydžiusios molekulės jungiasi į vientisų grandinių junginius.

Karšto plastiko sluoksniai išspaudžiami į formavimo įrenginį, kuriame sluoksniai sulydomi į vieną dirbinio sienelę, suformuojant ištisinį dirbinį. Dv sluoksnio plastiko komponentų maišymo mazgo schema pateikta 2.12 paveiksle, o masių judėjimo trijų sluoksnių dirbinio formavimo principinė schema pavaizduota 2.13 pav.

2.12 pav. Dv sluoksnio plastiko komponentų maišymo mazgas:

- 1 – vidinio sluoksnio ekstruderis; 2 – išorinio sluoksnio ekstruderis;
- 3 – ekstruderio korpusas; 4 – adapteris; 5 – vidinio sluoksnio skirstytuvas;
- 6 – tuščio sluoksnio formavimo korpusas; 7 – tuščio sluoksnio formavimo korpuso laikiklis; I – išorinis gaminio sluoksnis;
- II – vidinis gaminio sluoksnis

2.13 pav. Plastiko masių judėjimas trisluoksnio dirbinio formavimo metu:

- 1 – išorinio sluoksnio ekstruderis; 2 – vidinio sluoksnio ekstruderis;
- 3 – formavimo įrenginys; 4 – dirbinio formavimo galvutė

Daugiasluoksnio dirbinio iš PVC, gaminamo pagal aprašytą technologiją, sluoksniai yra skirtingo tankio:

- vidinis sluoksnis yra $\sim 900 \text{ kg/m}^3$ tankio;
- išoriniai sluoksniai yra $\sim 1430 \text{ kg/m}^3$ tankio.

Bendras PVC daugiasluoksnio dirbinio tankis yra $\sim 1000 \text{ kg/m}^3$, o pavyzdžiui, viensluoksnio dirbinio tankis siekia 1430 kg/m^3 .

Pagal daugiasluoksnių dirbinių gamybos technologiją vidinį putintą dirbinio sluoksnį galima gauti iki 500 kg/m^3 tankio, tačiau mažinant vidinės sienelės tankį mažėja putinto PVC sluoksnio stipris. Minimalus rekomenduojamas putinto PVC sluoksnio tankis yra 800 kg/m^3 , kai PVC putinimo laipsnis – 57 %.

Naudojant putintą vidinį sluoksnį gaunama medžiagų ekonomija. Palyginus išorinių sluoksnių ir vidinio sluoksnio santykį matyti, kad net 44 % bendros masės sudaro išorinių sluoksnių masė, o išorinių sluoksnių storis yra apie 3–4 kartus mažesnis nei vidinio sluoksnio.

Gaminant vidinį putintą dirbinio sluoksnį gali būti naudojamos dvi mažo tankio medžiagos gavimo technologijos. Pirmoji, kai daugiasluoksnio vamzdžio gamybos metu suspaustos dujos (azotas arba anglies dioksidas) įterpiamos į jau išlydytą plastiko mišinį sraigte. Dujų, sumaišytų su plastikumi, mišinys slegiamas ir transportuojamas į tarp dviejų išorinių dirbinio sluoksnių susidarančią ertmę. Kalibravimo įrenginys, kalibruojantis išorinius daugiasluoksnio dirbinio sluoksnius, montuojamas taip arti formavimo įrenginio žiočių, kad vidinio sluoksnio putinimas vyktų ir kalibravimo įrenginyje. Kitas išputinto sluoksnio gavimo būdas yra putinimo cheminio agento įterpimas į plastiko masę – tada gaunamas mažesnis nei 50 % išputinimo laipsnis, o sluoksnio tankis yra palyginti didelis.

Grindų dangos (linoleumo) gamybos technologija. Iš polivinilchlorido ir priedų (plastifikatorių, pigmentų, technologinių priedų) gaminamos grindų dangos – linoleumai, plytelės. Principinė PVC linoleumo gamybos schema pateikta 2.14 pav.

Linoleumas gaminamas valcavimo būdu, naudojant prietaisus – kalandrus. Valcavimas – tai medžiagos apdirbimas leidžiant ją tarp

2.14 pav. Principinė PVC linoleumo gamybos schema:

1, 3 – PVC bunkeriai; 2 – vibraciniai sietai; 4 – bunkeris priedams;
 5, 6 – įvairių priedų dozavimo įrenginiai; 7 – džiovinimo būgnas
 (priedams); 8 – papildomas priedų bunkeris (pvz., dažų); 9 – maišymo
 įrenginys; 10 – valcavimo įrenginys; 11 – kalandras (suspaudimo velenai),
 12 – apipjaustymo įrenginys

dviejų skirtingomis kryptimis besisukančių velenų. Gamyboje naudojami kalandrai, kuriuose yra besisukančių velenų sistema. Kalandruose judanti juosta apdorojama spaudžiant tarp dviejų arba daugiau velenų. Apdorojimo tikslas: juostos išlyginimas, blizgesio suteikimas (sausio apdorojimo kalandre), reljefinio rašto sudarymas (išspaudimo kalandre) ir kt. Gautas reikiamo storio gaminys dažnai derinamas su įvairaus tipo dervomis impregnuotais arba paprastais tekstiliniai audiniais. Kalandrai taip pat dažnai naudojami ir daugiasluoksniams kompozitams gaminti.

Polivinilchloridas ir įvairūs priedai maišymo įrenginyje apie 2 h maišomi 80 °C temperatūroje, paskui masė apie 24 h. išlaikoma 20 °C temperatūroje. Toliau masė tiekama į valcavimo įrenginius, kuriuose palaikoma 130–160 °C temperatūra, vėliau ji pjaunama peiliais ir nukreipiama į kalandrą. Kalandre garai palaiko 150–165 °C temperatūrą. Po valcavimo gaunamas reikiamo storio gaminys. Toliau gaminys aušinamas, apipjaustomas ir pakuojamas.

2.2.2. Polivinilchlorido savybės

Pagrindinės polivinilchlorido savybės pateiktos 1.2 lentelėje. Pagal naudotus priedus gaminant dirbinius iš polivinilchlorido yra išskiriamas neplastifikuotas polivinilchloridas PVC-U. Į jo sudėtį neįeina ftalatų arba kitų kenksmingų plastifikatorių, tokių kaip BPA – organinių junginių su dviem fenolinėmis funkcinėmis grupėmis.

Polivinilchloridas tirpsta cikloheksanone, kai kuriuose chlorintuose angliavandeniliuose, tetrahidrofurane. Kambario temperatūroje jis yra atsparus rūgštims ir šarmams, vandeniui ir alkoholiams. PVC stiklėjimo temperatūra yra 82 °C; jis neatsparus šilumos ir šviesos veikimui; 100–120 °C temperatūroje pradeda atsiskirti vandenilio chloridas, o palaikytas tokioje temperatūroje ilgesnį laiko tarpą tampa trapus; 140 °C temperatūroje pradeda irti. Vinilchloridas susidaro apšvitinus polimerą ultravioletine spinduliuote. Šią reakciją galima sustabdyti išsiskiriantį HCl surišant stabilizatoriais: neorganinėmis arba organinėmis švino druskomis, cinko organiniais junginiais, epoksidais. Stabilizuotas PVC išlaiko trumpalaikę 190 °C temperatūrą, termiškai apdorotas tampa atsparus atmosferos poveikiui.

2.2.3. Gaminiai ir jų naudojimas

Vamzdynai iš polivinilchloridinių dirbinių – tai efektyvios inžinerinės sistemos. Šių inžinerinių sistemų naudojimo patirtis leidžia teigti, kad jos turi nemažai privalumų lyginant su metalinėmis medžiagomis. Plastikiniai vamzdžiai gali būti naudojami įrengiant naujus tinklus ir renovuojant jau susidėvėjusius.

Polivinilchloridiniai vamzdžiai jau daugelį metų naudojami visose pasaulio šalyse. Polivinilchloridiniai vamzdžiai turi puikių savybių – sistemos hidrauliškai patikimos, jungtys sandarios, vamzdžiai patvarūs, nedaug sveria, atsparūs korozijai, nusidėvėjimui. Vamzdžiai iš polivinilchlorido vandentiekio inžinerinėse sistemose pradėti naudoti vieni iš pirmųjų. Jie naudojami šaltam vandeniui tiekti, taip pat maisto pramonės technologinėms sistemoms, kanalizacijos tinklams. Vamzdžiai iš šios medžiagos patogūs naudoti dėl

šių savybių: montavimo darbams nereikalingi specialūs įrankiai; sujungiami movomis arba klijuojami; pakankamai standūs; juos galima paslėpti konstrukcijose ir naudoti neuždengtus; žaliavos, naudojamos šiam plastikui gauti, yra vienos iš pigesnių. Vamzdžiai yra ilgaamžiai – net veikiami agresyvių nutekamųjų vandenų puikiai išlaiko savybes. PVC vamzdžiai yra sandarūs, todėl nutekamieji vandenys nuteka į gruntą ir jo neužteršia, o gruntiniai vandenys nepatenka į kanalizacijos sistemą ir nedidina jos apkrovos. Jie yra lengvi, o tai palengvina montavimą ir didina darbo saugumą.

PVC vamzdžiai atsparūs cheminėms medžiagoms, jų šilumos laidumo koeficientas yra apie $0,16 \text{ W/m}\cdot\text{K}$. Geriamajam vandeniui skirti vamzdžiai nesuteikia vandeniui jokio skonio ar kvapo. Tokie vamzdžiai nesudaro sąlygų intensyviai mikrobų augimui. Plastikinės medžiagos išsiskiria itin geru atsparumu dėvėjimui.

Jie gali būti naudojami visų rūšių slėginiams ir savitakiams tinklams, kaip apsauginiai vamzdžiai – elektros ir televizijos kabeliams, kaip drenažo vamzdžiai – pramoniniams technologiniams vamzdynams. Paprastai namo kanalizacijai naudojami 50–160 mm skersmens vamzdžiai, tinkantys lietaus vandeniui ir buitiniams nutekamiesiems vandenims. Komunaliniam ūkui ir pramonei skirtos 200–630 mm skersmens kanalizacijos sistemos. Lietaus vandeniui nutekėti naudojami 110–500 mm skersmens vamzdžiai.

PVC vamzdžiai gali būti vienasluoksniai ir daugiasluoksniai. Išorinio sluoksnio tankis gali siekti $\sim 1430 \text{ kg/m}^3$. Vidinio išputinto sluoksnio tankis gali būti $\sim 900 \text{ kg/m}^3$. Jo sienelės storis gali sudaryti nuo 5 iki 20 mm, dažniausiai gaminama 10 mm storio sienelė. Storesni sluoksniai naudojami siekiant geresnių izoliacinių savybių arba geriau apsaugoti vidinį apsauginį sluoksnį nuo išorinių įtempimų. Kai kurios daugiasluoksnių vamzdžių gamybos technologijos leidžia pagaminti 50 mm storio vidinį išputintą sluoksnį, kurio tankis yra tik $100\text{--}300 \text{ kg/m}^3$.

Mechaninės vidinio išputinto sluoksnio savybės gali būti lengvai keičiamos naudojant smulkiadispersius užpildus arba plaušinius

priedus. Šio sluoksnio gniuždymo stipris gali būti padidintas vidiniam sluoksniui naudojant volastonitą, įterptą į poliolefino putas.

Langų ir durų rėmai iš PVC pasižymi aukštomis šilumos ir garso izoliacinėmis savybėmis, atlaiko dideles vėjo apkrovas, yra nelaidūs vandeniui. Langų rėmų, pagamintų iš PVC, vaizdas pateiktas 2.15 paveiksle.

2.15 pav. Langų rėmų iš PVC vaizdai: kairėje – rėmas su armatūra iš plieninių profilių; dešinėje – rėmas su armatūra iš stiklaplasčio

Iš polivinilchlorido, naudojant įvairius plastifikatorius, tirpiklius, užpildus ir dažiklius, gaminamos įvairios heterogeninės ir homogeninės PVC grindų dangos ir plytelės, linoleumas. Tokia danga yra higieniška, atspari dilimui ir puvimui, lengvai prižiūrima, tačiau jautri aukštomis temperatūroms ir neatspari acetoniui bei kitiems stipriems tirpikliams. Atvirame ore PVC dangų naudoti negalima, kadangi esant nepalankioms oro sąlygoms – karščiui, šalčiui, krituliams – jos pradeda irti.

Homogeninės (vienalytės) dangos dažniausiai naudojamos tose vietose, kur daug vaikštoma, t. y. ten, kur medžiaga gali greitai susidėvėti. Homogeninės dangos rekomenduojamos naudoti intensyvaus judėjimo visuomeninėse patalpose, mokymosi ir sveikatos priežiūros įstaigose, prekybos centruose, biuruose.

Heterogeninės PVC dangos – tai daugiasluoksnės dangos, susidedančios iš dviejų ar daugiau sluoksnių. Šioms dangoms būdinga sudėtingesnė struktūra nei homogeninių dangų. Jų pagrindas – stiklo audinio lakštas, kurio svarbiausios savybės yra tankis ir tvirtumas. Paprastai naudojamas 30–55 g/m² tankio stiklo audinys.

Visos heterogeninės dangos skiriasi tik dangos sluoksnių storiu ir raštais. Dangų pagrindai būna dviejų tipų: *cheminiai*, *mechaniniai*. Danga su mechaniniu pagrindu paprastai yra atsparesnė. Toks pagrindas, gaunamas mechaniniu būdu presuojant pagrindo ruošinį, yra tankesnis. Cheminis pagrindas gaunamas cheminės reakcijos būdu sukeliant plastiko masės putojimą. Dangos su mechaniniu pagrindu yra standesnės, atsparesnės mechaniniam poveikiui ir, žinoma, brangesnės. Dangos su cheminiu pagrindu yra pigesnės ir dažniausiai klojamos buitinėse patalpose.

Kopolimerizuojant vinilchloridą su 3–20 % vinilacetato acetonu gaunami lakai. Kopolimerizacijos metu susidaro geresnių eksploatacinių savybių ir atsparesnis kopolimeras, kuris yra žaliava plastikiniams šaldytuvų, televizorių, dulkių siurblių korpusams gaminti. Apie parą 60–100 °C temperatūroje chlorinant ištirpintą PVC gaunama perchlorvinilinė derva. Ši derva gerai limpa prie metalo paviršiaus, dėl to naudojama metalams dengti rūgštims atspariomis dangomis. Ji tirpsta acetone ir butilacetate, minkštėja 110 °C temperatūroje. Perchlorvinilinė derva gali būti naudojama PVC detalėms klijuoti.

2.3. Polietilenas (PE)

Polietilenas yra termoplastinis polimeras, susidarantis polimerizuojant eteną. Jis yra vienas iš pigiausių ir plačiausiai naudojamų polimerų. Polietilenas pirmą kartą buvo susintetintas vokiečių mokslininko Hanso fon Pechmano (Hans von Pechmann) 1898 metais. Jis tai padarė atsitiktinai, kaitindamas diazometaną.

Pramoninė polietileno gamyba esant dideliam slėgiui pradėta 1937 metais Anglijoje, o esant mažam – tik 1950 metais Jungtinėse Amerikos Valstijose. Polietilenai skirstomi pagal tankį, kuris priklauso nuo makromolekulių sandaros ir polimero kristališkumo laipsnio (kristalinių ir amorfinių polimerų masių santykis). Polietilenas dažniausiai gaminamas nuo 2 iki 5 mm granulėmis. Bendras polietileno granulių vaizdas pateiktas 2.16 pav.

2.16 pav. Polietileno granulių vaizdas

2.3.1. Polietileno rūšys, žaliavos ir gamyba

Polietilenas gaminamas polimerizuojant eteno (gali būti vadinamos etileno) dujas esant dideliam arba mažam slėgiui. Polietilenas skirstomas į rūšis pagal polimerinių grandinių šakotumą, nuo jo priklauso kristalinė struktūra ir molekulinis svoris.

Polietileno identifikacijos simboliai pateikti 2.17 paveiksle.

2.17 pav. Polietileno identifikacijos simboliai:
kairėje – didelio tankio polietileno, dešinėje – mažo tankio polietileno

Pagrindinės polietileno rūšys yra šešios:

- labai mažo tankio PE (VLDPE);
- linijinis mažo tankio PE (LLDPE);
- mažo tankio (LDPE) (2.18 pav., a);
- labai didelės molekulinės masės HDPE (UHMW-HDPE);
- didelės molekulinės masės HDPE (HMW-HDPE);
- didelio tankio PE (HDPE) (2.18 pav., b).

