

RĪGAS TEHNISKĀ UNIVERSITĀTE

Remo MERIJS MERI

HETEROGĒNI POLIETILĒNTEREFTALĀTA,
POLIOLEFĪNU UN ELASTOMĒRU
KOMPOZĪTI

Promocijas darba kopsavilkums

Rīga 2006

**PROMOCIJAS DARBS IZVIRZĪTS
RĪGAS TEHNISKAJĀ UNIVERSITĀTĒ
INŽENIERZINĀTŅU DOKTORA
GRĀDA IEGŪŠANAI**

Promocijas darbs inženierzinātņu doktora grāda iegūšanai tiek publiski aizstāvēts 2006. g. 28. martā Rīgas Tehniskās universitātes Materiālzinātnes un lietišķās ķīmijas fakultātē, Āzenes ielā 14/24, 271. auditorijā.

OFICIĀLIE OPONENTI

Profesors, Dr. habil. sc. ing. Gundars Mežinskis
Rīgas Tehniskā universitāte

Profesors, Dr. habil. phys. Juris Tīliks
Latvijas Universitāte

Dr. chem. Bruno Andersons
Koksnes ķīmijas institūts

APSTIPRINĀJUMS

Es apstiprinu, ka esmu izstrādājis doto promocijas darbu, kas iesniegts izskatīšanai Rīgas Tehniskajā universitātē inženierzinātņu doktora grāda iegūšanai. Promocijas darbs nav iesniegts nevienā citā universitātē zinātniskā grāda iegūšanai.

Remo Merijs Meri

Datums:

Promocijas darbs ir uzrakstīts latviešu valoda, satur ievadu, literatūras apskatu (2 nodaļas), metodisko daļu, eksperimentālo daļu (8 nodaļas), secinājumus un izmantotās literatūras sarakstu. Saturs izklāstīts uz 134 lapaspusēm. Darbs satur 105 attēlus, 23 tabulas un izmantotās literatūras sarakstu, kas ietver 176 literatūras avotus.

DARBA VISPĀRĪGS RAKSTUROJUMS

Viens no efektīviem un atzītiem jaunu termoplastisku polimēru materiālu dizaina principiem ir zinātniski pamatota savietotu polimēru sistēmu - *maisījumu* - izveide.

Pēdējos gados, līdzās polimēru ražošanas apjomu palielinājumam, ievērojams daudzums termoplastisku polimēru nonāk atkritumos. ES polimēru atkritumu gada apjoms tuvojas 30 Mt, Latvijā - vienam Mt. Polimēru iepakojuma atkritumu klāstā, nozīmīgu vietu ieņem polietilēntereftalāts (PET), kura sintēzes apjomi jau kopš 2000. gada nemitīgi pieaug. Nolietotā plastmasas iepakojuma reciklēšanas apjomi vēl joprojām ir zemi. Lielākā daļa ES valstu, to vidū arī Latvija, ir tālu no ES mērķu sasniegšanas iepakojuma reciklēšanas jomā. Šajā sakarā ir nepieciešami jaunu efektīvu PET reciklēšanas veidu meklējumi.

Šobrīd polimēru reciklēšana galvenokārt notiek vai nu noārdot polimēra makromolekulas līdz praktiski izmantojamiem monomēriem vai oligomēriem (ķīmiskā reciklēšana), vai nu atdalot atšķirīgos polimērus no atkritumu plūsmas un pārstrādājot atdalīto polimēru ar tradicionālām plastmasas pārstrāžu metodēm (mehāniskā reciklēšana). Ņemot vērā, ka polimēru atkritumu plūsmā līdzās PET ir arī poliolefīni (galvenokārt polietilēns un polipropilēns), īpašu interesi izraisa pētījumi maisījumu jomā, kas satur tieši šos polimērus.

Mērķtiecīgi veidojot PET un poliolefīnu maisījumus, būtu iespējams ne vien būtiski paplašināt termoplastu ekspluatācijas un tehnoloģisko īpašību spektru, bet arī radīt priekšnoteikumus efektīvai PET un citu polimēru reciklēšanai.

Darba mērķis bija veidot bināras PET kompozīcijas ar poliolefīniem - polipropilēnu (PP), augsta blīvuma polietilēnu (ABPE), zema blīvuma polietilēnu (ZBPE) - un elastomēriem - etilēna-oktēna kopolimēru (EOK) un etilēna-propilēna-diēna trīskāršo kopolimēru (EPDM) — plašā komponentu sastāva diapazonā, veikt šo kompozīciju struktūras un īpašību pētījumus, noskaidrot struktūru raksturojošo parametru saistību ar kompozītu stiprības-deformācijas, siltumdeformatīvo, reoloģisko un citu īpašību rādītājiem. Pētījumu uzdevums bija noskaidrot iespēju uzlabot mijiedarbību starp maisījuma komponentiem, izmantojot kompatibilizatoru (savietojamības uzlabošanas aģentu) - piepotētu polipropilēna-maleīnskābes anhidrīda kopolimēru -, kā arī izmantojot jonizējošo starojumu

Darba **zinātniskā novitāte**. Pirmo reizi veikts komplekss pētījumu cikls, kurā par izpētes objektu izraudzītas bināras, kristalizēties spējīgu polietilēntereftalātu saturošas, heterogēnas sistēmas (maisījumi). Par šo sistēmu otro komponentu mērķtiecīgi tika izraudzīti kristalizēties spējīgi poliolefīni (PP, ABPE, ZBPE), kā arī divi praktiski amorfi olefīnu kopolimēri ar elastomēru īpašībām (EOK, EPDM).

Pierādīts, ka, neraugoties uz komponentu izteiktu nesavietojamību un krasām reoloģisko īpašību atšķirībām (dažādu kausējuma viskozitātes atkarību no temperatūras un bīdes ātruma), termoplastiskas savietošanas procesā iespējams iegūt stabilus maisījumus visā komponentu sastāvu diapazonā.

Morfoloģijas pētījumi parādīja, ka maisījumu uzbūve ir pietiekami sarežģīta un iegūt tiešu informāciju par norisēm, kas notiek uz starpfāžu virsmas un iespējamā robežslānī ar tradicionālām mūsu rīcībā esošām metodēm (infrasarkanā spektroskopija (ISS), skanējošā elektronmikroskopija (SEM), optiskā mikroskopija (OM), diferenciālā skanējošā kalorimetrija (DSC), dinamiski mehāniski-termiskā analīze (DMTA) u.c.) ir problemātiski. Tāpēc vispirmām kārtām šim nolūkam sekmīgi tika izmantots īslaicīgo un ilglaicīgo stiprības-deformācijas īpašību un siltumdeformatīvo īpašību novērtēšanas metožu komplekss, kas deva integrētu informāciju gan par visu sistēmu kopumā, gan par starpfāžu norisēm. Tajā pašā laikā šie dati ļauj izvērtēt pētāmo sistēmu ekspluatācijas kvalitāti.

Maisījumu modelēšana ar adhēzijas savienojumu palīdzību ļāva novērtēt mijiedarbības līmeni starp maisījuma komponentiem.

Pētītās PET saturošās multifāzu sistēmas, atkarībā no otrā bāzes komponenta dabas un satura, kā arī kompozīcijas modificēšanas paņēmiena, veido termoplastisku materiālu grupu ar visai plašu iespējamo īpašību raksturojošo rādītāju spektru. No šo kompozīciju klāsta iespējams izvēlēties materiālu ar konkrētai **praktiskās izmantošanas** jomai nepieciešamo stiprības-deformācijas īpašību rādītāju kopumu. Visas pētītās PET kompozīcijas ir izteikti termoplastiskas ar tādām kausējumu reoloģiskajām īpašībām, kas ļauj tās pārstrādāt un reciklēt ar tradicionālajām tennoplastu pārstrādes metodēm: spiedliešanu, ekstrūziju u.c. PET saturošās kompozīcijas izmantojamas visplašākā izstrādājumu klāsta izgatavošanai. To vidū mašīnbūves elementi, ierīču un aparātu korpusu detaļas, taras un iepakojuma izstrādājumi, būvniecības izstrādājumi, sadzīves priekšmeti, termonosēdizstrādājumi u.c. PET maisījumu veidošanas koncepcija ir tieši izmantojama PET izstrādājumu otrreizējai pārstrādei.

Darba rezultātu apspriešana. Par darba svarīgākajiem rezultātiem ziņots 25 starptautiska mēroga konferencēs un zinātniskos semināros Vācijā (Kaselē, Karlsruē), Šveicē (Lozannā), Lietuvā (Kauņā, Nidā), Igaunijā (Tallinā) un Latvijā (Rīgā, Jūrmalā).

Publikācijas. Svarīgākie darba zinātniskie rezultāti izklāstīti vairāk nekā 30 publikācijās; no tām 24 svarīgākās minētas kopsavilkumā.

PĒTĪJUMU METODIKA

Izejmateriāli, maisījumu iegūšana un modificēšana

Pētījumos par bināro maisījumu komponentiem tika izmantoti sekojoši polimēri: *polietilēntereftalāts (PET, Polyclear T-86, Hoechst; paredzēts dzērienu pudeļu izgatavošanai)*, *poliolefīni*: polipropilēns (PP, Stamylan P 17M10, DSM,), augsta blīvuma polietilēns (**ABPE**, Lupolen 6031M, BASF AG, paredzēts spiedliešanai), zema blīvuma polietilēns (**ZBPE**, Lupolen 1800S, BASF AG, paredzēts spiedliešanai), *elastomēri*: etilēna-oktēna kopolimers (**EOK**, Engage 8200, DuPont Dow Elastomers GmbH), etilēna-propilēna-diēna trīskāršais kopolimers (**EPDM**, EPDM 40, Nizhnekamsk Neftehim). Kā kompatibilizators tika izmantots polipropilēns ar tā makromolekulām piepotētu maleīnskābes anhidrīdu (**PPgMA**, Licomont AR504, Clariant GmbH).

Maisījumi PET-polioleffins un PET-elastomērs iegūti plašā izejas komponentu sastāva diapazonā (10, 30, 50, 70, 80, 85, 90, 95 PET m. %), izmantojot *Haake Rheomex PTW 25/32* ko-rotējošu divgliemežu ekstrūderi-maisītāju (apsildes zonu skaits - 7; gliemežu maksimālais rotācijas ātrums - 400 apgr. /min.; maksimālā temperatūra - 400 °C; ražība - 15 kg/h; gliemežu diametrs (*D*) - 25 mm; garums (*L*) - 800 mm, $L/D = 32$.)