Gamintojai naudoja vadinamąjį vidutinio tankio PE (MDPE), tačiau tai nėra atskira polietileno rūšis, o HDPE ir LDPE mišinys. Taip pat gaminamas sujungtas į trimatį tinklą polietilenas PEX. Jis gali būti trijų rūšių: PEXa, PEXb, PEXc. PEX gaminamas iš sutankinto ir apdoroto specialiuoju būdu polietileno. PEXa tankinamas naudojant perok-

sidą, PEXb – hidrosilikoniniu būdu, o PEXc – elektronų srautu. Populiariausias yra PEXc. PEXa gamyba yra brangiausia, o gamybos procesas gana sudėtingas. PEXc medžiaga yra mažiau lanksti, tačiau atlaiko tą patį darbinį slėgį ir temperatūrą kaip ir PEXa.

2.18 pav. Polietileno gavimas iš etileno dujų: a – mažo tankio polietilenas (LDPE), gaunamas radikalinės polimerizacijos būdu, b – didelio tankio polietilenas (HDPE), gaunamas koordinacinės polimerizacijos būdu naudojant katalizatorių

Polietilenas apibūdinamas pagal tankį ir lydalo tekėjimo indeksą, kuris rodo suskystintos medžiagos gravimetrinį judėjimą kaitinant (2.4 lentelė).

2.4 lentelė. Polietileno rūšių savybės

Polietileno rūšis	Tankis, kg/m ³	Lydalo tekėjimo indeksas, g/10 min
HDPE	941–965	0,2–30
MDPE	926–940	1–20
LDPE	915–925	0,3–26
LLDPE	915–925	0,1–100
VLDPE	870–914	0,02–10

Apibendrinant reikia pažymėti, kad 100 % amorfinio PE tankis yra 0,85 g/cm³, o 100 % kristalinio – 1 g/cm³. HDPE kristališkumo laipsnis sudaro 60–90 %, o LDPE – 40–50 %. 50 % kristališkumo LDPE šimto anglies atomų grandinėje turi dvi atšakas, o 60–90 % kristališkumo HDPE – 0,5. Polietileno stiklėjimo temperatūra svyruoja nuo labai žemos iki žemos (nuo –130 iki –20 °C). Mažo tankio

polietileno susitraukimas gaminant gaminius yra 1,5–2,0 %, didelio tankio polietileno – 0,75–1,5 %.

Pramoniniu mastu polietilenas gaminamas keturiais būdais. Vienas būdas taikomas, kai polietilenas gaminamas esant dideliam slėgiui ir trys – esant mažam.

Mažo tankio polietilenas (LDPE) sintetinamas esant 280 MPa slėgiui, temperatūra pakeliama iki 275 °C. Polimerizacija monomere inicijuojama deguonimi arba peroksijunginiais. Pirma, iš leidžiamų per redukuoto vario katalizatorių eteno dujų šalinamas deguonis. Vėliau, į dujas įterpus reikiamą deguonies kiekį, jos pirmoje kompresorių eilėje suslegiamos iki 30 MPa, antroje – iki 280 MPa. Toliau mišinys patenka į reaktorių, kuriame vyksta polimerizacijos procesas. Laisvieji radikalai, inicijuojantys radikalinę polietileno polimerizaciją, susidaro skylant eteno ir deguonies reakcijos produktui – rūgščiajam eteno peroksidui ($\text{CH}_2 = \text{CH}(\text{OOH})$).

Principinė LDPE (didelio slėgio) gamybos schema pateikta 2.19 paveiksle.

2.19 pav. Principinė LDPE (didelio slėgio) gamybos schema:

- 1 – aušinimo elementai; 2 – pirmoji etileno saugykla; 3 – antroji etileno saugykla; 4 – kompresoriai (pirmasis ir antrasis); 5 – cilindrinis reaktorius; 6 – separatorius, kuriame atskiriamas nesureagavęs monomeras;
- 7 – granuliatorius; 8 – aušinimo įrenginys; 9 – džiovinimo įrenginys;
- 10 – polietileno granulių bunkeris

Gaminant polietileną naudojamas cilindrinis reaktorius arba autoklavas. Cilindrinį reaktorių sudaro dvi zonos. Pirmojoje zonoje metilenas, sumaišytas su iniciatoriumi, kaitinamas iki 180 °C temperatūros, antrojoje – kaitinamas iki 275 °C temperatūros esant 280 MPa slėgiui. Etileno buvimo trukmė reaktoriuje yra 70–100 s, naudingumo koeficientas 18–20 %. Polimerizacijos procesui pasibaigus likęs monomeras atskiriamas nuo išlydyto polietileno ir grąžinamas į sintezės pradžią. Gautas polietileno lydalas aušinamas 180–190 °C temperatūroje ir perdirbamas į granules. Vandeniui ataušintos 60–70 °C temperatūros polietileno granulės vėliau džiovinamos šiltu oru ir pakuojamos į maišus.

Didelio tankio polietilenas (HDPE) sintetinamas bevandenėje terpėje ir esant šiek tiek didesniai negu atmosferinei slėgiui, naudojant Ziegler ir Natta (Karl Ziegler ir Giulio Natta – mokslininkai, už atradimus polimerų chemijos ir polimerizacijos technologijų srityje 1963 m. apdovanoti Nobelio premijomis) arba metalų oksidų iniciatorius. Visų mažo slėgio polietileno sintezės metodų reakcijos mechanizmas vienodas – augant makromolekulei etenas įsiterpia tarp grandinės galo ir iniciatoriaus komplekse esančio kintamojo valentingumo metalo, t. y. vyksta koordinacinė polimerizacija.

Plačiai naudojami trys didelio tankio polietileno gavimo būdai: Ziegler, „Philips“, „Unipols“.

Gaminant polietileną Ziegler būdu iniciatorius yra $\text{TiCl}_4/(\text{C}_2\text{H}_5)_2\text{AlCl}$. Iniciatoriaus efektyvumas (iniciatoriaus gramų kiekis 1 kg PE) – 3 g, polimero būseną – suspensija heksane, slėgis 0,8–3,5 MPa, temperatūra 50–90 °C, reakcijos trukmė 2–3 val. Polimerizacija vyksta temperatūroje, žemesnėje nei polietileno lydymosi temperatūra. Polimerizacijos metu susidarantis polimeras suriša netirpias heksane iniciatoriaus daleles. Mažėjant iniciatoriaus koncentracijai polimerizacijos procesas lėtėja. Sintezė nutraukiama suardžius iniciatoriaus kompleksą vandenilio chloridu. Susidarę tirpūs alkoholyje titano junginiai ir alkilaliuminis iš nuosėdų išplaunami alkoholiu. Atskirtas iš dispersijos polimeras džiovinamas ir granuliuojamas,

o tirpiklis regeneruojamas. Sintezės metu polimero molekulinė masė reguliuojama dedant į reakcijos mišinį vandenilio.

„Philips“ būdu polietilenas sintetinamas esant didesniai slėgiui – 2,8–5 MPa ir aukštesnėje temperatūroje – 110–175 °C; iniciatorius yra Cr_2O_3 ir Al_2O_3 ; iniciatoriaus efektyvumas 3–10 g; polimero būsena – tirpalas cikloheksane; reakcijos trukmė 1,5 val. Susidaręs polietilenas tirpsta cikloheksane, todėl iniciatorius šalinamas karštą tirpalą centrifuguojant. Pašalinus iniciatoriaus likučius, tirpalas aušinamas iki temperatūros, kurioje susidaro ir nusėda polietileno dribsniai, kurie toliau plaunami, džiovinami ir granuliuojami. Tokiu būdu susintetinto polimero molekulinė masė priklauso nuo reakcijos temperatūros. Didinant reakcijos temperatūrą, molekulinė masė mažėja (pvz., 175 °C temperatūroje gaunama tik 25 000 molekulinės masės polietilenas).

Polietileno sintezė „Unipol“ būdu atliekama eteno dujose. Polimeras sintetinamas nuolatinio veikimo reaktoriuje, kuriame kietame nešiklyje imobilizuotas iniciatorius ir dujinis monomeras maišomi pseudoverdančiajame sluoksnyje. Gaminant polietileną šiuo būdu, tirpiklių nenaudojama. Tirpiklių nereikia regeneruoti, o tai reiškia, kad gaminant energijos sąnaudos sumažėja keturis kartus.

Gaminiai iš PE. Iš paruoštų įkaitintų ir išlydytų į lydalą polietileno granulių formuojami gaminiai. Lydalo temperatūra 140–180 °C. Jau pagamintas polietileno detales galima sujungti suvirinant 200–250 °C temperatūroje arba sulydant karšto oro srove. Visų termoplastinių dirbinių, gaminamų ekstrudiniu būdu, gamybos technologija yra panaši. Principinė polietileno dirbinių gamybos technologinė schema pateikta 2.19 paveiksle.

Ekstrudiniu būdu taip pat gaminama apie 80 % visų plėvelių. Principinė polietileno plėvelės gamybos ekstrudiniu būdu per plyšį schema pateikta 2.20 paveiksle.

Gaminamos vienasluoksnės ir daugiasluoksnės plėvelės. Principinė trijų sluoksnių polietileno plėvelės gamybos įrenginio schema pateikta 2.21 paveiksle. Didžiausi plėvelės kiekiai gaminami ekstrudiniu pūtimo būdu. Principinė polietileno plėvelės gamybos ekstrudiniu

diniu pūtimo būdu schema pateikta 2.22 paveiksle. Ekstruderyje išlydyta žaliava tempiama į viršų oro srauto, gaunant nenutrūkstamą dirbinį (rankovę), kuris neturi siūlių. Pagaminta plėvelė suvyniojama į ritinius.

2.20 pav. Principinė polietileno plėvelės gamybos schema (ekstrudiniu būdu per plyšį): 1 – ekstruderis; 2 – plyšio galvutė; 3 – perteklinio vandens nupylimo sistema; 4 – ekstruderio grotelės; 5 – pagrindinis volelis; 6 – aušinimo vonia; 7 – plyšio reguliatorius; 8 – kraštų apipjaustymo įrenginys; 9 – traukimo voleliai; 10 – susukimo įrenginys

2.21 pav. Principinė trijų sluoksnių polietileno plėvelės gamybos įrenginio schema: B – pirmojo sluoksniu ekstruderis; A – pagrindinio sluoksniu ekstruderis; C – antrojo sluoksniu ekstruderis; 1 – paskirstymo įrenginys; 2 – adapteris; 3 – trijų sluoksnių plėvelės formavimo galvutė

2.22 pav. Principinė polietileno plėvelės gamybos ekstrudiniu pūtimo būdu schema: 1 – plastiko granulės su priedais; 2 – stūmimo sraigtas; 3 – kaitinimo elementai; 4 – ekstruderio formavimo galvutės pradžia; 5 – kryptingai nukreipta ekstruderio galvutė; 6 – orapūtė; 7 – išpūstas plėvelės burbulas; 8 – išlyginimo volai; 9 – vyniojimo įrenginys

2.3.2. Polietileno savybės

Polietilenas yra termoplastinis, elastingas, nenuodingas polimeras, kuris sunkiai užsidega, o užsiliepsnojęs dega be suodžių. Kambario temperatūroje jis netirpsta nei viename iš buityje naudojamų tirpiklių, o šildomas ištirpsta benzene, chlorbenzene, trichlorethane, tetrachlormetane, toluene, alkane. PE brinksta angliavandeniliuose, jo neveikia rūgščių, druskų, šarmų tirpalai, jis laidus šviesai. Ilgai veikiamas ultravioletinės spinduliuotės polietilenas pradeda ją sugerti ir senti, o saulės šviesoje veikiant deguoniui oksiduojasi jo paviršinis sluoksnis. Oksidaciją galima sulėtinti pridėjus antioksidantų arba užpildų (grafito ir suodžių). Jonizuojančiosios spinduliuotės veikiamas polietilenas suyra: praranda elastingumą, mažėja stipris, skiriasi dujiniai skilimo produktai (vandenilis, metanas ir kt. dujos).

Kad būtų geresnės savybės, polietilenas gali būti modifikuojamas (švitinamas arba veikiamas cheminėmis medžiagomis). Švitinant modifikuotas polietilenas tampa termiškai atsparesnis ir tinkamesnis putplasčiams arba izoliacinėms medžiagoms gaminti. Cheminiu būdu polietilenas modifikuojamas tirpinant tetrachlormetanę. Chlorinto polietileno savybės labai skiriasi nuo pradinio polietileno savybių. Modifikuotas polietilenas, kuriame yra 30 % chloro, tampa minkštesnis ir elastingesnis, 40–45 % chloro padaro polietilena kietą, standžią, šilumos poveikiui atsparesnę medžiagą, kuri gali būti naudojama karšto vandens vamzdžiams gaminti.

LDPE yra labiau pažeidžiamas oksidacijos procesų nei HDPE, nes amorfinės zonos oksiduojamos greičiau nei kristalinės. Taigi mažėjant PE tankiui jautrumas oksidacijai didėja. Taip pat tankį veikia ir polimerinių grandinių šakotumas – kuo labiau šakotos grandinės, tuo gaunamas mažesnis PE tankis. Pavyzdžiui, jei 1000 grandinės dalių LDPE turi 21 metilo atšakas, jo tankis yra $0,922 \text{ g/cm}^3$, jei 43 – $0,916 \text{ g/cm}^3$. Maksimali LDPE naudojimo temperatūra 71°C . LLDPE pagal tankį labiau panašus į LDPE, tačiau pagal makromolekulių grandinių geometrinę formą – į linijinį HDPE.

HDPE maksimali naudojimo temperatūra 82°C . HDPE yra stipresnis nei LDPE, tačiau jis labiau linkęs deformuotis – tai rodo didesnis medžiagos susitraukimas pereinant iš plastiškosios būsenos į kietąją. Tiek HDPE, tiek LDPE yra pakankamai atsparūs smūgiams, nors gaminiai, esant aukštam kristališkumo laipsniui HDPE, gali būti trapūs. HDPE yra stipresnis, tankesnis, kietesnis, atsparesnis dilimui nei LDPE. Didesnio tankio PE paprastai yra mažesnio valkšnumo nei mažesnio tankio polietilenas. HDPE laidumas dujoms yra gerokai mažesnis lyginant su LDPE, pavyzdžiui, laidumas azoto dujoms yra 1,4 HDPE ir 9,7 LDPE; helio dujoms 11 ir 47; deguonies dujoms 4 ir 29; anglies dioksidui $3,6$ ir $126 \text{ (cm}^3\cdot\text{mm)/(cm}^2\cdot\text{s}\cdot\text{cmHg)}$, esant 25°C temperatūrai. Akivaizdu, kad mažiau atsparus oksidacijos procesams yra LDPE. Linijinės struktūros PE yra atsparesnis oksidacijai nei šakotos struktūros polimeras, turintis daugiau amorfinės fazės.

UHMWPE yra linijinis kopolimeras, struktūriškai panašus į HDPE, tačiau jo vidutinė molekulinė masė yra 1–10 kartų didesnė nei standartinio HDPE.

2.3.3. Gaminiai ir naudojimas

Polietilenas naudojamas pakavimo medžiagoms gaminti, elektro-technikoje (laidų ir kabelių izoliacija), chemijos pramonėje, buitinei technikai, iš jo gaminami vamzdžiai, įrenginių detalės, įvairios plėvelės. Statyboje ypač lengvos, nelaidžios vandeniui, stiprios daugiasluoksnės polietileno plėvelės naudojamos pastatų sienų, stogų, grindų vandens garų izoliacijai. Tokių plėvelių nutraukimo jėga tempiant (N/5 cm) išilgai yra 170–450, o skersai – 110–270. Garinis laidis ($\text{g/m}^2/24 \text{ h}/23^\circ\text{C}$) – 190, atsparumas ultravioletinių spindulių poveikiui – 3 mėn., atsparumas temperatūros poveikiui – nuo -40 iki $+80^\circ\text{C}$. Garui laidžios plėvelės naudojamos kaip pirminis dangos sluoksnis po stogo danga. Jos sudaro sąlygas drėgmei išgaruoti iš stogo vidinių pastato konstrukcijų, apsaugo konstrukcijas nuo išorinio atmosferos poveikio. Storoji polietileno plėvelė iš išputintos medžiagos naudojama įrengiant tarpaukštines betonines „plaukiojančias“ grindis. Tai paklotas iš išputinto LDPE su uždarų porų struktūra, specialiai sukurtas laminuotoms grindims, taip pat gali būti naudojamas ir klojant parketą. Tačiau naudojant šią plėvelę apsaugai nuo drėgmės papildomai reikalinga ir paprasta polietileno plėvelė. Paklotas pasižymi gera šilumos ir garso izoliacija, tankis yra 20 kg/m^3 , storis – 2–12 mm; bekvapis, chemiškai inertiškas, netoksiškas, atsparus cheminėms medžiagoms; ilgą laiką atsparus įspaudimams ir smūgiams.