Paraugi stiepes, *Šarpi* triecienizturības bez iegriezuma, mikrocietības, kalori metrisko un morfoloģisko īpašību pētījumiem izgatavoti ar spiedliešanu, izmantojot vertikālo liešanas mašīnu *LM*. PP, ABPE, ZBPE un EOK paraugu izgatavošana notika pie cilindra temperatūras 180, 150, 120 un 80 °C; PET un visu kompozīciju spiedliešana tika veikta pie 270 °C. Formas temperatūra - 60 °C.

Paraugi lieces, kalorimetrisko, reoloģisko īpašību un struktūras, kā arī adhēzijas pētījumiem izgatavoti, presējot 40 t hidrauliskā presē *PHM* ar apakšējo piedziņu. PP, ABPE, ZBPE un EOK presēšana tika veikta pie 180, 150, 120 un 80 °C. PET un visu kompozīciju presēšana notika 270 °C temperatūrā. Presēšanas laiks, atkarībā no paraugu biezuma, nepārsniedza 1 - 4 min., presēšanas spiediens - 50 kg/cm². No izgatavotajām plāksnītēm tika izcirsti paraugi attiecīgo īpašību pētījumiem.

Adhēzijas savienojumu paraugi PET/ABPE, PET/ZBPE, PET7EOK, PET/PP un PET/PP/PPgMA izgatavoti presējot: kontaktēšanas spiediens - 20 kg/cm²; kontaktēšanas laiks - 2, 10, 30, 120, 240 un 300 s.

Radiācijas modificēšanai, apstarojot līdz dažādām absorbētajām dozām, izmantots PXM- γ -20 Co⁶⁰ starojuma avots ar jaudu 2,4 kGy/stundā. Absorbētās dozas: 10, 50, 100, 150, 200, 300 kGy. Starošana notika gaisa un slāpekļa vidē 50 °C temperatūrā.

Stiprības-deformācijas rādītāju noteikšana

Paraugu *stiepes* īpašības (elastības modulis E , tecēšanas robežspriegums σ_T tecēšanas deformācija ϵ_T , sagraušanas robežspriegums σ_S , sagraušanas deformācija ϵ_S) noteiktas saskaņā ar LVS EN ISO 527, izmantojot universālo materiālu pārbauci iekārtu UTS 100: deformēšanas ātrums, nosakot E - 1 mm/min.; deformēšanas ātrums, nosakot pārējos stiepes parametrus - 50 mm/min. Papildus tika noteikts īstenais sagraušanas spriegums σ_S - un īpatnējais stiepes sagraušanas darbs A_T .

Paraugu *lieces* īpašības (elastības modulis E_L , maksimālais spriegums σ_{LM} , deformācija pie maksimālā sprieguma ϵ_{LM}) noteiktas saskaņā ar LVS EN ISO 178, izmantojot universālo materiālu pārbauci iekārtu UTS 100. Deformēšanas ātrums - 1 mm/min.

Divslāņu *adhēzijas* paraugu atslāņošanas spēks F_A noteikts saskaņā ar ISO 11339, izmantojot universālo materiālu pārbauci iekārtu UTS 100. Testēšanas parametri: paraugu platums 10 mm, paraugu garums 80 mm, paraugu biezums - 0,5 mm, deformēšanas ātrums - 50 mm/min.

Paraugu *trieciena* īpatnējais sagraušanas darbs A_T pēc *Šarpī* bez iegriezuma noteikts saskaņā ar LVS EN ISO 179, izmantojot *Zwick 24* materiālu pārbauci iekārtu. Testēšanas parametri: vesera enerģija - 2 J; temperatūra: +24 °C un -100 °C.

Paraugu *šķūde stiepes režīmā* novērtēta uz šķūdes stenda atbilstoši LVS EN 899-1. Piekārtu atsvaru masa tika izvēlēta ar tādu aprēķinu, lai lineāro izmēru izmaiņas notiktu ideāli elastīgās deformācijas apgabalā. Testēšanas temperatūra 20°C.

Kompozīciju *mīkstapšanas* temperatūra (pēc *Vika*) noteikta saskaņā ar LVS EN ISO 306, izmantojot *FWV R 51/72 Vika* aparātu. Eksperimenta parametri: sildīšanas ātrums - 50 °C/stundā; slodzes lielums - 10 N.

Bāzes komponentu un maisījumu kompozīciju *termosarukuma* īpašības (termorelaksācijas spriegumi σ_{TR} un termosarukuma spriegumi σ_{TS}) noteiktas speciālā termostatējamā spriegumu mērīšanas iekārtā izometriskā sildīšanas un dzesēšanas režīmā. Testējamo paraugu izmēri - 15 x 8 x 0,4

mm; sildīšanas ātrums - 1°C /min; dzesēšanas ātrums - 10°C /min;
tenzodevēju jutība-0,01 N.

Kausējumu teoloģisko īpašību noteikšana

Polimēru maisījumu kausējumu efektīvā *viskozitāte* η un *kompleksais bīdes modulis* G^* statiskā un dinamiskā režīmā noteikts, izmantojot "konuss-plakne" tipa reoloģijas iekārtu ПИРСП-03. Izmantots konuss ar 6° leņķi un 20 mm rādiusu. Eksperiments veikts dažādās temperatūrās (125 °C, 150 °C, 200 °C, 270 °C un 280 °C) pie dažādiem bīdes ātrumiem (10^{-4} - 10^{-1} s⁻¹).