Modifikuotas polietilenas (PEX) naudojamas karšto vandens vamzdžiams gaminti, kadangi modifikuotas polietilenas yra atsparus karšto vandens poveikiui.

Polietilenas (PE) yra moderni ir nekenksminga medžiaga, sėkmingai naudojama slėginiams vamzdžiams gaminti. Polietileno vamzdžiai naudojami įrengiant vandentiekio, dujotiekio ir nuotekų (dažniausiai slėgio) sistemas, dažnai naudojami pramonėje. Dėl lankstumo, lengvumo ir ilgaamžiškumo polietilenas tapo pagrindine

medžiaga renovuojant senus vandentiekio vamzdynus ar įrengiant naujus pagal betranšę technologiją. Plastikiniai PE, kaip ir kiti plastikiniai vamzdžiai, atsparūs cheminėms medžiagoms, jų šilumos laidumo koeficientas – $0,36\text{--}0,43\text{ W/(m}\cdot\text{K)}$. Gaminami vienasluoksniai ir daugi sluoksniai PE vamzdžiai.

Iš polietileno gaminami ir kevalai vamzdžių apsaugai. Išpūsto polietileno kevalai naudojami visų tipų vamzdžių šiluminei izoliacijai. Jie mažina šiluminius nuostolius šildymo vamzdžiuose, neleidžia sušalti vandeniui šalto vandens vamzdynuose, apsaugo vamzdynus nuo mechaninių pažeidimų. Kevalai sujungiami kabėmis, kljais, lipnia juosta. Vidinis tokių kevalų skersmuo 15–108 mm, sienelės storis: 6, 9, 13, 20 mm.

Išpūsto polietileno gaminiai priskiriami šilumą izoliuojančių medžiagų grupei. Šios medžiagos šilumos laidumo koeficientas yra apie $0,04\text{ W/(m}\cdot\text{K)}$. Pūsto polietileno gaminiai gali būti naudojami ten pat, kur ir polistireninio putplasčio ir poliuretano kevalai. Šią medžiagą patogų naudoti drėgnose patalpose, nes neišskiria kenksmingų medžiagų. Tai lanksti, lengvai karpoma, kljuojama, netrupanti, nelūžtanti, lengvai perdirbama, nepaliekanti kenksmingų atliekų medžiaga. Gaminiai yra lengvai montuojami ir išardomi.

2.4. Polipropilenas (PP)

Šiandien polipropilenas (PP) yra plačiai naudojamas termoplastikas. Polipropilenas gali būti gaunamas izotaktinės, sindiotaktinės ir ataktinės struktūros. Stereoreguliarios polipropileno makromolekulės sintetamos iš propeno, susidarančio naftos krekingo metu koordinacinės polimerizacijos būdu.

Pramoninė gamyba izotaktinio polipropileno koordinacinės polimerizacijos būdu pradėta 1957 m. Italijoje, Vokietijoje ir JAV. Pagaminto polipropileno kokybė priklauso nuo iniciatoriaus.

Bendras polipropileno granulių vaizdas pateiktas 2.23 pav., a. Polipropileno dirbiniai yra perdirbami, jų indentifikavimo simbolis pateiktas 2.23 pav., b.

2.23 pav. Polipropileno granulės (bendras vaizdas) (a), polipropileno identifikavimo simbolis (b)

2.4.1. Polipropileno žaliavos ir gamyba

Polipropilenas (PP) gaminamas iš propeno, susidarancio naftos krekingo metu kaip eteno priemaiša. Koordinacinės polimerizacijos metu naudojant Ziegler ir Natta iniciatorius susidaro stereoreguliarusis izotaktinis polipropilenas (2.24 pav.). Jis turi visas termoplastikams būdingas savybes. Taip pat propenas gali būti polimerizuojamas radikaliniiais ir katijoniniais būdais. Polimerizuojant propeną šiais būdais gaunami klampūs, lipnūs ir tiršti polimerai.

2.24 pav. Polipropileno gavimas iš propileno (propeno)

Polipropilenas gaunamas nuolatinio veikimo įrenginyje. Nuolatinio veikimo polipropileno sintezės įrenginys pateiktas 2.25 paveiksle.

Reaktoriuje iniciatoriais inicijuojama polimerizacija tirpale azoto terpėje vyksta 54–65 °C temperatūroje ir esant 1,4–2,2 MPa slėgiui. Iniciatorius iš talpyklos kartu su propeno srautu patenka į reaktorių. Birus kietas polipropilenas patenka į iškrovimo įrenginį. Nesureagavęs manometras ciklone išvalomas, filtruojamas, atvėsintas aušintuve, suslegiamas kompresoriumi ir grąžinamas į reaktorių. Tokiu būdu gaminamas pakankamai grynas polipropilenas.

2.25 pav. Nuolatinio veikimo polipropileno sintezės įrenginys:

- 1 – iniciatoriaus talpykla; 2 – propeno tiekimo vamzdis; 3 – reaktorius;
4 – polipropileno išskrovimo įrenginys; 5 – ciklonas; 6 – propeno filtras;
7 – aušintuvas; 8 – kompresorius

Iš polipropileno granulių 250–300 °C temperatūroje yra formuojamas pluoštas ir plėvelės, liejami gaminiai, nes stabilizuotas polipropilenas nesuyra ir nekeičia savybių trumpą laiką kaitinant jo lydą.

Principinė PP vamzdinių profilių gamybos technologinė schema pateikta 2.26 paveiksle.

2.26 pav. Principinė vamzdinių profilių gamybos schema:

- 1 – ekstruderis; 2 – ekstruderio galvutė; 3 – kalibravimo įrenginys;
4 – vakuuminė vonia; 5 – tempimo įrenginys; 6 – pjaustymo įrenginys;
7 – priėmimo įrenginys

Statyboje dažnai naudojamos polipropileno plėvelės, kurios kontroliuoja garų kondensavimosi poveikį, vandens prasisunkimo greitį (geotekstilė, agrolėvelė). Principinė polipropileno plėvelės gamybos schema pateikta 2.27 paveiksle. PP plėvelė gali būti gaminama ir kitais būdais.

2.27 pav. Principinė polipropileno plėvelės gamybos schema rankovės būdu; 1 – pneumatinis krautuvas; 2 – bunkeris; 3 – ekstruderis; 4 – formavimo galvutė; 5 – atšaldymo įrenginys; 6 – žiedinis kreiptuvas; 7 – plėvelės rankovė; 8 – transportavimo įrenginys; 9 – tempimo įrenginys; 10 – plėvelė; 11 – velenai; 12 – pjaustymo įrenginys; 13 – velenas su plėvele

Taip pat iš polipropileno gaminamas polipropileno pluoštas (2.28 pav.), kuris naudojamas betonams ir skiediniams armuoti.

2.28 pav. Polipropileno pluoštas

Polipropileno pluošto gamybos principinė schema pateikta 2.29 pav. Granulių arba miltelių pavidalo polipropilenas iš bunkerio dozuojamas į lydymo galvutę ir nukreipiamas ant lydymo grotelių. Toliau dozavimo įrenginys išlydytą polipropileną per filtrą tiekia į kamerą. Kameroje polipropileno siūlas aušinamas. Išeinantis iš kameros siūlas jau būna sukietėjęs, toliau jis patenka į tempimo įrenginį, iš kurio išėjęs siūlas susukamas į ritę.

2.29 pav. Polipropileno pluošto principinė gamybos schema:
 1 – lydymo galvutė; 2 – lydymo grotelės; 3 – dozavimo įrenginys;
 4 – filtras; 5 – kamera; 6 – siūlas; 7 – tempimo įrenginys; 8 – ritė

2.4.2. Polipropileno savybės

Pagrindinės polipropileno savybės pateiktos 1.2 lentelėje. Polipropilenas atsparus rūgščių ir šarmų poveikiui, kambario temperatūroje netirpsta chlorintuose angliavandeniliuose, benzene, toluene, pasižymi geromis izoliacinėmis savybėmis, yra pakankamai lengvas – jo tankis 900–930 kg/m³.

PP mažiau atsparus oksidacinei destrukcijai nei polietilenas, jo oksidacija prasideda veikiant šviesai ir šilumai jau kambario temperatūroje. Dėl to, kad jis būtų atsparesnis deguonies ir šilumos poveikiui, į polipropilena dedama stabilizatorių. Pagrindinis polipropileno trūkumas yra aukšta stiklėjimo temperatūra (–15 °C). Atšaldytas iki žemesnės temperatūros jis tampa trapus. Modifikuoto polipropileno terminės savybės pagerėja. Modifikuotas polipropilenas vadinamas techniniu polipropilenu.

2.4.3. Gaminiai ir jų naudojimas

Iš polipropileno gaminamos plėvelės ir vamzdžiai, mašinų detalės, talpyklos, formuojamas pluoštas.

PP vamzdžiai skirti buitiniams, lietaus ir drenažo vandens nuotekoms transportuoti. Šie vamzdžiai taip pat gali būti naudojami

pramoninėms nuotekoms transportuoti, pralaidoms po keliais, požeminių kabelių apsaugai.

Polipropileno vamzdžių skersmuo dažniausiai būna 110–1000 mm, standartinis vamzdžių ilgis 6 m, atsparumo klasė S (8 kN/m^2). Polipropileno vamzdžiai turi atitikti standarto LST EN 13476-1 keliamus reikalavimus.

Polipropileno plėvelės, naudojamos statyboje, būna vienasluoksnės ir daugiasluoksnės. Jos padeda kontroliuoti garų kondensavimosi procesą ir kondensato kaupimąsi. Naudojant PP plėvelę kondensatas nevirsta vandeniu, o kaupiasi plėvelėje, vėliau pakilus temperatūrai išsiskiria garų pavidalu. PP plėvelės yra pakankamai lengvos – apytiksliai 110 g/m^2 , atsparumas plėšimui išilgai būna $>200 \text{ N/5 cm}$, skersai – $>100 \text{ N/5 cm}$, garų pralaidumas (per 24 h., kai temperatūra $23^\circ\text{C} - 85\%$) yra nuo 1500 g/m^2 .

Polipropilėninis pluoštas (dar vadinamas fibromis) yra stiprus ir elastingas, lengvas, atsparus cheminiam poveikiui. Toks pluoštas betono mišiniuose ir statybiniuose skiediniuose padeda išvengti įvairių įtrūkimų, stabdo mikroplyšių formavimąsi, susidarančių plastiškai masei slūgstant, traukiantis, džiūstant, didina atsparumą smūgiams, laužimui, trinčiam.

Pluoštą rekomenduojama naudoti įrengiant grindis pramonės įmonėse, skiediniams, betoniniams blokams, tinkui ir kt. Atsižvelgiant į naudojimo sritį, gaminami įvairaus ilgio pluoštai – 6, 12, 18, 36, 54 mm.

Polipropilėninis pluoštas dažnai naudojamos kiliminėms dangoms gaminti. Jis yra pakankamai tvirtas, atsparus dėvėjimui ir blukimui, neįgeria vandens, chemiškai inertiškas, todėl sunkiai dažomas (ribotas spalvų pasirinkimas), bet dėl šios priežasties jame sunkiai susidaro dėmės.

Polipropilėnas yra santykinai nebrangus pluoštas. Dažalai į polipropileno mišinį patenka tik prieš ekstruziją, t. y. verpalai nudažomi iki kilimo audimo ar gamybos kitais būdais. Dėl šios priežasties kiliminės dangos iš polipropileno ilgai išsaugo spalvas, nors jų spalvinė gama ir nepasiršymi įvairovė. Polipropilėnas atsparus purvui. Jis yra

2.30 pav. Polipropileninė kiliminė danga

hidrofobinis ir nebijo medžiagų, kurių pagrindas – vanduo, bet riebalinės medžiagos jam yra pavojingos. Pluošto trūkumai: mažas atsparumas susidėvėjimui ir ugniai. Polipropilenas lydosi $+165^{\circ}\text{C}$ temperatūroje ir greitai susidėvi intensyviai naudojant. Kiliminės dangos iš polipropileno gali būti tiek kilpinės vieno ar kelių lygių (2.30 pav.), tiek ir pjauto pūko. Didelio žmonių susibūrimo vietose yra geriau naudoti polipropileninius kilimus, kuriose yra žemos vieno lygio kilpos.

3. REAKTOPLASTIKAI

Reaktoplastikai gaminami iš termoreaktyviųjų polimerų. Termoreaktyvusis polimeras yra toks, kurio lydalas šildomas chemiškai kinta ir sudaro kietą tinklinės struktūros produktą. Reaktoplastikai gamybos proceso metu pereina stadiją, kuri vadinama kietinimu, t. y. molekulės surišamos į erdvinį tinklą. Jeigu suketinta medžiaga pašildoma, ji šiek tiek suminkštėja, tačiau jos jau neįmanoma išlydyti ar performuoti į kitą dirbinį. Todėl šie plastikai aukštesnėse temperatūrose kiek geriau pakelia mechanines apkrovas ir kaitinami iki skilimo temperatūros išlieka kieti. Dirbiniai iš reaktoplastikų nekeičia formos iki 130 °C temperatūros (išskyrus uretaninius). Reaktoplastikai dažnai būna kaip sudėtinis produktas, į kurio sudėtį įeina armuojantieji priedai. GRP (ang. *glass-reinforced plastic*) – poliesteris su stiklo pluošto armatūra. GRP vamzdžiai naudojami visų matmenų pramoniniams technologiniams slėginiams ir savitakiams tinklams. Išorės jėgų veikiamų reaktoplastikų deformacija būna tamproji ir jie yra atsparūs smūginėms apkrovoms. Šių plastikų fizikinės-mechaninės savybės priklauso nuo cheminės sudėties, struktūros, laikymo ir naudojimo trukmės. Pagaminatoje medžiagoje likusios aktyvios medžiagų grupės gali toliau reaguoti, dėl to po kurio laiko dirbinio savybės gali būti kitokios nei iš pradžių. Pagal procesus, vykstančius kietinimo metu, reaktoplastikai skirstomi į tris grupes: polikondensacinius reaktoplastikus, poliadicionius reaktoplastikus, polimerizacinius reaktoplastikus.

3.1. Polikondensaciniai reaktoplastikai

Polikondensaciniai reaktoplastikai gaminami iš termoreaktyvios dervos, kuri kietinama virsta iš tinklinių makromolekulių sudarytu reaktoplastiku. Kietinimo metu atskykla mažamolekuliai reakcijos produktai (dažniausiai vanduo). Kietinimo metu vanduo nespėja išgaruoti ir gaminyje gali atsirasti akučių. Medžiagos aktytumo galima išvengti į formavimo masę dedant absorbentų (medienos miltų), kurie kietinimo temperatūroje suriša iš klampios medžiagos masės nespėjusį išgaruoti vandenį.

Iš fenolformaldehydinių dervų (3.1 pav., a) – novolakų ir rezolių gaminami *fenoplastikai* (3.1 pav., b). Fenoplastikams gaminti naudojamas fenolio ir formaldehido monomeras, kuris yra pakankamai pigus. Fenolis gaunamas iš benzeno, formaldehidas – iš metano. Fenolformaldehydinės dervos cheminė formulė pateikta 3.1 pav.

3.1 pav. Fenolformaldehydinė derva (a), fenoplastikai (bendras vaizdas) (b)

Priklausomai nuo fenolio ir formaldehido santykio fenoplastikai skirstomi į: *rezolines dervas*, *novolakines dervas*.

Rezolinės dervos sintetamos iš fenolio ir formaldehido, esant formaldehido pertekliui (formaldehido ir fenolio santykis 6:5 arba 7:6), katalizatoriai – šarminių metalų hidroksidai, amoniakas, aminai. Rezolinės dervos kietinamos aukštesnėje temperatūroje, kurioje virsta fenoplastikais. *Novolakinės dervos* gaunamos vykstant formaldehido ir fenolio polikondensacijai, esant fenolio pertekliui (fenolio ir formaldehido santykis 6:5 arba 7:6), katalizatoriai – druskos arba sieros rūgštis. Kai kurių dervų savybės pateiktos 3.1 lentelėje.

Fenoplastikai naudojami kompozitams, klijams ir lakams. Didžiausia fenoplastikų dalis naudojama kaip matrica kompozituose, armatūros vaidmenį atlieka kapotas stiklas, celiuliozė, sintetinis pluoštas, popierius, audinys. Armuoti naudojant popierių gaunamas sluoksniuotas kompozitas – getinaksas, naudojant audinį – tekstolitas. Šie kompozitai gaminami popierių arba audinį įmirkant organiniame tirpiklyje ištirpintoje fenolformaldehydinėje dervoje, paskui medžiaga išdžiovinama ir supresuojama 160 °C temperatūroje, esant 10 MPa slėgiui. Fenoplastikai nelaidūs elektrai, atsparūs vandeniui,

rūgščių tirpalams, tačiau neatsparūs šarmams. Formaldehidinių dervų gamybos metu susidaro atliekos, kurios sunkiai utilizuojamos, todėl šio tipo reaktoplastikų gamybos apimtys mažėja.