Kompozīciju *kausējuma indekss* K noteikts saskaņā ar LVS EN ISO 1133, izmantojot ИИРТ - AM iekārtu. Kausējuma indekss tika noteikts pie 270, 255, 250, 190 °C un 2,16 kg slodzes.

Struktūras pētījumi

Dažādu maisījumu kompozīciju *morfoloģija* noteikta, pētot paraugu lūzuma virsmas struktūru ar *CamScan MV2300* skanējošo elektronmikroskopu. Pētījumu objekts: šķidrā slāpekļa temperatūrā vai istabas temperatūrā triecienā sagrautu paraugu sagraušanas virsma. Atsevišķi PET maisījumu paraugi kodināti virstošā toluolā (PET/ABPE, PET/ZBPE, PET/EOK, PET/PP un PET/PP/PPgMAH) un tetrahlorogleklī (PET/EPDM) pie 111 un 77 °C.

Atslāņoto adhēzijas savienojumu *virsmas struktūra* noteikta, izmantojot *Leica Wild M 420* digitālo atstarojošās gaismas mikroskopu pie 20 kārtīga palielinājuma.

Bāzes komponentu un maisījuma kompozīciju *IS spektri* uzņemti, izmantojot *SPECORD 75* spektroskopu pilnā apgriezto viļņu garumu diapazonā: 400-4000 cm⁻¹.

Telpiski šķērssaistītā makromolekulu daļa apstarotajos paraugos (gelfrakcija) noteikta, ekstrahējot *Soksleta* aparātā, par šķīdinātāju izmantojot toluolu (ABPE, ZBPE, EOC, PP) vai tetrahloroglekli (EPDM).

Kompozīciju blīvums p spirtā noteikts saskaņā ar LVS EN 1183 A, izmantojot ar *Sartorius YDK 01* blīvuma noteikšanas iekārtu aprīkotus *Sartorius KB BA 100* elektroniskos svarus ar precizitāti līdz piektajai zīmei.

Bāzes komponentu un maisījumu kompozīciju *kalorimetriskās īpašības* (stiklošanās temperatūra T_{st} aukstās kristalizācijas temperatūra T_{ak} , kušanas sākuma temperatūra $T_{kuš-on}$, kušanas maksimālo temperatūra $T_{\Delta s}$, kušanas beigu temperatūra $T_{kuš-of}$, kristāliskuma pakāpe χ) noteiktas saskaņā ar EN ISO 11357, izmantojot *Mettler Toledo DSC 30* diferenciālo skanējošo kalorimetru. Testēšanas parametri: režīms - sildīšana-dzesēšana-sildīšana;

pirmās sildīšanas intervāls - +25 °C - +300 °C; dzesēšanas intervāls - +300 °C - -100 °C; otrās sildīšanas intervāls - -100 °C - +300 °C; sildīšanas ātrums - 10 °C/minūtē; dzesēšanas ātrumi - 100 °C/minūtē (ātrā dzesēšana) un 10 °C/min (lēnā dzesēšana); nesējgāze - slāpekļis; parauga aptuvenā masa- 10 mg.

PET kristāliskuma gradients tika novērtēts, noņemot secīgus 100 μ biežus slāņītus, un pēc tam uzņemot to termogrammas temperatūru intervālā no +25 °C līdz +300 °C.

Struktūrdeformatīvo īpašību pētījumi

Bāzes komponentu un maisījumu kompozīciju *dinamiski mehāniskās īpašības* vērpē (*bīdes* uzkrājuma modulis G_v , logaritmiskais dekrement $\lg \Delta$, kā arī raksturīgās a , a' un p pārejas temperatūras) brīvo svārstību režīmā noteiktas saskaņā ar EN ISO 6721-2, izmantojot *Zwick 5201* materiālu pārbaudes iekārtu. Testējamo paraugu izmēri - 10 x 60 x 1mm; temperatūras diapazons —50 - +150 °C; sildīšanas ātrums - 1 °C/min.

Bāzes komponentu un maisījumu kompozīciju *dinamiski mehāniskās īpašības* liecē (*lieces* uzkrājuma modulis E' lieces zudumu modulis E'' , zudumu koeficients $\tan \delta$, stiklošanās temperatūra T_{st}) piespiedu svārstību režīmā noteikta saskaņā ar EN ISO 6721-3, izmantojot *TA Instruments Q* materiālu pārbaudes iekārtu. Testēšanas parametri: paraugu izmēri: 10x35x1 mm; piespiedu svārstību frekvenču diapazons - 0,1, 1, 10 Hz; temperatūras diapazons - -100 - +100 °C; sildīšanas ātrums 3 °C/min.

Izejas komponentu un maisījumu kompozīciju universālā mikrociētība H_w , plastiskā mikrociētība H_{Upb} , mikrospiedes modulis E_{Hw} , iespiešanas darbs A_{Hu} (sastāvošs no plastiskās A_{pl} un elastīgās A_e komponentes) un īslaicīgā mikrociētības šļūde noteikta saskaņā ar EN ISO 14577, izmantojot *Fischerscope 100* ciētības mērīšanas iekārtu. Testēšanas parametri: slodze - 500mN; slodzes pielikšanas veids - automātisks; slodzes izturēšanas laiks - 60 s.

REZULTĀTI UN TO IZVĒRTĒJUMS

Darba eksperimentālajā daļā detalizēti izvērtēti vairāku PET saturošu heterogēnu polimērsistemu struktūras raksturojumi (morfoloģija, blīvums, kristāliskuma pakāpe, tukšumu saturs u.c.) un to saistība ar mikro- (mikrociētība un citi mikrodeformatīvie parametri) un makro- deformatīvo īpašību (statiskā un dinamiskā stiepe un liece, triecienizturība, šļūde), reoloģisko, siltumdeformatīvo īpašību rādītājiem. Pētīta īpašību atkarība no maisījumu sastāva, modificēšanas veida (*in situ* un radiācijas modificēšana), kā arī iegūšanas tehnoloģiskajiem režīmiem.

Kompleksi pētīti polietilēntereftalāta (PET), poliolefīnu (augsta blīvuma polietilēns, ABPE un zema blīvuma polietilēns, ZBPE) un elastomēru (etilēna-oktēna kopolimēra, EOK un etilēna-propilēna-diēna terpolimēra, EPDM) polimērkompozīti. Noskaidrota kompozītu sastāva, iegūšanas apstākļu un modificēšanas veida ietekme uz kompozītu struktūru un īpašības raksturojošiem rādītājiem.

PET saturošo maisījumu struktūra un svarīgākās īpašības tika noteiktas plašā komponentu attiecību diapazonā, kas ļāva pilnā mērā izvērtēt sastāva, otra maisījuma komponenta (PP, ABPE, ZBPE, EOK, EPDM), kā arī modificēšanas veida (apstarošana ar jonizējošo starojumu līdz dažādiem absorbētās dozas līmeņiem vai kompatibilizatora izmantošana) ietekmi uz pētāmo kompozīciju elastības moduļiem, īstermiņa un ilgtermiņa stiprību, kā arī šo deformatīvo parametru korelāciju ar struktūras rādītājiem. Ņemot vērā PET mazo kristalizācijas ātrumu, uzmanība tika pievērsta dzesēšanas tehnoloģisko parametru ietekmei uz pētāmo kompozīciju struktūru un īpašībām.

Visu pētāmo maisījumu elastības moduļi: E , E_L , E_{HU} , E_L , G_V (kas noteikti kvazistatiskajos stiepes, lieces, mikrospiedes, kā arī dinamiskajos lieces un bīdes režīmos) vērtības pieaug, palielinoties PET saturam, kā arī poliestera ko-komponenta stingumam, pie kam šīs sakarības saglabājas pietiekoši plašā temperatūru diapazonā (-100°C - $+25^{\circ}\text{C}$). Vienlaicīgi ar PET satura palielināšanos, samazinās pētāmo kompozīciju zudumu koeficienta $tg\delta$ un logaritmiskā dekrementa $lg\Delta$ maksimālās vērtības (noteiktas dinamiskos lieces un bīdes režīmos zem poliestera stiklošanās temperatūras).

Maisījumu elastības moduļa izmaiņu atkarība no kompozīciju sastāva un tajā ietilpstošo komponentu elastiskiem rādītājiem, kā arī no morfoloģijas aprakstīta, izmantojot Hašina-Strikmana un maisījuma likuma teorētiskos modeļus.

Hašina-Štrikmana modelis apraksta divkomponentu sistēmas, kas sastāv no nepārtrauktas matricas ar tajā disperģētām sfēriskām daļiņām. Tas ļauj aprēķināt bināru kompozīciju sistēmu elastības moduļu augšējo un apakšējo robežu atkarību no sastāva:

$$K_1 + \frac{\varphi_2 \cdot (K_2 - K_1)}{1 + \varphi_1 \cdot R_1 \cdot (K_2 - K_1)} \leq K \leq K_2 + \frac{\varphi_1 \cdot (K_1 - K_2)}{1 + \varphi_2 \cdot R_2 \cdot (K_1 - K_2)}, \quad (1)$$

$$G_1 + \frac{\varphi_2 \cdot (G_2 - G_1)}{1 + \varphi_1 \cdot Q_1 \cdot (G_2 - G_1)} \leq G \leq G_2 + \frac{\varphi_1 \cdot (G_1 - G_2)}{1 + \varphi_2 \cdot Q_2 \cdot (G_1 - G_2)},$$

kur $R_i = \frac{3}{3 \cdot K_i + 4 \cdot G_i}$; $Q_i = \frac{6 \cdot (K_i + 2 \cdot G_i)}{5 \cdot G_i \cdot (3 \cdot K_i + 4 \cdot G_i)}$, $i=1,2$; K_1 , K_2 - tilpummoduļu vērtības zemāka un augstāka moduļa komponentiem; G_1 , G_2

- bīdes moduļu vērtības zemāka un augstāka moduļa komponentiem; φ_1, φ_2
- zemāka un augstāka moduļa komponentu tilpuma daļas.