3.1 lentelė. Kai kurių dervų savybės (F – fenolformaldehydinė derva, E – epoksidinė derva, Pe – polieterinė derva, Pa – poliamidinė derva)

Savybės	Derva			
	F	E	Pe	Pa
Tankis, g/cm ³	1,2–1,36	1,1–1,4	1,1–1,46	1,2–1,45
Tamprumo modulis tempiant, GPa	1,4–6,8	1,9–5,0	1,5–4,5	3,2–5,5
Tempiamasis stipris, MPa	22,5–78,3	27,4–140	23,5–68,5	90–95
Temperatūrinės plėtros koeficientas, $\times 10^{-6}$ m/m/°C	60–80	48–80	60–90	50–58
Atsparumas šilumai pagal Martensą, °C	140–180	140–150	60–80	250–370
Susitraukimas kietėjant, %	0,5–7,0	0,5–3,6	4,0–15	0,5–2,0
Vandens įmirkis (24 val.), %	0,15–0,6	0,03–0,3	0,15–0,6	0,01–0,6
Šilumos laidumo koeficientas, W/(m·K)	0,23–0,27	0,17–0,21	0,12–0,23	0,35–0,37

Aminoplastikai (3.2 pav.) gaminami iš karbamidformaldehydinių ir melaminformaldehydinių dervų, kurios gaminamos polikondensuojant formaldehydą su karbamiu arba su melaminu.

3.2 pav. Aminoplastikai (bendras vaizdas)

Šios dervos naudojamos kaip rišikliai gaminant presavimo miltelius, į kurių sudėtį gali įeiti celiuliozė arba kitas užpildas. Mišinys džiovinamas ir smulkinamas. Iš tokių miltelių karšto presavimo būdu, esant 140–170 °C temperatūrai, gaminami plastikiniai dirbiniai. Karbamidformaldehydinės dervos naudojamos

sintetiniams klijams gaminti. Tokiais klijais karšto presavimo būdu yra sujungiami faneros sluoksniai. Aminoplastikai mažiau atsparūs vandeniui ir šilumai nei fenoplastikai, bet atsparesni šviesai. Apie 70 % koncentracijos karbamidformaldehydinių dervų vandeniniai tirpalai naudojami kaip sintetiniai klijai. Klijavimo metu dervos gali būti kietinamos šaltojo (į klijus dedama kietinimo katalizatoriaus) ir karštojo (gaminant kompozitus – karštojo presavimo būdas) presavimo būdu. Iš aminoplastų gaminamos putos. Tai termoizoliacinė medžiaga, tinkama sienoje esančio oro tarpui užpildyti, taip pat ji tinka medinių apmūrytų namų sienoms šiltinti. Tokiu būdu šiltinant pastatą nepažeidžiama sienos konstrukcija ir apdaila, nes putos įpurškiamos per 16–18 mm skyles, įgręžtas mūro siūlėse. Putos stingdamos nesiplečia ir neardo sienų. Putų tankis yra apie 13 kg/m^3 , šilumos laidumo koeficientas – $0,033 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$, gniuždymo stipris – 9 kPa , vandens garų laidumo koeficientas – $0,25 \text{ mg/(m}\cdot\text{h}\cdot\text{Pa)}$. Atsparios ugniai putos nepalaiko degimo proceso.

3.2. Poliadiciniai reaktoplastikai

Poliadiciniai reaktoplastikai skiriami į poliuretaninius ir epoksidinius reaktoplastikus.

Poliuretaninių reaktoplastikų (PUR) žaliava – izocianatai ir alkoholiai. Poliuretanai labai atsparūs šviesai, rūgščių ir šarmų poveikiui. Iš šių poliuretaninių reaktoplastikų gaminami kietieji ($55\text{--}60 \text{ kg/m}^3$) ir minkštieji ($25\text{--}40 \text{ kg/m}^3$) putplasčiai. Akyta kietojo putplasčio struktūra suformuojama naudojant poradarį (pvz., freoną (CFC_3)). Minkštieji putplasčiai putinami anglies dioksido dujomis.

Poliuretaniniais putplasčiais izoliuojamos didelio tūrio talpyklos, sandarinamos ertmės montuojant duris ir langus. Poliuretaniniai mišiniai naudojami trinčiai atsparioms dangoms – metalui, stiklui, keramikai, medienai, plastikams. Tokie mišiniai naudojami medžiagoms klijuoti, jie patogūs, nes suriša detalių paviršiuje esantį vandenį ir stipriai sujungia medžiagas.

Principinė statybinių poliuretano plokščių gamybos schema pateikta 3.3 paveiksle.

3.3 pav. Statybinių poliuretano plokščių gamybos principinė schema:

- 1 – popierius; 2 – juostinis transporteris; 3 – monomeras;
4 – katalizatorius; 5 – maišyklė; 6 – išsipūtusios poliuretano plokštės

Poliuretano putos – termoizoliacinė ir garso izoliacinė medžiaga, pasižyminti geromis šilumos izoliavimo savybėmis. Poliuretano putos puikiai kimba prie visų paviršių, gerai išlaiko užpurkštą formą, užpildo visus įtrūkimus, atsparios mechaninėms apkrovoms ir deformacijoms. Jų naudojimo laikas pakankamai ilgas, didelė šilumos varža. Poliuretano putos nepūva ir nepelija, jose negyvena graužikai. Poliuretano putų kietėjimo pradžia 30 min, o pabaiga 24 val., ilgaamžiškumas 15 metų. Tačiau ilgaamžiškumo charakteristika priklauso nuo naudojimo sąlygų, jos neatsparios ultravioletiniams saulės spinduliams ir drėgmei. Dėl to putas, naudojamas langams ir durims įstatyti, reikia apsaugoti nuo aplinkos poveikio ir iš pastato vidaus, ir iš išorės. Apsaugai naudojamos juostos, tinkas, dažai, apvadai. Tinkamiausia putų naudojimo statybvietėje temperatūra 20–22 °C, santykinis oro drėgnis 60–65 %. Kuo didesnis yra santykinis oro drėgnis, tuo daugiau putų susiformuoja.

Pagrindiniai putų komponentai: monomeras ir dujos (naudojamos ozono sluoksnio neardančios medžiagos). Kartu su dujomis iš balionėlio išpurškiamas monomeras. Polimerizacijos procesas vyksta dėl reakcijos su aplinkos drėgme.

Varijuojant komponentų sudėtį ir technologijos procesą, galima gauti labai skirtingų savybių putų poliuretaną. Pagrindiniai veiksniai,

turintys įtakos putų poliuretano savybėms, yra tikslus pradinį komponentų dozavimas ir efektyvus permaišymas.

Priklausomai nuo savybių, putos gali būti specialios ir universalios, jos gali skirtis tankiu, tamprumu, elastingumu, vandens įmirkiu, plėvelės ant paviršiaus sudarymo geba, gniuždymo ir tempimo stipriui, defomuojamumu. Tačiau pagrindinis montažinių putų skirtumas yra šis: jos gali būti vienkomentės ir dvikomponentės. Populiariausios vienkomentės montažinės putos iš poliuretano yra tos, kurių didelis išsiplėtimo koeficientas. Dvikomentės montažinės putos gaunamos sumaišius medžiagas iš dviejų balionėlio rezervuarų. Medžiagų aktyvumui sužadinti pakanka pasukti specialią judamą dalį, esančią ant putų balionėlio. Šios dvikomponentės putos beveik nesiplečia ir sukieta per 5–10 minučių. Vienkomponentių putų kietėjimo pradžia 30 min., o pabaiga 24 val. Statant langus ir duris dvikomponentės putos kaip ankeriai naudojamos todėl, kad jos praktiškai nekeičia pradinio tūrio, dėl to rėmuose nesusidaro lenkimo įtempių, dėl kurių rėmai gali išlinkti. Užtvirtinus rėmą visa kita erdvė gali būti užpildoma vienkomentėmis putomis. Pastaruoju metu montažinės putos naudojamos kaip tvirtinanti medžiaga montuojant akrilines vonias ar ant apatinės skardinės vonios pusės sudarant termoizoliacinį sluoksnį. Statyboje putos naudojamos kanalizacijos vamzdžiams ir požeminėms šachtoms hermetizuoti, elektros įrangai montuoti, sieninėms termoizoliacinėms plokštėms, stogo dangai, čerpėms, vamzdynams jungti, sieninėms plokščių siūlėms užtaisyti, langams ir durims bei palangėms įstatyti.

Dabar gaminamos ir specialios putos, kurios atsparios vandeniui, dirvos rūgštingumui, bakterijoms, pelėsiams. Jos naudojamos betoninių šulinių žiedų tarpams hermetizuoti. Gali būti gaminamos ir kaitrai atsparios putos, kurios nepraleidžia dūmų. Jų atsparumas kaitrai – 10–20 min. Putas, skirtas darbams žiemą, galima naudoti esant minusinėms temperatūroms ir nedideliame santykiniam drėgnumui.

Tačiau ne visais atvejais ši medžiaga naudojama pagal paskirtį, dažnai statyboje visi iki vieno plyšiai būna užtaisomi montažinėmis putomis.

Epoksidiniai reaktoplastikai (EP) gaunami kietinant kietikliais epoksidines dervas. Kietinimo metu nesusidaro mažamolekulių junginių, nesikeičia kietinamos dervos tūris, derva gerai sukimba su pluoštais, metalais, stiklu, keramika. Šios dervos naudojamos universaliems klijams, dangoms, pluoštiniais ir sluoksniuotiems kompozitams gaminti. Epoksidiniai reaktoplastikai naudojami aukštos kokybės dirbiniais gaminti, nes yra brangesni ir pakankamai ilgai kietinami šaltuoju būdu. Į tokius dirbinius kartu su kietikliais ir aktyviais skiedikliais dedama elastingumą ir atsparumą smūginėms apkrovoms didinančių priedų. Pagaminti dirbiniai yra stiprūs ir termiškai stabilūs, nedegūs, jie naudojami presavimo formoms, mašinų detalėms gaminti.

Statybos pramonėje visuomeninės paskirties pastatuose iš epoksidinių dervų dažnai formuojamos plastikinės dangos. Epoksidinės dangos dengiamos ant betono, suformuojant atsparią dilimui ir aplinkos poveikiams grindų dangą. Norint padidinti epoksidinio sluoksnio stiprį, į epoksidinę dervą dedama užpildų – kvarcinių smėlių, kurių grūdelių skersmuo 0,3–0,6 mm.

Nuo epoksidinių dervų klampos priklauso formuojamos dangos paskirtis. Mažos klampos dervomis įmirkomos betoninės grindys. Taip apdorotos grindys tampa stipresnės, atsparesnės dilimui, cheminėms medžiagoms, sumažinamas senų betoninių grindų dulkėtumas. Naudojant tokias dervas ant paviršiaus nesusidaro epoksido sluoksnio – visa derva susigeria į betono poras. Mažos klampos epoksidinės dervos gali būti naudojamos grindims prieš padengiant didesnės klampos dervomis. Prieš dengiant epoksidinėmis dangomis paviršius pašiuvinamas suslėgto vandens srove arba naudojant smėliasrovę. Epoksidinės dangos ant švaraus ir suremontuoto paviršiaus tepamos teptuku, voleliu arba šepėčiu. Pagrindo drėgnumas neturi viršyti 4 %. Jei epoksidinė derva prieš dengimą skiedžiama vandeniu, pagrindo drėgnumas gali būti 8 %. Dengiama dviem sluoksniais: pirmasis sluoksnis skirtas poroms užpildyti, esant ypač poringam pagrindui, kuriam naudojamos mažos klampos impregnuojančios epoksidinės dervos, antrajam sluoksniui naudojamos didesnės klampos dervos.

Užpildai beriami ant dar nesukietėjusios suformuotos dangos. Dangai sukietėjus, šepetiu nušluojami silpnai besilaikantys užpildai. Suformuotas paviršius gaunamas šiurkštus.

3.3. Polimerizaciniai reaktoplastikai

Iš šių plastikų gaunami dviejų tipų gaminiai: skaidrus optinis reaktoplastikas ir kietosios poliesterinės dangos. Skaidraus optinio reaktoplastiko optinės savybės nesiskiria nuo polimetilmetakrilato savybių, tačiau jis yra 40 kartų kietesnis.

Poliesterinės dervos naudojamos dangoms, kietinamoms bedeguonėje aplinkoje. Didžiausias poliesterinų dervų kiekis naudojamas kompozitų poliesteriniais stiklaplasčiams gaminti, iš kurių gaminami vamzdžiai, talpyklos ir įvairios detalės. Kompozitai yra hidrofobiniai, nelaidūs šilumai, elektrai, nekeičia savybių iki 60 °C temperatūros, atsparūs smūginėms apkrovoms

Poliesterinės dervos gaunamos polikondensuojant įvairius alkoholius ir rūgštis. Jos gali būti termoplastinės ir termoreaktyviosios. Tai priklauso nuo polikondensacijos reakcijoje dalyvaujančių alkoholių molekulių struktūros. Dervos tankis yra 1,19 g/cm³; lenkimo stipris – 130 MPa; tamprumo modulis – 3650 MPa; tempimo stipris – 70 MPa; susitraukimas džiustant – 7–8 %.

Dirbinių iš sintetinių dervų pagrindas yra natūralios mineralinės medžiagos, pavyzdžiui, kvarcas, bazaltas ir granitas. Šios uolienos yra surišamos su sintetine derva. Kaip priedai naudojami dervos kietikliai, kietėjimo reakcijos stabilizatoriai, katalizatoriai, plastifikatoriai ir kiti.

Poliesterio pluoštas naudojamas kiliminėms dangoms gaminti. Pirmą kartą poliesteriniai pluoštai kilimams gaminti buvo panaudoti septintajame dešimtmetyje. Pagal atsparumą nusidėvėjimui šie pluoštai gerokai atsilieka nuo poliamido. Pluoštas vizualiai yra panašus į vilną. Priklausomai nuo priedų, poliesteris gali būti blizgantis arba matinis. Poliesteriniai pluoštai ypač tinka patogioms kiliminių dangų rūšims, kurių pūkų masė gali būti reguliuojama.

4. KOMPOZITINĖS POLIMERINĖS MEDŽIAGOS IR DIRBINIAI

Polimerinėmis kompozitinėmis medžiagomis vadinamos visos medžiagos, kurios sudarytos bent iš dviejų fiziškai ar vizualiai išskiriamų komponentų. Taigi kompozitais laikomos mikro- ar makrolygiu iš kelių medžiagų sudarytos medžiagos. Naudojant kompozitines medžiagas ir konstrukcijas, galima padidinti gaminio stiprį, sumažinti atskirų gaminio elementų ir viso gaminio svorį, taip pat konstrukcijų skerspjūvio matmenis, pagerinti gaminio termoizoliacines ir akustines savybes. Atitinkamai išdėstant konstrukcijos sluoksnius, galima maksimaliai išnaudoti visas geriausias medžiagų savybes, sumažinti konstrukcijų, į kurias remiasi arba prie kurių tvirtinamos kompozitinės konstrukcijos, laikomąją galią ir gamybai naudojamos energijos, transportavimo bei montavimo išlaidas. Tačiau didžiausias kompozitų pranašumas yra labai palankus jų svorio ir sąlyginio standumo ar stiprio santykis.

Polimerinėse kompozitinėse medžiagose kaip matricos dažniausiai naudojamos įvairios dervos ar termoplastiniai polimerai. Matrica yra rišamoji medžiaga, kuri apkrovą perduoda armuojančiajai medžiagai ir saugo ją nuo įvairių neigiamų aplinkos poveikių. Parenkant matricos medžiagą, reikia atsižvelgti į tai, kokia temperatūra veiks kompozitą eksploatacijos metu. Taip pat matrica eksploatacijos metu turi būti nejautri dujoms ar skysčiams, su kuriais jai gali tekti kontaktuoti. Konstrukciniams kompozitams geriausiai tinka termoaktyviosios dervos: polieterinės, cianoesterinės, fenolinės, poliimidinės, epoksidinės, poliesterinės, vinilo esterio dervos. Prie kompozitinių taip pat priskiriamos sluoksniuotosios medžiagos (laminatai), armuotosios medžiagos, taip pat medžiagos, užpildytos įvairaus dydžio dalelėmis – užpildais. Polimerinių kompozitinių gaminių savybės labai priklauso nuo užpildų. Kaip užpildai gali būti: neorganinės mineralinės medžiagos, pavyzdžiui, stiklas, metalas, taip pat organinės medžiagos. Medžiagos gali būti granuliu, plokštelių, pluošto ar audinio pavidalo. Užpildai pagal tai, ar keičia polimero

mechanines savybes, skirstomi į neaktyviuosius ir aktyviuosius. Neaktyvieji užpildai nedidina medžiagos stiprio. Jie dažniausiai naudojami norint taupyti pagrindinę matricos medžiagą. Aktyviųjų užpildų dalelės yra asimetriškos formos, jų tampros modulis dažniausiai būna didesnis už polimerinės medžiagos tampros modulį. Kitas polimerinių kompozitinių medžiagų klasifikavimo kriterijus yra pagal armuojančiąsias medžiagas. Gali būti armuojama: stiklo pluoštu, anglies pluoštu, aramidiniu pluoštu, boro pluoštu.