No iegūtajām bīdes un tilpuma elastības moduļu vērtībām, savukārt, iespējams aprēķināt stiepes elastības moduļa robežvērtības:

$$E_1 = \frac{9 \cdot K_1 \cdot G_1}{3 \cdot K_1 + G_1} \quad E_2 = \frac{9 \cdot K_2 \cdot G_2}{3 \cdot K_2 + G_2} \quad (2)$$

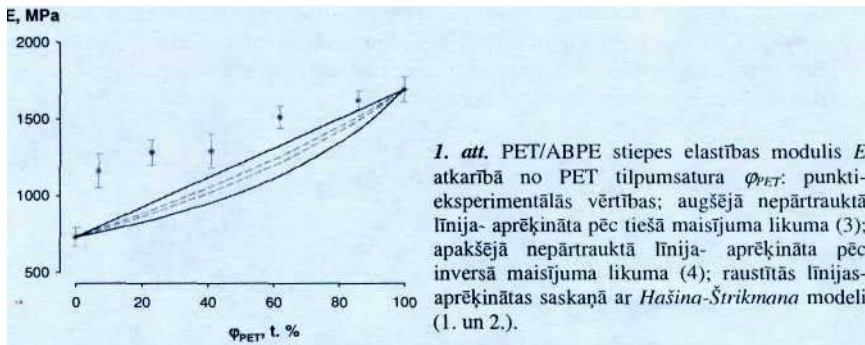
Elastības moduļa E vērtību aprēķināšanai tika izmantota arī vienkāršota, nedaudz idealizēta pieeja, pieņemot, ka dipersās fāzes daļiņām ir pietiekami liela garuma un šķērsizmēru attiecība K , un tās dispersijas vidē var būt savstarpēji paralēli orientētas (šo pieeju ir korekti izmantot stiegru kompozītu elastisko rādītāju aprakstīšanai). Slogojot kompozītu paralēli orientēto daļiņu garākajai asij, kompozīta elastības moduļa vērtību apraksta izteiksme (3), bet slogojot perpendikulāri - izteiksme (4):

$$E_{||} = E_1 \cdot \varphi_1 + E_2 \cdot \varphi_2 \quad (3)$$

$$E_{\perp} = \frac{E_1 \cdot E_2}{E_1 + \varphi_1 \cdot (E_2 - E_1)} \quad (4)$$

kur E_1 un E_2 - komponentu elastības moduļi, bet φ_1, φ_2 - komponentu tilpuma daļas.

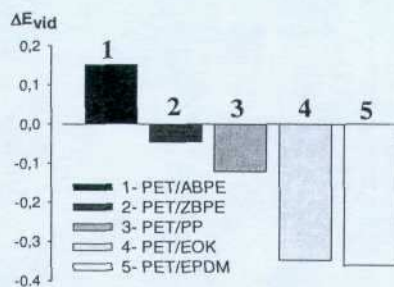
Kā redzams 1. att., kur parādīta tikai viena no pētāmajām kompozīcijām (PET/ABPE), E vērtības, kas aprēķinātas pēc maisījuma likumiem norobežo plašāku lauku, salīdzinot ar E vērtībām, kas aprēķinātas saskaņā ar *Hasina-Štrikmana* modeli. Turklāt eksperimentāli noteiktās elastības moduļa vērtības ir ievērojami lielākas nekā aprēķinātās.



Eksperimentālo E vērtību nobīdes ΔE no teorētiskajām E_{II} vērtībām var izmantot, lai spriestu par maisījuma struktūras pilnību un saistības līmeni starp komponentiem:

$$\Delta E = \frac{(E - E_{II})}{E_{II}} \quad (5)$$

Kā parādīts 2. att., vidējās eksperimentālo vērtību novirzes ΔE_{vid} kompozīcijām ar



2. att. Pēc vienādojuma 5 aprēķinātās PET saturošo maisījumu elastības moduļa vērtību vidējās nobīdes ΔE_{vid} .

PET saturu no 20 līdz 80 t. % pieaug maisījumu rindā: ABPE/PET > ZBPE/PET > PP/PET > EOK/PET > EPDM/PET. Pozitīvas ΔE_{vid} vērtības liecina par noteiktu maisījuma PET/ABPE struktūras pilnību. Dispersās fāzes daļiņām ir izstiepta forma ($\kappa \sim 3$) un šīs daļiņas ir savstarpēji paralēli orientētas. Šāda struktūra veidojusies maisījuma kausējumam plūstot paraugu izgatavošanas procesā.

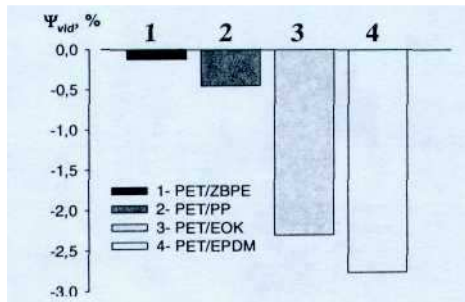
Viena no struktūras nepilnībām, kas izraisa eksperimentālo E vērtību nobīdes, ir tukšumi - ieslēgumi, kuru izmēri pārsniedz makromolekulu šķērsizmērus. Tukšumu saturs ψ procentos, ja sistēmas p vērtība ir mazāka par p_{AD} , tika aprēķināts pēc izteiksmes:

$$\psi = \frac{P_E - P_{AD}}{P_{AD}} \cdot 100$$

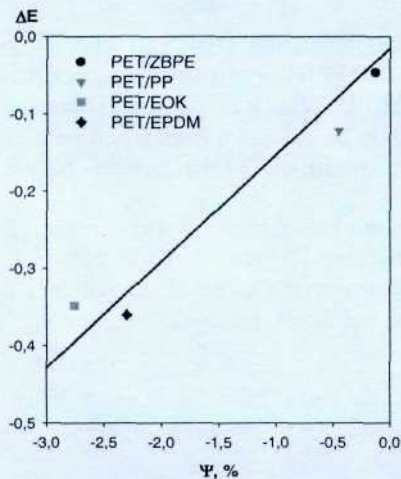
kur P_{AD} - pēc aditivitātes likuma aprēķinātais blīvums, p_E - eksperimentāli noteiktais blīvums.

Vidējais tukšumu saturs procentos ψ_{vid} kompozīcijām ar PET saturu no 20 līdz 80 t. % pieaug maisījumu rindā: PET/ABPE (tukšumu nav) > PET/ZBPE < PET/PP < PET/EOK < PET/EPDM (3. att.).

Korelācija starp kompozīciju vidējo tukšumu saturu un elastības moduļa nobīdes vidējo vērtību (4. att.) liecina par tukšumu satura būtisku ietekmi uz pētāmo PET kompozīciju elastības moduļa vērtībām.



3. att. Pēc vienādojuma 6 aprēķinātās PET saturošo maisījumu tukšumu satura vidējās vērtības Ψ_{vid} .

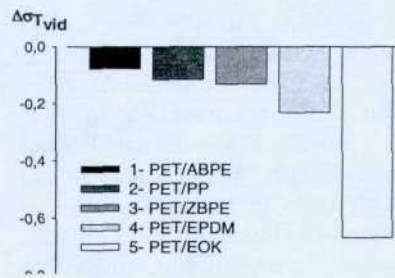


4. att. Vidējās elastības moduļa nobīdes ΔE_{vid} atkarība no vidējo tukšumu satura Ψ_{vid} .

Pētāmo maisījumu stiepes tecēšanas spriegumu σ_T , stiepes sagraušanas robežspriegumu σ_s , universālās mikrociētības H_U lieces maksimālo spriegumu σ_{LM} , Vika mīksttapšanas temperatūras T_{vika} vērtības pieaug, bet šļūdes un relatīvā tecēšanas pagarinājuma ϵ_T vērtības samazinās, pieaugot PET saturam un ko-komponenta stingumam. Šo parametru eksperimentālās vērtības ietekmē kompozīciju struktūras pilnība, par ko liecina vidējās relatīvās eksperimentālo vērtību novirzes no pēc aditivitātes likuma aprēķinātajām. Līdzīgi kā elastības moduļa gadījumā, vismazākās σ_T vidējās relatīvās eksperimentālo vērtību novirzes ir PET maisījumiem ar kristalizētiem spējīgiem poliolefīniem, bet vislielākās - PET maisījumiem ar elastomēriem (5. att).

Noskaidrots, ka PET fāzes kristāliskuma pakāpe (pieaug samazinoties dzesēšanas ātrumam) nosaka tecēšanas maksimuma esamību vai neesamību un pētāmo maisījumu deformācijas nostiprināšanās spēju. Tas būtiski ietekmē stiepes un lieces sagraušanas deformatīvos rādītājus,

ka arī īsteno spriegumu un stigrības vērtības. PET maisījumos ar polietilēniem, lēni dzesētiem paraugiem, lielāks relatīvais sagraušanas pagarinājums ϵ_s ir ZBPE matricas kompozīcijām, bet strauji dzesētiem - ABPE matricas kompozīcijām. Šāda PET saturošu maisījumu relatīvā sagraušanas pagarinājuma maiņa, iespējams, izskaidrojama ar poliolefīna klātbūtnes ietekmi uz PET kristalizācijas ātrumu šī polimēra aukstās kristalizācijas temperatūru diapazonā (ca. 100-150°C). Ir pamats domāt, ka

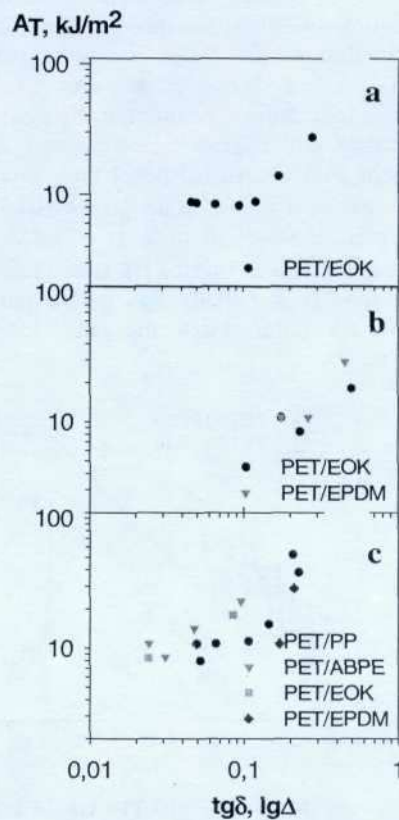


5. att. PET kompozītu vidējās eksperimentālo tecēšanas sprieguma vērtību nobīdes no aditīvajām vērtībām $\Delta\sigma_{Tvid}$.