4.1. Daugiasluoksnės plokštės („sendvič“ tipo)

Kompleksiniai gaminiai – *daugiasluoksnės statybinės plokštės* („sendvič“ plokštės), gaminamos iš lengvų medžiagų, susidedančių iš dviejų išorinių apsauginių sluoksnių ir termoizoliacinio vidinio sluoksnio. Išoriniai sluoksniai gali būti gaminami iš aliuminio, plieno, plastmasės, medienos drožlių plokštės; vidinis sluoksnis – iš putų poliuretano, polistireninio putplasčio, mineralinės vatos (4.1 pav.). „Sendvič“ plokštės pasižymi: gera termoizoliacija ir garso izoliacija, antikorozinėmis savybėmis, mažu drėgmės įgeriamumu, atsparumu ugniai, technologiškumu, montavimo paprastumu, montavimo greičiu, estetišku išoriniu vaizdu (išorinės apdailos ir spalvos gausiu pasirinkimu). Šios plokštės gali būti montuojamos gamybinėse ir administracinėse patalpose, prekybos centruose, sporto ir kituose kompleksuose, baseinuose, kuro kolonėlėse, plovyklose, oro uostų pastatuose, terminaluose, sandėliuose, medicininės paskirties patalpose, šaldymo kameroje, taip pat iš jų gali būti įrengiamos vidinės pertvaros.

4.1 pav. „Sendvič“ plokštės sujungimas (bendras vaizdas):

- 1 – išorinis sluoksnis; 2 – vidinis sluoksnis; 3 – poliuretano klijai;
- 4 – poliuretano tarpinė

Šių gaminių išorinis sluoksnis dažniausiai gaminamas iš šaltai valcuoto, karštai cinkuoto plonasienio plieno lakšto. Gamybai naudojamas 0,5–0,7 mm plienas su įvairių tipų polimeriniais padengimais.

„Sendvič“ plokštės gali būti gaminamos dviem metodais: *nenutrūkstamuoju* ir *periodiniu*. Principinė „sendvič“ plokščių nenutrūkstamojo būdo gamybos schema pateikta 4.2 pav. Gamybą nenutrūkstamuoju metodu sudaro trys pagrindiniai technologiniai barai. Pirmasis iš jų skirtas išoriniams sluoksniams ir jų paketams paruošti ant konvejerio. Nuvalytas ir paruoštas naudojamos medžiagos lakštas dedamas ant transporterio juostos ir padengiamas klijais. Tuomet ant jo dedamas atitinkamų matmenų paruoštas vidinis plokštės sluoksnis. Jeigu plokštė suprojektuota su kraštuose esančiu išoriniu rėmu arba standumo briaunomis, tai pagal visą perimetrą ar tarpuose dedami rėmo elementai (aliuminio, medienos, faneros ir pan.). Toliau judant transporteriui, ant vidinio sluoksnio ir kitų elementų viršaus tepami klijai ir dedamas viršutinis sluoksnis. Jeigu reikia, tarp vieno iš

4.2 pav. Principinė „sendvič“ plokščių gaminimo nenutrūkstamuoju būdu schema: 1 – išvyniojimo įrenginys; 2 – valcavimo įrenginys; 3 – vidinio sluoksnio tiekimo įrenginys; 4 – presavimo ir kaitinimo kamera; 5 – plokštės pjaustymo įrenginys; 6 – plokštės priėmimo įrenginys; 7 – automatinio reguliavimo sistema; 8 – sujungimo mechanizmų išpjovimo įrenginys; 9 – darbinė platforma virš presavimo ir kaitinimo kameros; 10 – frezavimo įrenginys; 11 – viršutinio ir apatinio sluoksnių pjaustymo įrenginys (pvz., metalo pjaustymo įrenginys)

išorinių ir vidinio sluoksnio gali būti dedamas hidroizoliacinis sluoksnis, iš abiejų pusių apteptas klijais.

Kitas technologinės linijos baras – tunelinio tipo (25–30 m ilgio) kamera, kurioje plokščių, judančių transporteriu, sluoksniai supresuojami ir kaitinami. Presuojama volais per tarpą judant plokštei, o kaitinama dažniausiai spiraliniais kaitintuvais. Be to, iš kaloriferio yra pučiamas įkaitintas oras. Temperatūra kameroje iš pradžių būna +40 °C, vėliau +60 °C, proceso pabaigoje iki +80 °C. Transporterio judėjimo greitis 0,6–1,8 m/min. (tai priklauso nuo gaminamos konstrukcijos storio, išorinių sluoksnių ir klijų tipo). Konstrukcijų ilgis, priklausomai nuo linijos ir kameros ilgio, gali būti įvairus (dažniausiai 6–8 m). Konstrukcijos, išėjusios iš presavimo ir kaitinimo kameros, patenka į trečiąjį barą – tai apipjaustymo ir kartu profiliavimo baras. Jei rėmas yra medinis arba jo visai nėra, tai specialiomis frezomis gali būti išpjaujami specialūs profiliai plokštėms sujungti ir siūlėms sandarinti.

Jei yra poreikis, paviršiui apdoroti gali būti naudojamas ir ketvirtasis baras. Paviršius dengiamas antikorozinėmis plėvelėmis (dažais), atsparumą gaisrui didinančiomis dangomis ir kt. Lengvųjų sluoksniuotųjų konstrukcijų su storesniais išoriniais sluoksniais gamyba periodiniu metodu apima daugiau, bet smulkesnių barų: lakštų karpymo, ruošimo (nuvalymo), klijų užtepimo, konstrukcijos elementų surinkimo, gamybos baigiamųjų etapų.

Paruošti lakštai perkeltami į paviršiaus ruošimo skyrių. Paviršiai nuvalomi, nudažomi, padengiami antikorozinėmis dangomis ar kitaip apdorojami. Tada išgręžiamos skylės, paruošiami visi rėminimo elementai, (jei reikia) jie sujungiami, profiliuojami ir perduodami į surinkimo barą. Klijuojama dažniausiai epoksidiniais klijais. Suklijuoti lakštai dedami į specialų presą, kurio plokštumos yra kaitinamos. Metalinių plokščių polimerinis padengimas suteikia pagrindines medžiagos savybes: išorinį vaizdą, atsparumą išorės poveikiui, ilgaamžiškumą. Kiekvienam objektui parenkamas tam tikras padengimo tipas, atsižvelgiant į klimatinės ir eksploatacines sąlygas, taip pat išoriniam vaizdui keliamus reikalavimus.

Termoizoliacija iš abiejų pusių yra apsaugota profiliuota cinkuota plienine skarda. Tvirtą trijų sluoksnių sujungimą suteikia aukštos kokybės klijai. Termoizoliacinio sluoksnio plaušeliai, išdėstyti skersine kryptimi, gerai suklijuoti su išoriniais sluoksniais, leidžia visą kompozitą nagrinėti kaip vientisą masę ir tai labai padidina plokštės stiprumą ir standumą. Šias plokštes galima montuoti ant metalinio, gelžbetoninio, medinio karkaso. Taip pat gaminamos sienų ir stogo plokštės. Dėl didelio plokščių atsparumo gniuždymui ir lengvumo, pastatui reikalingas mažas atraminių sijų skaičius ir būna spartesnis montavimas. Pati plokštė yra šiuolaikinis gaminy, nes yra santykinai lengvas, greitai montuojamas, pasižymi didele šilumine varža, atsparumu ugniai, ilgaamžiškumu ir spalvų įvairove. Išardžius pastatą, plokštės gali būti naudojamos antrą kartą.

4.2. Dirbiniai iš medienos ir plastiko kompozitų

Medienos ir plastiko kompozito, dar kitaip vadinamo WPC, (angl. *wood-plastic composite*), pagrindinės sudedamosios dalys yra medienos atliekos ir termoplastikai. Iš medienos atliekų naudojamos šios: medienos drožlės, miltai, pjuvenos, dulkės (gali būti naudojamos žemės ūkio augalų liekanos). Šiems kompozitams naudojami termoplastikai: polipropilenas (PP), polietilenas (PE), polivinilchloridas (PVC). WPC medžiaga buvo pradėta kurti dar 1960 metais. Iš šios medžiagos gaminamos lentos, kurios naudojamos išorėje – fasaduose, terasose, įrengiant lieptelius, laiptų pakopas, tvoras, suoliukus, jas galima naudoti kaip langų, durų apvadus. Ši medžiaga savybėmis pranoksta natūralios medienos gaminius ar gaminius iš plastikų su chemogeninės kilmės užpildais. Gaminiai iš šios medžiagos nereikalauja jokios papildomos priežiūros eksploatacijos metu, taip pat jie gali būti perdirbami. Ši medžiaga neskilinėja, nepūva, neblunka.

WPC medžiagas apibūdinantis standartas – LST CEN/TS 15534-2 „Medienos ir plastikų kompozitai (WPC). 2 dalis. WPC medžiagų apibūdinimas“. WPC dirbiniais gaminti tinka termoplastikai, kurių formavimo temperatūra yra iki 200 °C. Organiniai užpil-

dai WPC sudaro 50–70 % produkto. Papildomai gali būti naudojami mineraliniai užpildai: kalcio karbonatas, talkas (steatitas), kaolinitinis molis, žerutis (mica), stiklo pluoštas, taip pat priedai: plastifikatoriai ir stabilizatoriai. WPC gamyba sudaryta iš šių etapų: *žaliavų paruošimo; žaliavų mišinio sumaišymo ir išlydymo; aušinimo; mechaninio apdirbimo; gaminio formavimo ir aušinimo*.

Gaminant WPC žaliavos pirmiausia sumaišomos tarpusavyje, padaromas medžiagų mišinys. Maišymo metu įmaišoma užpildo ir priedų. Priklausomai nuo gaminio paskirties, žaliavos dozuojamos taip: 30–70 % sudaro medienos atliekos, 5–50 % – polimerinė medžiaga, 0–15 % – priedai. Gaminant WPC dažniausiai naudojami priedai: lubrikantai, pigmentai, antioksidantai, UV-stabilizatoriai, antipirenai, antimikrobinės medžiagos. Mišinys gali būti iš karto kaitinamas ir formuojamas į dirbinį arba daromos granulės, skirtos apdoroti toliau (4.3 pav.).

4.3 pav. Medienos ir plastiko kompozito žaliavos ir dirbiniai:
a – viršutinėje dalyje kairėje – polimero granulės, dešinėje – medienos atliekos ir apačioje – suformuotų granulių iš WPC vaizdas; b – gaminiai iš medienos ir plastiko kompozito ir suformuotos granulės

Kai iš karto formuojami dirbiniai, gamintojai išlydytą masę formuoja ekstrudieriu. Suformuota ištisinė dirbinio juosta aušinama ir pjaustoma į norimo ilgio dirbinius. Kai pirma formuojamos granulės, tai ekstrudieriu formuojamas ne ištisinis dirbiny, o ištisinės juostelės, kurios ataušintos sukapojamos. Tokiu būdu gautos granulės gali būti tiekiamos kitiems perdirbėjams, kurie gamina norimos formos dirbinius.

Gaminant medienos ir plastiko kompozitą pagrindinis įrenginys yra ekstruderis. Jame esančiomis pilnavidurėmis ir tuščiaavidurėmis formomis formuojami gaminiai. Pagrindinis ekstruderio uždavinys – išlydytą polimerą sumaišyti su organiniu užpildu ir kitais priedais ir formavimo galvute suteikti jam formą. Principinė ekstruderio schema pateikta 4.4 pav.

4.4 pav. Principinė ekstrudinės linijos, naudojamos plastikams gaminti, schema: 1 – plastiko granulės su priedais; 2 – stūmimo sraigtas; 3 – kaitinimo elementai; 4 – formavimo galvutė; 5 – aušinimo įrenginiai; 6 – tempimo ir žymėjimo įrenginiai; 7 – pjaustymo įrenginiai

Gamyboje naudojami keli ekstrudierių tipai: vienasraigtis ir dvisraigtis. Kai gaminama iš paruoštų granuliu, naudojamas viensraigtis ekstruderis; kai gaminama iš polimerų ir medienos mišinio, dažniausiai naudojamas dvisraigtis ekstruderis. Taip pat galimas ir dvipakopis formavimas – vienas ekstruderis maišo mišinį, o kitas jį profiliuoja. Organinis užpildas gali būti džiovinamas prieš mišinio paruošimą arba pirmajame ekstruderyje dvipakopio formavimo metu.

Principinė medienos ir plastiko kompozito gamybos technologinė schema pateikta 4.5 paveiksle.

WPC gaminant iš polietileno (WPC-PE) dažniausiai naudojamas didelės molekulinės masės polietilenas (HDPE), kurio tankis 960 kg/m^3 . Dirbiniai, kuriems gaminti naudojamas šis polimeras, yra minkštesni, todėl juos lengviau pjauti, į juos lengviau sukti varžtus, tačiau jų lenkimo ir gniuždymo stipris yra mažesnis, taip pat jie pasi-

žymi mažesniu atsparumu dilimui. Polietilenas yra atsparus cheminių medžiagų poveikiui, įskaitant ir stipriąsias rūgštis (sieros, druskos, azoto).

WPC gaminių, kurie gaminami naudojant polipropilena, (WPC-PP) yra mažai, jie sudaro tik apie 10 % rinkos. Polipropileno savybės yra pranašesnės už polietileno. Jis lengvesnis, stipresnis, stangresnis, jo slidumas mažesnis, taip pat mažesnis ir atsparumas dilimui. WPC-PP yra ganėtinai kietas, todėl jį sunku tvirtinti vinimis ar varžtais. Jie montuojami specialiomis tvirtinimo kabėmis ar specialiomis sistemoimis. Taip pat WPC-PP yra daug sunkiau pjauti lyginant su WPC-PE.

4.5 pav. Medienos ir plastiko gaminių principinė technologinė kompozito gamybos schema: 1 – medienos trupinimas; 2 – medienos malimas; 3 – medienos dulkių atskyrimas, 4 – medienos džiovinimas; 5 – paruoštos medienos sandėliavimas; 6, 7 – oro valymo sistema; 8 – vakuuminė talpykla; 9 – masės maišymas; 10 – masės transportavimas; 11 – medienos ir plastiko masės granulių ekstruderis; 12 – medienos ir plastiko granulių saugykla; 13 – gaminių iš medienos ir plastiko granulių formavimo ekstrudinė linija

Polipropilenas yra labiau linkęs oksiduotis, taigi reikia gerokai didesnio kiekio antioksidantų ir stabilizatorių negu PE. Gaminiai iš WPC-PE ir WPC-PP yra degūs. Šių kompozitų degumui sumažinti taikomi du būdai: įterpiami degumą mažinantys priedai arba kompozitas gaminamas, naudojant polivinilchloridą.

WPC produktų, kurie pagaminti iš PVC medžiagos (WPC-PVC), rinkoje yra mažesnė dalis, negu pagamintų iš polipropileno. WPC terasinių lentų, pagamintų PVC pagrindu, rinkoje yra apie 11 %. Didžiausias PVC privalumas yra tas, kad jis yra labai atsparus degimui. Tačiau degdamas šis plastikas išskiria kenksmingas dujas, dėl to gaminant turi būti naudojami antipirenai bromo aliuminio ar magnio pagrindu. Dažniausiai medienos ir plastikų kompozitams gaminti naudojamas užpildas – medienos miltai. Medienos miltų piltinis tankis yra 0,1–0,3 g/cm³, savitasis tankis – 1,3–1,4 g/cm³. Medienos miltai gaunami iš medienos atraižų ir medienos atliekų. Iš jų turi būti išvalyta žievė ir kitos medienai nebūdingos priemaišos. Dažniausiai naudojami pušies, klevo ar ąžuolo medienos miltai. Medienos miltai ruošiami trupinant didesnes medienos daleles plaktukiniu trupintuvu ar kitais smulkinimo įrenginiais. Medienos miltai skirstomi į frakcijas vibraciniu ar rotaciniu būdu. Naudojamų medienos miltų dalelių dydis yra 180–425 μm. Paprastai medienos miltai yra 4–8 % drėgmės. Ši drėgmė prieš gaminant kompozito dirbinius turi būti pašalinta.

Iš medienos ir plastikų kompozito (WPC-PE, WPC-PP, WPC-PVC) gaminamos lentos (4.6 pav.), kurios naudojamos išorėje – fasaduose, terasose, įrengiant lieptelius, laiptų pakopas, tvoras, suoliukus, jas galima naudoti kaip langų, durų apvadus (4.7 pav.). Ši medžiaga savybėmis pranoksta natūralios medienos gaminius ar gaminius iš plastikų su chemogeninės kilmės užpildais. Gaminiai iš šios medžiagos nereikalauja jokios papildomos priežiūros eksploatacijos metu, taip pat ji yra visiškai perdirbama.

Iš WPC gaminamiems langų rėmams nereikia armuojančiųjų elementų kaip rėmams iš polivinilchlorido. Sienos plokštės ir grindų dangos iš WPC pasižymi geromis eksploatacinėmis savybėmis: gali atlaikyti nuo –60 iki +80 °C temperatūrą, atsparios mechaniniams

4.6 pav. Gaminių pavyzdžiai iš medienos ir plastikų kompozito – lauko terasos grindų lentos

4.7 pav. Gaminių pavyzdžiai iš medienos ir plastikų kompozito:
a – lango rėmas (pjuvis); b – sienų plokštės

pažeidimams, ultravioletiniams spinduliams, drėgmei, vandeniui, senėjimui, nepūva, paprastai montuojamos.

Vienas iš aptariamų kompozitų senėjimo požymių yra suirimai, atsiradę dėl oksidacijos poveikio. Dėl oksidacijos poveikio iš pradžių gaminiuose atsiranda pirmieji smulkūs įtrūkimai ir gaminiai praranda spalvą. Vykstant senėjimo procesams įtrūkimai plečiasi ir po kiek laiko susiformuoja visas įtrūkių tinklas. Tam, kad gaminiai kuo ilgiau būtų apsaugoti nuo kenksmingų veiksnių – ultravioletinių saulės spindulių, deguonies, teršalų, drėgmės, reikia, kad gaminant kompozitus būtų naudojamas reikiamas antioksidantų kiekis ir būtų tinkamai parinktas pats antioksidantas. Oksidacijos iniciatoriai – kenksmingi aplinkos poveikiai – šią medžiagą veikia taip, kad plastikas, esantis kompozite, suyra ir praranda vientisumą, o irimo metu gautos atskiros dalelės – užpildai neturi medienos ir plastiko kompozitui būdingų savybių. Kiti veiksniai, galintys pagreitinoti kompozito irimą, yra masės perkaitinimas gamybos metu, per didesnis masės poringumas ir metalo oksidai, galintys patekti į formavimo masę.

Norint padidinti kompozitų atsparumą heterotrofiniams mikroorganizmams, gali būti dedama biocidinių ir kitų priedų, užkertančių

kelių jiems vystytis. Taip pat norint išvengti šių organizmų veiklos padarinių naudojami tik sausi užpildai, o kompozitas turi būti tankus, su kuo mažiau porų ir tuštumų.

4.3. Sluoksniuotieji gaminiai iš plastikų

Šie dirbiniai gaminami iš popieriaus (kartono), išmirkyto sintetinėse karbamido ar fenolformaldehido dervose. Viršutiniams sluoksniams gali būti naudojamas baltintas, spalvotas arba išmargintas įvairiais raštais kartonas.

Sluoksniuotųjų gaminių gamyba susideda iš šių pagrindinių etapų: popieriaus (kartono) išmirkymas sintetinėse dervose (principinė išmirkymo schema pateikta 4.8 paveiksle); lakštų surinkimas ir presavimas; lakštų pjaustymas (kartais šlifavimas).

4.8 pav. Sluoksniuotųjų gaminių iš plastikų mirkymo linija:

- 1 – popieriaus išvyniojimo įrenginys; 2 – pirminis mirkymas;
- 3 – tarpinis džiovinimas; 4 – antrinis mirkymas; 5 – dozatorius;
- 6 – džiovinimo įrenginys; 7 – vėsavimo valcai;
- 8 – lakštų vyniojimas arba nupjovimas

Pagal gamybos technologiją sluoksniuotuosius gaminius galima suskirstyti į tokias grupes: gamyba esant mažam slėgiui arba nuolatinio presavimo (CPL – angl. *continuously pressed laminate*) (4.9 pav.); gamyba esant dideliame slėgiui (HPL – angl. *high pressure laminate*).

Kartonas mirkomas mirkymo įrenginyje, t. y. atviroje vonioje arba autoklave (0,4–0,8 MPa). Išmirkytas kartonas patenka į džiovinimo kamerą, kurioje džiovinamas karštu oru. Džiovinama iki 90 °C temperatūroje. Išdžiovinintas kartonas vyniojamas ant būgno ir pjaustomas į lakštus. Iš kelių lakštų formuojami paketai, kurie dedami į presą ir suspaudžiami tarp nerūdijančiojo plieno poliruotų lakštų.

4.9 pav. Lakštų suspaudimas juostiniu presu (nuolatinio presavimo gamybos procesas, kompanija „Hymmen“)

Presavimo slėgis yra 10–11 MPa (gaminama esant dideliame slėgiui – iki 15 MPa) ir 150 °C temperatūra. Plastiko kietėjimo trukmė 4–5 minutės vienam lakšto storio milimetrai. Sukietėjusio lakšto kraštai apipjaunami. Lakštų matmenys: ilgis 1000–5000 mm, plotis 600–1600 mm, storis 1–5 mm; tankis 1,4 g/cm³, gniuždymo stipris 140–160 MPa, tempimo stipris 90–130 MPa, lenkimo stipris apie 100 MPa. Tokie sluoksniuotieji plastikai atsparūs silpnoms rūgštims ir šarmams.

Šiuo metu fasadinių sluoksniuotų gaminių iš plastikų rinkoje aktyvias pozicijas užima HPL plokštės (4.10 pav.) (lietuviškai – DSL „didelio slėgio apdailos laminatai“). Šių plokščių svarbios charakteristikos yra atsparumas atmosferos poveikiui ir ultravioletiniams saulės spinduliams.

4.10 pav. Sluoksniuotasis gaminys (bendras vaizdas)

Pagal standartą EN 438-1 „Didelio slėgio apdailos laminatai“ HPL fasadų plokštės klasifikuojamos pagal EDF tipo bandymus. E žymuo reiškia, kad plokštės skirtos fasadui, D – plokštės ypač atsparios atmosferos poveikiui, o F – nedegios. Ypač atsparių HPL plokščių atsparumas atmosferos poveikiui deklaruojamas pagal EN ISO 4892-2 standartą „Plastics – Methods of exposure to laboratory light sources – Part 2: Xenon-arc lamps“. Šios plokštės bandomos imituojant visus įmanomus atmosferos poveikius 3000 valandų, o tai teoriškai atitinka 50 eksploataavimo metų. Atlikus bandymus pagal minėtą standartą plokštės, atsižvelgiant į spalvos kontrasto skalę, skirstomos į lygius (iš viso yra 5 spalvos kontrasto lygiai). Pateiksime pavyzdį: po 3000 valandų bandymų, atliktų klimatinėje kameroje, nustatyta, kad plokštės atitinka 5-ąją spalvų kontrasto skalės lygį. Šio lygio atitikimu leidžia teigti, kad bandinys po 3000 valandų trukmės bandymo, kaip patvirtinta praktiniais tyrimais, apimančio 50 metų eksploataavimo periodą, t. y. intensyvaus aplinkos poveikio – karščio, šalčio, sniego, lietaus, saulės ir t. t. taikymą, ir nauja, tik ką pagaminta tokios pat spalvos plokštė, lyginant su bandomąja, vizualiai spalvos atžvilgiu nesiskirs. 4 lygis reiškia, kad spalvų skirtumas bus nedidelis, 3 lygis išsyk matomas ir žymus, 2 ir 1 lygis reiškia, kad po 50 metų plokštės bus išblukusios, sueižėjusios, turės kitų pažaidų. Standarto EN ISO 4892-2 reikalavimai yra labai griežti. Tie gamintojai ar produkto pardavėjai, kurie plokščių atsparumą aplinkos poveikiui nurodo pagal EN ISO 4892-2 ir EN ISO 4892-3 (Plastics – Methods of exposure to laboratory light sources – Part 3: Fluorescent UV lamps) reikalavimus, užtikrina net 4 spalvos kontrasto lygio plokštės kokybę ir tai, kad ji neturės pažaidų ir spalvos skirtumo daugiau kaip 50 metų. Pagal paminėtą standartą EN ISO 4892-3 nurodomas atsparumas ultravioletinių spalvų poveikiui reiškia, kad plokščių, 1500 valandų bandytų klimatinėje kameroje, paviršius turi būti apžiūrimas ir pažaidos klasifikuojamos į 5 lygius spalvų kontrasto skalėje. HPL plokščių tankis $1,45 \text{ g/cm}^3$, lenkimo stipris $\geq 90 \text{ MPa}$, tempimo stipris $\geq 80 \text{ MPa}$, tamprumo modulis $\geq 9500 \text{ MPa}$, šilumos laidumo koeficientas $0,3 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$, temperatūrinio plėtimosi koeficientas $18 \cdot 10^{-6} \text{ 1/K}$.

4.4. Polimerbetonis

Polimerbetonis yra dirbtinė medžiaga, pradėta plačiai naudoti maždaug prieš 40 metų. Polimerbetonis yra betonas, kurio rišiklis polimeras. Naudojami polimerai – stireno lateksas, polivinilas ir kitos vandenyje tirpios polimerinės (epoksidinės) dervos. Šiam betonui gaminti naudojami mineraliniai užpildai (kvarcas, bazaltas, granitas, marmuras) ir smulkiadispersiai užpildai, tokie kaip talkas, aerosilas, maltas kvarcas, granito skaldelė ir kt. (4.11 pav.).

4.11 pav. Polimerbetonio sudėtinės dalys

Šiam betonui būdingas didesnis tempimo stipris, mažesnis trąpumas, geresnės deformacinės savybės. Polimerbetonis nelaidus vandeniui, pasižymi didesniu atsparumu šalčiui ir atsparumu dilumui, yra atsparus regresyviems skysčiams ir dujoms.

Polimerbetonio ir tradicinio C 25/30 klasės betono kai kurios savybės pateiktos 4.1 lentelėje.

4.1 lentelė. Polimerbetonio ir tradicinio C 25/30 klasės betono kai kurių savybių palyginimas

Savybės	Polimerbetonis	Betonas C 25/30 klasės
Gniuždymo stipris, MPa	80–110	25/30
Tempimo stipris, nustatomas lenkiant bandinius, MPa	22–35	2–4
Tempimo stipris, nustatomas skeliant bandinius, MPa	8–12	1,5–2
Atsparumas dilumui	0,1–0,2	0,6
Igeriamumas, %	0	4–8

4.12 pav. Principinė polimerbetonio gamybos schema: 1 – žaliavų bunkeris; 2, 6, 7 – elevatorius; 3 – frakcionavimo įrenginys; 4 – pasvirę lovėliai; 5, 12, 14 – bunkeris; 8 – nuolatinio veikimo dozatorius; 9 – juostinis transporteris; 10 – priėmimo bunkeris; 11 – nuolatinio veikimo maišytuvas; 13 – pasviras transporteris; 15 – maišymo įrenginys; 16, 18 – konvejeris; 17 – vibracinis stalas; 19 – išformavimo įrenginys; 20 – klotuvai; 21 – sandėliavimo vieta; 22 – polimerinių dervų ir kitų priedų tiekimo vamzdis

Dėl didelio atsparumo rūgštims ir šarmams gaminiai iš polimerbetonio naudojami lietaus šalinimo sistemos detalėms gaminti, drenažo sistemoms įrengti. Principinė polimerbetonio gamybos schema pateikta 4.12 paveiksle.

Gaminant polimerbetonį žaliavos vežamos automobilių transportu. Užpildai vežami sunkvežimiais, kuriuose krovinys turi būti apdengtas, kad neišsibarstytų smulkūs, birūs užpildai. Derva transportuojama cisternose. Polimerbetonio žaliavai taikoma nuolatinė kokybės kontrolė. Užpildai yra džiovinami, frakcionuojami ir modifikuojamas jų paviršius (jei reikia). Užpildai pagal frakcijas dedami į skirtingus bunkerius, iš kurių elevatoriumi tiekami į frakcionavimo įrenginį. Paskui paruošta žaliava dozuojama dozatoriais ant juostinio transporterio. Dozuojamų frakcijų kiekis priklauso nuo to, koks reikalingas mišinio užpildymas užpildo grūdėliais.

Nuo juostinio transporterio žaliava patenka į elevatorių, kuris ją suberia į sauso maišymo maišyklę. Sauso maišymo maišyklė sumaišo skirtingų dydžių daleles, kad sumaišytas su derva mišinys neišsi sluoksniuotų. Iš sauso maišymo maišyklės užpildai patenka į kitą maišyklę, į kurią tiekiamas reikalingas kiekis poliesterinės dervos ir priedų. Į maišymo įrenginį tiekiamos iki maždaug 50 °C temperatū-

ros pašildytos polimerinės dervos ir kiti priedai (kietikiai, greitikliai, katalizatoriai, spalvą suteikiantys priedai). Polimerbetonio mišinys paprastai ruošiamas nuolatinio maišymo maišytuvuose tol, kol masė tampa vienalytė. Maišymo įrenginyje paruošta masė ne tik maišoma, bet dažnai ir vakuumuojama. Sumaišyta masė liejimo kaušu supilstoma į formas. Formos vibruojamos, dėl to jos užsipildo tolygiai, nelieka tuščių ertmių. Formuojant polimerbetonį būtina atsižvelgti į susitraukimą, nors poliesterio dervos su priedais susitraukimas yra palyginti labai mažas – 0,3–0,5 %.

Norint paspartinti kietinimo procesą, produktą galima apdoroti termiškai. Juostinis transporteris medžiagą gabena į terminio apdorojimo kamerą, kurioje vyksta polimerizacija. Pradžioje formos su produktu temperatūra pakyla iki 60–70 °C. Vėliau ji pakeliama iki 90 °C temperatūros. Šioje temperatūroje produktas laikomas 1,5–2 val. Po terminio apdorojimo formos išardomos ir išimami gaminiai, atliekama vizualinė kokybės kontrolė ir šalinami smulkūs defektai. Gaminiai laikomi uždaro tipo sandėliuose ne mažiau kaip 3 paras ne žemesnėje kaip 18 °C temperatūroje. Polimerbetonis dažnai vadinamas dirbtiniu akmeniu. Iš jo gaminami stalviršiai ir kriauklės (jiems gaminti naudojami marmuro trupiniai), dvikomponenčiai glaistai ir grunta, grindų plytelės, sienos plokštės (4.13 pav., b, c), vamzdžiai, vandens šalinimo sistemos (latakai 4.13 pav., a), laiptai, taip pat jis naudojamas rezervuarams hermetizuoti, grindims įrengti.

4.13 pav. Vandens latakas iš polimerbetonio su ketinėmis grotelėmis (a), fasadinės apdailos lygaus paviršiaus plokštės (b); fasadinės apdailos plokštės, padengtos natūralaus akmens grūdeliais (c)

4.5. Polimeriniai dirbiniai, armuoti pluoštais

Didelę dalį kompozitinių polimerinių medžiagų grupėje užima dirbiniai, armuoti pluoštais. Gali būti naudojami stiklo, anglies, aramido, boro pluoštai.

Pluoštais armuoti plastikai – tai medžiagos, sudarytos iš ~70 % stiklo, anglies, aramido ar boro pluošto bei ~30 % polimerinio rišiklio (4.14 pav.). Kai kurios armuotų plastikų savybės pateiktos 4.2 lentelėje.

4.14 pav. Stiklo, aramido (kevlaro), anglies pluošto audiniai

Armuoųjų plastikų stipris yra didesnis, o tamprumo modulis mažesnis nei plieninės armatūros. Stiprinant konstrukcijas armuotieji plastikai gali pakeisti plieną. Šių medžiagų privalumai, lyginant su plienu, yra šie: nedidelis tankis ($1\text{--}2\text{ g/cm}^3$) – stiprio ir tankio santykis apie 10–15 kartų didesnis už plieno; didelis atsparumas korozijai ir nuovargiui, veikiant dinaminėms apkrovoms, nedidelis temperatūrinės plėtos koeficientas. Tačiau kaip ir visi plastikai šios medžiagos neatsparios ultravioletiniams spinduliams, todėl jų paviršius dengiamas specialia danga.

4.2 lentelė. Armuotų pluoštais plastikų savybės (f_c – tempimo stipris, E – tamprumo modulis, ε_u – ribinis ištįsimas, α – temperatūrinės plėtos koeficientas)

Pluošto tipas	Rišiklio tipas	f_c , MPa	E , $\times 10^3$ MPa	ε_u , %	α , $\times 10^{-6}$ m/m/°C
Anglies	epoksidinis	800–1800	100–200	1,2–1,6	0,2
	vinilestero	1000–1100	80–90		
Stiklo	epoksidinis	1300–1600	40–50	3,0–4,5	7,0
	vinilestero	600–900	30–40		
Aramido	epoksidinis	1200–1300	60–65	2,5–4,0	2,0–5,7
	vinilestero	1200–1900	45–55		

Stiklo pluoštas pasižymi dideliu stipriu ir mažu tamprumo moduliu. Yra įvairių stiklo pluošto variantų: E stiklas (mažo elektrinio laidumo), ECR stiklas (atsparus korozijai), S stiklas (padidinto stiprumo, 10–15 % stipresnis už E stiklą), R stiklas, Te stiklas, silikono / kvarco stiklas (atsparus elektros išlydžiams), D stiklas ir kt. Išskyrus tekstilines armuojančiąsias medžiagas, šis pluoštas yra pigiausias.

Anglies pluoštas, palyginti su stiklo ir aramidiniu pluoštais, yra atsparesnis nuovargiui. Be to, anglies pluoštui, skirtingai nei stiklo ar aramidiniam, atskirų gijų įskilimai ir nutrūkimai nepavojingi, nes pluoštas supintas iš tūkstančių ar net šimtų tūkstančių labai plonų gijų.

Aramidiniai pluoštai iš visų komercinių pluoštų išsiskiria didžiausiu stipriu, tenkančiu svorio vienetui. Pagal tempimo stiprį šis pluoštas artimas stiklo pluoštui, bet tamprumo modulis yra beveik du kartus didesnis.

Boro pluoštas pranoksta anglies pluoštą dideliu tamprumo moduliu. Pagal stiprį jis nedaug skiriasi nuo stiklo pluošto, tačiau tamprumo modulis yra beveik penkis kartus didesnis. Šis pluoštas labai brangus, todėl naudojamas ribotai.

Konstruciniams kompozitams gaminti geriausiai tinka termoreaktyvinės dervos. Tai dervos, kuriose dėl temperatūros arba kietiklių poveikio atsiranda negrįžtamų cheminių pakitimų, todėl derva sukietėja, tampa netirpi ir nesilydo. Iš tokių termoreaktyvinių dervų galima paminėti šias: poliesterinės, vinilo esterio, epoksidinės, fenolinės dervos.

Poliesterinės dervos – labai plačiai naudojama medžiaga matricai. Dažniausiai ji komponuojama su stiklo pluošto armatūra. Matricos ir stiklo pluošto tarpusavio adhezija labai stipri. Kitų tipų pluoštai dėl prastos adhezijos su šia matricos medžiaga beveik nenaudojami.

Vinilo esterio dervoms kaip armatūra dažniausiai naudojamas stiklo pluoštas. Šios matricos kompozitai, lyginant su poliesterinės matricos kompozitais, yra lankstesni ir sunkiau lūžta.

Epoksidinės dervos, lyginant su poliesterinėmis ir vinilo esterinėmis dervomis, po liejimo mažiau traukiasi, pasižymi mažu lakumu, geru atsparumu tirpikliams ir aplinkos poveikiams, gera adhezija su daugeliu užpildų. Jos labai plačiai naudojamos oro transporto pramonėje naudojamiems dirbiniams gaminti.

Maleinimidinės dervos. Kai kurios iš šios matricos medžiagų gali būti naudojamos iki 300 °C temperatūros. Šios matricos kompozitai, naudojant anglies pluoštą, dėl didelio higroterminio atsparumo yra laikomi pažangiausiais. Tačiau jie turi keletą trūkumų: yra trapūs, juose dažnai atsiranda mikroįtrūkių, nors įtrūkių tikimybė gali būti sumažinta naudojant termoplastinius komponentus.

Poliamidinės dervos plačiausiai naudojamos aukštosiose temperatūrose naudojamiems gaminiams gaminti. Kol tampa trapios, jos ilgą laiką gali būti naudojamos aukštesnėje kaip 300 °C temperatūroje.

Geresnėmis temperatūrinėmis savybėmis pasižymi ir fenolinės dervos. Tačiau naudojant jas patiriama tų pačių sunkumų, atsirandančių dėl tuštumų formavimo. Šios dervos dažnai būna trapios ir gana prastų mechaninių savybių. Kompozitai su šių dervų matricomis dažniausiai naudojami ugniai atspariems gaminiams gaminti.

Cianoesterinės dervos pasižymi geromis elektrinėmis savybėmis ir yra naudojamos su mažo dielektriškumo pluoštais. Šios dervos igeria mažai drėgmės ir yra stabilios iki 200 °C.

Polieterketoninės dervos dažniausiai naudojamos su ištisiniu anglies pluoštu. Jos pasižymi dideliu atsparumu smūgiams, geromis hidroterminėmis savybėmis, labai maža vandens absorbcija. Jų lenkimo stipris yra 100 kartų didesnis nei epoksidinių dervų.

Iš plastikų, armuotų pluoštais, gaminamos talpyklos, vamzdžiai, siurblinės, apšvietimo stulpai, armatūra, šie plastikai naudojami konstrukcijoms stiprinti ir atnaujinti. Tokie kompozitai labai atsparūs smūginėms ir ciklinėms apkrovoms, pasižymi hidrofobinėmis savybėmis, yra nelaidūs šilumai, o jų savybės nesikeičia iki 60 °C temperatūros.

Be įprastinių cementinių, polimercementinių ar polimerinių kliju, mastikų, skiedinių, konstrukcijoms vis plačiau pradedami naudoti

strypų, lynų, tinklų, audinių ar įvairių profilių pavidalo armuotieji plastikai. Jų privalumai išryškėja tada, kai reikia patikimai sujungti elementus, apsaugoti betoną nuo smūgių, dilimo, šalčio ar agresyvios aplinkos.

Armuotųjų plastikų stipris priklauso nuo adhezijos jėgų tarp matricos polimero ir armuojančiosios medžiagos bei kohezijos jėgų tarp matricos polimero makromolekulių. Kompozito matricos ir armuojančiosios medžiagos fazės skiria nuo 0,5 nanometro iki kelių tūkstančių nanometrų storio tarpsluoksnis. Šis tarpsluoksnis vadinamas tarpine faze. Kai kurios armuojančiosios medžiagos gali absorbuoti vandenį, kuris matricos susidarymo metu gali reaguoti su aktyviomis jos grupėmis. Tuomet greta armuojančiosios medžiagos atsiranda kita tarpinė fazė iš plastifikuoto matricos polimero. Šis sluoksnis blogina kompozito savybes. Tokia tarpinė fazė gali būti pašalinta armuojančiosios medžiagos paviršių hidrofobizuojant specialiomis dervomis.

Adhezijos jėgas tarp polimero ir užpildo galima padidinti parenkant tinkamą užpildo formą, smulkumo laipsnį, modifikuojant jo paviršių (hidrofobizuojant, prijungiant giminiškas grupes). Pavyzdžiui, į polietileną arba poliamidą pridėjus 30 % stiklo pluošto, gaminio trūkimo stipris padidėja 240 %. Tačiau, kai priedų kiekis viršija optimalų, kompozito stipris pradeda mažėti. Kompozitas stipriausias būna tada, kai armuojančiosios medžiagos paviršiuje sudaroma monomolekulinė orientuoto polimero plėvelė.

Tiriant įtrūkimų susidarymą armuotuosiuose plastikuose, nustatyta, kad jie mažesni, kita plastiką stiprinančio pluošto veikimo priežastis yra įtempio relaksacija, įtrūkiui pasiekus pluošto paviršių. Toliau toks defektas didėja tik didėjant mechaninei jėgai.

Teisingai parinktos armuojančiosios medžiagos ne tik padidina kompozitinės polimerinės medžiagos stiprį, bet ir pakeičia jos deformacines ir termines savybes, nes pluoštas mažiau deformuojasi nei matricos medžiaga.

Stiklaplasčiais vadiname stiklo pluoštu armuotą plastiką. Stiklo pluoštas šiuose kompozituose sustiprina plastiką, o sintetinės dervos

sujungia stiklo pluoštą į bendrą sistemą. Stiklaplastis – tai medžiaga, sudaryta iš stiklo pluošto (4.15 pav.), kurio gali būti iki 70 %, ir polimerų (termoreaktyvinių polimerų dervos). Angliškai stiklo plastikas žymimas GRP (*glass-reinforced plastic*). Iš šios medžiagos gaminamos talpyklos, vamzdžiai, armavimo elementai langų ir durų profiliams, strypų, tinklų profiliai, mašinų, lėktuvų detalės ir t. t.

4.15 pav. Stiklo pluošto vaizdas: a – stiklo pluošto gija;
b – stiklo pluošto ritės

Stiklo pluošto plaušeliai yra cilindrinės formos, lygaus paviršiaus ir lyginant su kitomis pluoštinėmis medžiagomis yra labai stiprūs. Plaušelių stipris priklauso nuo stiklo cheminės sudėties, lydalo homogeniškumo, formuojamo lydalo temperatūros, plaušelio storio, formavimo sąlygų ir būdo, plaušelio paviršiaus defektų. Stipriausi yra kvarcinio ir magnio bei aliuminio silikatinio stiklo plaušeliai, silpniausi – boro, fosfatinio, švino ir daug šarmų turinčio stiklo plaušeliai.

Plonėjant plaušeliui, mažėja pavojingų defektų susidarymo galimybė, todėl didėja jų tempimo stipris. Ilgesnių plaušelių tempimo stipris mažesnis, nes juose daugiau defektų. Mechaninėms savybėms labai didelę reikšmę turi plaušelių formavimo būdas ir sąlygos. Stipriausi yra dideliu greičiu pro filjeres iš lydalo ištempti plaušeliai; iš lazdelių arba pūtimo būdu ištempti štapeliniai plaušeliai yra silpnesni. Drėgmė stiklo pluošte absorbuojama paviršiaus įtrūkimais ir paviršiaus defektais. Stiklo pluošto higroskopiskumas mažas – 0,2 %. Drėgmė ir aktyviosios paviršiaus medžiagos, absorbuotos plaušelių

paviršiuje, skatina mikroįtrūkių susidarymą, o dėl jų, nepriklausomai nuo stiklo cheminės sudėties, 15–30 % sumažėja plaušelių mechaninis stipris. Drėgmė sumažina pluošto atsparumą lenkimui ir trynimui. Nepoliniai angliavandeniliai veikia analogiškai kaip ir sausas oras, t. y. didina plaušelių stiprį. Stiklo pluošto šiluminis atsparumas priklauso nuo stiklo cheminės sudėties. Bešarmio stiklo pluošto šiluminis atsparumas yra 700 °C. Kaitinamo stiklo pluošto tempimo stipris didėja, nes plaušeliai tampa elastingesni, o dėl klampiosios deformacijos išnyksta paviršiniai mikrodefektai ir mikroįtrūkiai. Priklausomai nuo stiklo sudėties, keliant temperatūrą iki 500 °C, stiklo pluošto tamprioji deformacija padidėja 3–7 kartus. Apie stiklo pluošto atsparumą vandeniui, vandens garams, rūgštims, o ypač šarmams, sprendžiama iš masės nuostolių, skersmens ir stiprio pokyčių. Stiklo pluošto atsparumą šarmams didina cirkonio, aliuminio, geležies, cinko, alavo, lantano oksidai. Šarmams atspariu stiklo pluoštu dažnai armuojamos cemento ir polimerinės kompozicinės medžiagos. Kvarcinis, kaolino, taip pat bešarmis aliumoborosilikatinis pluoštas chemiškai yra gana atsparus vandeniui ir didelio slėgio garui; šarmų turintis stiklo pluoštas yra neatsparus, jis ypač greitai įyra, jei daug kartų apdorojamas vandenių arba vandens garais. Kvarcinis, bešarmis neturintis boro ir aliumosilikatinis pluoštas yra atsparus rūgštims. Šilumai atspariems neorganinių polimerinių rišiklių kompozitams sudaryti naudojamas 300 °C ir aukštesnėje temperatūroje ortofosforo rūgščiai atsparus pluoštas.

Adhezinės (sukibimo) savybės yra svarbios armuojant stiklo pluoštu plastikus. Geriausiomis adhezinėmis savybėmis pasižymi kvarcinis, magnio-aliuminio silikatinis ir bešarmis aliumoborosilikatinis stiklo pluoštas. Silpniausiomis adhezinėmis savybėmis pasižymi silicio oksidų neturintis fosfatinis, boratinis, kadmio boratinis, taip pat švino silikatinis stiklo pluoštas. Norint padidinti polimerų ir stiklo pluošto adheziją, hidrofobinamas stiklo pluošto paviršius.

Didžiausi nesočiųjų poliesterinų derių kiekiai sunaudojami poliesteriniais stiklaplasčiams gaminti. Plastikui gaminti poliesterinė derva praskiedžiama vinilmonomeru (35–45 %), dažniausiai naudo-

jamais stirenas. Toks mišinys vadinamas nesočiuoju poliesteriu. Šiame mišinyje vinilmonomeras atlieka monomero vaidmenį, o poliesterinė derva – kietiklio. Norint gauti elastingesnę ir atsparią smūginėms apkrovoms ir ultravioletinei spinduliuotei medžiagą, stirenas maišomas su metakrilatu. Plastiką gaunamas pridėdant polimerizacijos iniciatorių ir mišinį kietinant. Kietinimo temperatūra gali būti 50–150 °C, ji priklauso nuo polimerizacijos iniciatoriaus. Kaip iniciatorius gali būti benzoilperoksidas, cikloheksano rūgštusis peroksidas. Jei norima kietinti kambario temperatūroje, dedama kobalto naftenato mišinio arba peroksijunginių ir tretinių aminių. Tam, kad susidarytų tinklinės makromolekulės, sunaudojama tik dalis poliesterinės dervos dvigubųjų ryšių molekulių. Kitos molekulės, turinčios dvigubuosius ryšius, eksploatavimo metu gali reaguoti, tada plastikas tampa neatsparus vandeniui, sensta.

Derva greitai susigeria į stiklo audinį, yra patogi naudoti dengiant rankomis ir purškiant. Storinant dirbinį kelis kartus (esant tarpiniams kietėjimams) kiekviena operacija turi būti užbaigiama esant standartiniam dervos ir stiklo pluošto kiekių santykiui. Storinant medžiagą (prieš dedant naują sluoksnį) būsimą gaminio paviršius, turintis dervos perteklių, turi būti pašiauštas. Jeigu gaminyje neapdorojamas abrazyvine medžiaga, intervalai tarp dviejų operacijų negali viršyti 48 val. Į dervos sudėtį įeina parafinas, kuris sukietėjusiai medžiagai suteikia nelimpantį paviršių.

Gamyboje naudojamas katalizatorius, kuris yra metiletilketono peroksido ir plastifikatoriaus tirpalas. Šis katalizatorius yra stabilus, todėl tinkamas naudoti karšties kraštams. Jis kartu su kobalto greitikliu naudojamas kambario temperatūroje vykstančioms nesočiųjų poliesterinių dervų reakcijoms pagreitininti. Katalizatoriaus kietėjimo pradžios laikas (laikas iki drebučių susidarymo pradžios) ir kietėjimo greitis nurodomas dervos techniniuose dokumentuose.

Gaminant stiklaplastį gali būti naudojamos pagalbinės medžiagos – užpildai, įvairūs priedai, pigmentai. Užpildai mažina kietėjančio stiklaplasčio traukimąsi, gerina išvaizdą, todėl sumažėja jo kaina. Paprastai kaip užpildai naudojami maltas kvarcas, žėručio milteliai,

talkas, maltas grafitas, gipsas, kaolinas, kreida, dolomitas. Užpildai naudojami smulkiai sumalti, jie pasižymi maža absorbcine galia ir neturi įtakos dervai kietėti. Kaip priedai dažniausiai naudojami vadinamieji tiksotropiniai priedai – metalų (chromo, geležies, cinko) oksidai. Toks priedas įterpiamas į poliesterinę dervą, kai reikia sumažinti jos takumą arba laikinai sustabdyti tekėjimą vertikaliu paviršiumi. Kaip dažantys priedai dažniausiai naudojami geležies, chromo, titano, cinko ir kiti oksidai. Norint nudažyti stiklaplasčio gaminį balta spalva, įmaišoma 10–14 % titano oksido, dažant kitomis spalvomis dedama 1–5 % oksidų.

Dirbiniai iš stiklaplasčio gali būti gaminami rankiniu ir automatinu būdu. Kai gaminama rankiniu būdu, dirbinys formuojamas rankiniu velenėliu ant reikiamos formos modelio. Formos paviršius turi būti padengtas antiadhezine plėvele, polivinilo alkoholiu ar techniniu vazelinu. Proceso metu dirba du darbininkai. Vienas darbininkas purškia medžiagas purkštuvu, kitas voleliu tolygiai paskirsto žaliavas ant formos (4.16 pav.).

4.16 pav. Stiklaplasčio formavimas rankiniu būdu: kairėje – purškiamas kapoto stiklo pluoštas; dešinėje – voleliais lyginama masė

Purškiama ir voluojama vienu metu apie 10 min. Baigus purkšti dar 15–20 min. užpurkšta medžiaga voluojama ir lyginama. Nuo volavimo kokybės priklauso gaminio sienelės storis, o sienelės storis lemia gaminio stiprį ir kokybę. Todėl šio proceso metu yra labai svarbu padengti formą vienodo storio sluoksniu. Kietėjančio dirbinio

forma pakartotinai išlyginama velenėliu. Po 2 val. gaminys įgauna pradinį stiprį ir nuimamas nuo formos. Formos galvutėje yra pragręžta anga kompresoriaus žarnai, iš jos ir tiekiamas oras, kuris padeda atskirti suformuotą gaminį nuo formos paviršiaus. Gaminys sukietėja per 48 val., tačiau jau po 2 h pradinis stipris yra pakankamas, kad gaminys galėtų būti naudojamas kitose technologinės operacijose.

Kontaktiniu rankiniu būdu pagamintų dirbinių kokybė priklauso nuo prispaudimo ir išlyginimo operacijų, kurios atliekamos rankiniu būdu. Dėl blogo prispaudimo gali susidaryti oro tarpų, gali būti nevienodas dirbinio storis, taip pat tokių dirbinių stipris irgi gali būti mažesnis, nei formuojant automatinio būdu.

Cilindrinės formos detalės gaminamos automatinio vyniojimo būdu. Stiklo pluoštai, iš anksto įmirkyti polimere, automatinio būdu vyniojami ant dirbinio formos (4.17 pav.). Labiausiai paplitusios spiralinė ir skersinė pluošto vyniojimo schemas. Pluošto juosta vyniojama spirale dirbiniui sukantis ir išilgai į abi puses judant pluošto juostos vyniojimo laikikliui. Vyniojant pluoštą skersai į vieną ir į kitą pusę dirbinys maksimaliai sustiprinamas.

Šiuo būdu pagaminti gaminiai yra aukštesnės kokybės, nes formuojant stiklaplastį gaunama mažesnė matmenų paklaida, tolygus sienelės storis, lengviau prognozuojamos kompozitinės medžiagos

4.17 pav. Stiklaplasčio formavimas automatinio būdu:
kairėje – stiklo pluošto įmirkymas dervoje;
dešinėje – įmirkytų pluoštų vyniojimas ant formos

savybės: tempimo ir gniuždymo stipris. Šios technologijos privalumai: racionalus žaliavų naudojimas, mažesnės darbo sąnaudos, automatizuotas procesas, mažesni medžiagų nuostoliai lyginant su rankiniu gamybos būdu. Tačiau gaminant, pavyzdžiui, talpyklas, naudojamas ir rankinis, ir automatinis formavimo procesai, nes talpyklos cilindras gali būti pagamintas automatinio būdu, o jos šonai, kojelės, prijungimo vietos – rankiniu būdu.

Gaminant automatinio būdu derva ir kietiklis siurbliu pumpuojami iš talpyklų. Skystos žaliavos žarnomis patenka į purkštuvą, jame derva ir kietiklis dozuojami pagal nustatytas proporcijas. Dozuoti skysčiai tiekiami į purkštuvo galvutę, kurioje yra tolygiai sumaišomi ir visa sumaišyta masė purškiama į dervos vonelę. Sumaišytos skystos medžiagos pradeda kietėti po 35–45 minučių. Taigi maišymo ir automatinis vyniojimo procesas negali trukti ilgiau, nei ši nurodyta trukmė.

Stiklo pluošto gijų kiekis yra parenkamas priklausomai nuo gaminio matmenų ir paskirties. Kuo didesni stiprio reikalavimai keliama gaminiui, tuo gijų skaičius turi būti didesnis. Dažniausiai parenkamų gijų skaičius yra 40–50 vnt. Iš ritinėlių stiklo pluošto gijos surinkimo įrenginiu surenkamos į pluoštą. Prieš mirkant dervoje, pluošto gijos įtempiamos įtempimo įrenginiu. Paskui surinktas pluoštas mirkomas vonelėje, dervos ir kietiklio mišinyje. Išmirkytas stiklo pluoštas vyniojamas ant paruoštos formos. Formos skersmuo parenkamas, priklausomai nuo reikiamų gaminio matmenų. Įvairių skersmenų gaminio formos laikomos gamyklos sandėlyje, o iš ten atvežamos ir užkeliamos ant automatinio vyniojimo įrenginio. Paruošus vyniojimo pagrindą ir žaliavas pradedamas vyniojimo procesas. Pradžioje paruošto stiklo pluošto gijos įtvirtinamos formoje. Technologinio proceso metu cilindrinė forma sukasi pagal laikrodžio rodyklę, o vežimėlis su stiklo pluoštu ir dervos vonele juda horizontaliai į kairę ir į dešinę reikiamu atstumu. Vyniojant skersiniu būdu, skersavimo kampas, tankumas ir vyniojimo intervalai parenkami priklausomai nuo gaminio paskirties. Stiklo gijų išdėstymas lemia gaminio stiprio savybes. Cilindrinis gaminio korpusas, priklausomai nuo eksploatavimo metu veikiančių apkrovų, gali būti gaminamas skir-

tingo sienelės storio. Sienelės storis svyruoja nuo 8 iki 16 mm. Tose vietose, kur apkrova yra didžiausia, stiklaplastis yra storesnis negu kitur, ir atvirkščiai, kur apkrovos mažesnės, sienelės storis projektuojamas mažesnis. Gaminant kiekvieną gaminį atskirai ir atsižvelgiant tik į jam būdingas savybes, taupomos žaliavos, taip pat gaunamas individualus ir ypač kokybiškas gaminys.

Medžiagos vyniojimas ant paruoštos formos dažniausiai trunka iki 30 minučių, nes po tam tikro laiko prasideda mišinio kietėjimo reakcija. Kietėjimo pradžia priklauso nuo kietiklio savybių. Gaminant ypač didelių matmenų gaminį, vyniojimo procesas užtrunka ilgiau, nei gaminant įprastų matmenų produkciją. Tada parenkamas toks kietiklis, kurio kietėjimo pradžia yra vėliau nei po 40 minučių.

Apvyniojus formą išmirkytomis gijomis, atliekama paskutinė vyniojimo proceso operacija – vyniojamos standumo briaunos. Jos vyniojamos stačiu kampu 1–1,7 m atstumu viena nuo kitos. Standumo juostos plotis varijuoja 50–100 mm. Standumo briaunos eksploatavimo metu suteikia gaminiiui papildomą stiprį.

Suformuotą stiklaplasčio gaminio cilindrą reikia išlaikyti 2 h ant formos, kad kompozitas įgautų pradinį stiprį ir jį būtų galima apdoroti. Pasibaigus laikymo trukmei, gaminys ištraukiamas iš formos ir kranu nukeliamas ant specialių stovų į tą vietą, kur cilindras apdorojamas rankiniu būdu. Rankinį apdorojimą sudaro keletas operacijų: nereikalingo stiklo plastiko apipjaustymas, šlifavimas, reikalingų skylių gręžimas. Automatinio būdu pagamintame cilindre išpjaunamos kiaurymės, įklijuojamos papildomos detalės; jei gaminamos talpyklos, tai cilindras sujungiamas iš anksto pagamintomis talpyklos kraštinėmis sienelėmis.

Automatinio formavimo būdu dažniausiai gaminami stiklaplasčio vamzdžiai, priešgaisrinės talpyklos, naftos produktų ar riebalų atskirtuvai (4.18 pav.).

Iš stiklaplasčio gaminami profiliai, kuriais armuojamos konstrukcijos arba jie naudojami medžiagų sluoksniams sujungti. Profiliai gaminami pultruzijos (ang. *pultrusion*) būdu (4.19 pav.). Ši gamyba – tai nenutrūkstamas procesas, kurio metu stiklo pluošto gijos

4.18 pav. Stiklaplasčio gaminių vaizdai: kairėje – vamzdžiai; dešinėje – talpyklos

impregnavimo vonioje impregnuojamos termoreaktyvinėmis dervomis. Dervos perteklius nuo pluošto nuspaudžiamas, pluoštas patenka į formavimo kamerą, kurioje suformuojami ištisiniai profiliai. Profilių kietinimo procesas vyksta terminio apdorojimo kameroje, kurioje dervos sukietinamos.

Suformuotas stiklaplasčio profilis aušinamas ir supjaustomas į reikiamo ilgio strypus. Gamybinės linijos greitis gali siekti 7,6 m/min. Tam, kad profiliai būtų atsparesni ultravioletiniams saulės spinduliams ir aplinkos poveikiams, jų paviršius padengiamas papildomu pluoštu.

4.19 pav. Stiklaplasčio profilių principinė gamybos schema: 1 – stiklo gijų ritės; 2 – impregnavimo derva vonia; 3 – formavimo ir susukimo kamera; 4 – terminio apdorojimo kamera; 5 – aušinimo kamera; 6 – tempimo ir transportavimo įrenginys; 7 – pjautymo įrenginys; 8 – impregnuotas stiklo pluoštas; 9 – stiklo pluošto surinkimo įrenginys

Iš stiklaplasčio profilių statyboje naudojami strypai, kurių paviršius gali būti lygus arba grublėtas, padengtas užpildo dalelėmis, su įdubomis ar raizytas (4.20 pav.). Aprašytu būdu pagamintų profilių skersmuo gali būti iki 7,62 cm.

4.20 pav. Stiklaplasčio strypų vaizdas

Anglies pluoštu armuoti plastikai CRP, CFRP yra labai lengvos kompozitinės medžiagos, pasižyminčios labai dideliu stipriu, kurių tankis 1450 kg/m^3 . Šios medžiagos naudojamos rečiau nei stiklaplasčiai dėl didelės kainos. Kaip ir kitų pluoštais armuotų kompozitų, šio kompozito savybės priklauso nuo naudojamos matricos medžiagos. Kaip matrica gali būti poliesterinės ar kitos dervos.

Anglies pluoštas gaunamas termiškai – $1000\text{--}3000^\circ\text{C}$ temperatūroje apdorojant sintetinius ar gamtinius organinius pluoštus (poliakrilonitrilinius, viskozinius). Kai apdorojimo temperatūra mažesnė nei 1000°C , tokioje medžiagoje yra 85–90 % anglies, kai temperatūra $1000\text{--}1500^\circ\text{C}$, medžiagoje yra 95–99 % anglies, kai temperatūra siekia $1500\text{--}3000^\circ\text{C}$, medžiagoje yra daugiau nei 99 % anglies. Anglies gijos labai plonos, jų skersmuo $0,005\text{--}0,01 \text{ mm}$ (4.21 pav.). Sulaužyti jas lengva, tačiau nutraukti labai sunku. Gaminant anglies pluoštą poliakrilonitrilo ar viskozinis pluoštas oksiduojamas 250°C temperatūroje 24 h. Po to vyksta karbonizacijos procesai: plaušai kaitinami $800\text{--}1500^\circ\text{C}$ temperatūroje azoto ar argono aplinkoje. Po karbonizacijos gaunamos grafito struktūros. Termiškai apdorojama $1600\text{--}3000^\circ\text{C}$ temperatūroje inertinėje aplinkoje. Pluoštui gaminti gali būti naudojamas ir pluoštas iš fenolinių dervų, lignino, akmens

4.21 pav. Padidintas anglies pluošto vaizdas
(poliakrilnitrilinis pluoštas)

anglies smėlio frakcijos. Aukšta pluošto savikaina priklauso nuo sudėtingo gamybos proceso ir didelės žaliavų kainos.

Paprastai iš anglies gijų yra audžiami audiniai. Kad audinys būtų stipresnis, gaminant kompozitus jis dedamas sluoksniais, kurie tvirtinami dervomis. Audinys dedamas ant muilu, vašku ar kita nelimpančia medžiaga suteptos formos. Kiekvienas sluoksnis pasukamas tam tikru kampu ir tik tada dedamas ant prieš tai buvusio sluoksnio.

Gaminant anglies pluoštu armuotus plastikus, taikomas vakuumavimo procesas. Vakuumuojant iš derva sujungtų anglies pluoštų lengviau pašalinamas oras ir dervos likučiai. Oro burbuliukai gali bloginti gaminio kokybines charakteristikas. Vakuumuojama vakuumo maišuose ir / ar autoklavuose. Kai kurių dervų polimerizacija vyksta terminio apdorojimo metu. Anglies plaušu armuotų kompozitų gamybos procesas yra imlus rankiniam darbui, o gamybos našumas nedidelis. Gaminant vamzdžius ar kitus cilindrinės formos gaminius, forma padengiama anglies pluošto ar audinio juostomis sukimo būdu.

Anglies pluoštu stiprinamos betono, mūro, plieno, ketaus ir medienos konstrukcijos. Konstrukcijos sustiprinamos apklijuojant anglies pluošto audiniu. Iš anglies pluošto pagaminta armatūra gali būti naudojama įtemptojo betono gaminiams, kurie naudojami agresyviomis sąlygomis. Anglies pluoštu armuoti plastikai yra neatsparūs taškiniams daugkartiniams smūgiams, jie blunka saulėje.

Literatūra

- Balandis, A.; Kaminskas, R.; Vaickelionis, G. 2006. *Statybinių medžiagų chemija*, III dalis. *Organinių statybinių medžiagų chemija*. Kaunas: Technologija. 79 p.
- Bareišis, J.; Tričys, V. 2003. *Polimerų ir kompozitų mechanika*. Šiauliai: VŠĮ Šiaulių universiteto leidykla. 258 p.
- Gailius, A.; Vėjelis, S. 2010. *Termoizoliacinės medžiagos ir jų gaminiai*. Vilnius: Technika. 170 p.
- Kamaitis, Z. 2000. *Gelžbetoninių konstrukcijų pleišėjimas ir remontas*. Vilnius: Technika. 168 p.
- Klyosov, A. 2007. *Wood-plastic composites*. Wiley-Interscience. 239 p.
- LST EN 13163:2003. *Statybiniai termoizoliaciniai gaminiai. Gamykliniai polistireninio putplasčio (EPS) gaminiai. Techniniai reikalavimai*. Vilnius: Lietuvos standartizacijos departamentas. 2003. 38 p.
- LST EN 13164:2004. *Statybiniai termoizoliaciniai gaminiai. Gamykliniai ekstruzinio polistireninio putplasčio (XPS) gaminiai. Techniniai reikalavimai*. Vilnius: Lietuvos standartizacijos departamentas. 2004. 33 p.
- ST 124555837.01:2005. *Atitvarų šiltinimas polistireniniu putplasčiu. Putų polistirolo gamintojų ir vartotojų asociacija*. Vilnius, 2005. 144 p.
- Strazdas, K.; Eidukevičius, J. 1985. *Mineralinis ir stiklo pluoštas*. Vilnius: Mokslas. 222 p.
- Šniuolis, R. 2004. *Inžinerinės medžiagos*. Šiauliai: Lucilijus. 255 p.
- Žemaitaitis, A. 2001. *Polimerų fizika ir chemija*. Kaunas: Technologija. 567 p.

Olga KIZINIEVIČ, Ramunė ŽURAUSKIENĖ

INOVATYVIOS POLIMERINĖS STATYBINĖS MEDŽIAGOS IR DIRBINIAI
Mokomoji knyga

Redaktorė Nijolė Žuvininkaitė
Maketuotoja Loreta Urbanavičienė

2012-05-08. 4,67 aut. l. Tiražas 120 egz.

El. versija pagal leidinio identifikatorių doi:10.3846/1281-S

Vilniaus Gedimino technikos universiteto

leidykla „Technika“, Saulėtekio al. 11, 10223 Vilnius

<http://leidykla.vgtu.lt>

Spausdino UAB „Ciklonas“, J. Jasinskio g. 15, LT-0111 Vilnius