PET fāzes kristalizācijas ātrums ABPE sferolītu kristalizācijas apgabalā (140°C) ir lielāks nekā ZBPE kušanas temperatūrā (107°C). Tā rezultātā PET fāzes kristāliskuma pakāpe maisījumos ar ABPE pie vienādiem iegūšanas apstākļiem ir lielāka nekā ZBPE saturošās sistēmās. Tas nozīmē, ka poliolefinu vai elastomēru pievienošana PET uzlabo poliesteru superelastību un stigrību neatkarīgi no izstrādājuma konfigurācijas (plānsienu vai biezsieni izstrādājumi).

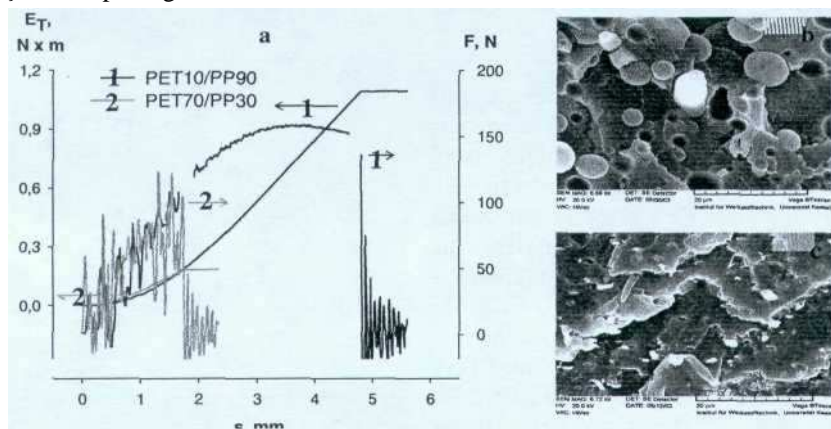
Pētāmo PET kompozīciju triecienizturība pieaug, palielinoties PET ko-komponenta saturam maisījumā, ko pavada lēnas dzesēšanas režīmā iegūto sistēmu

sagraušanas veida maiņa no trauslā uz superelastīgo. Pie viena un tā paša sastāva vislielākā ir elastomērus saturošo maisījumu triecienizturība, ko nosaka elastomēru lielais padevīgums un labās svārstību slāpējošās īpašības. Par to liecina korelācija starp pētāmo kompozīciju triecienizturību un zudumu koeficientu $tg\delta$ vai logaritmisko dekrementu $lg\Delta$ (6. att.).



6. att. Atsevišķu lēni dzesētu PET kompozīciju triecienizturības A_T korelācija ar lieces $tg\delta$ (a) un vērpes $lg\Delta$ (b, c) maksimālajām vērtībām pie -40°C temperatūras (a, b) un istabas temperatūras (c).

Pētāmo maisījuma triecienizturības maiņa atkarība no sastāva notiek uz dispersās fāzes daļiņu izmēru, to sadalījuma, kā arī formas izmaiņu rēķina. Triecienizturība palielinās, samazinoties dispersās fāzes daļiņu izmēriem, uzlabojoties to sadalījumam nepārtrauktajā matricā, pieaugot daļiņu ģeometrisko pamatizmēru attiecībai, kā arī palielinoties plaisas izplatīšanās ceļam (7. att.). Mazas triecienizturības kompozīciju ar lielu PET saturu (dispersā fāze - gandrīz sfēriskas liela izmēra daļiņas ar diametru $d = 3-8 \mu$ un ģeometrisko pamatizmēru attiecību $K \approx 1$) plaisas izplatīšanās ceļš ir mazs ($s = 1,75 \text{ mm}$), savukārt augstas triecienizturības kompozīciju ar mazu PET saturu ($d = 1-2 \mu$; $K = 2$) plaisas izplatīšanās ceļš ir liels ($s = 6 \text{ mm}$), kas liecina par to, ka pirms sagrūšanas notiek vērā ņemama parauga deformēšanās.



7. att.. Maisījumu PET/PP dažādu kompozīciju triecienslodze F un absorbētā trieciena enerģija E_T atkarībā no plaisas izplatīšanās ceļa (a) un kompozīciju laušanas virsmas morfoloģija (b,c).

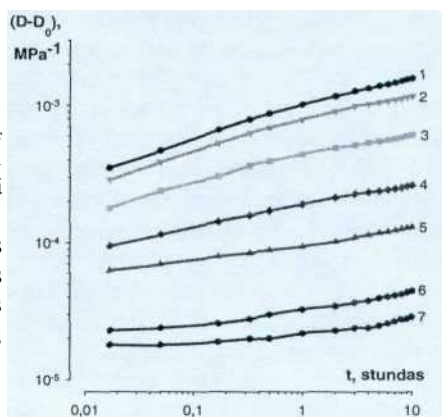
PET saturošo maisījumu pretestība šļūdei gan stiepes, gan mikrospiedes režīmos palielinās, pieaugot PET saturam. Stiepes šļūdes gadījumā tas galvenokārt notiek uz šļūdes padevīguma samazināšanās rēķina (salīdzinājumā ar ABPE, maisījuma PET50/ABPE50 šļūdes padevīgums samazinās 6 reizes, kamēr elastīgais padevīgums tikai 1,8 reizes). Tika mēģināts PET maisījumu ar ABPE šļūdes procesu elastīgo deformāciju apgabalā aprakstīt ar tradicionālā pakāpes vienādojuma palīdzību:

$$D(t) = \varepsilon(t) \mid \sigma = D_0 + D_c t^n \quad (7)$$

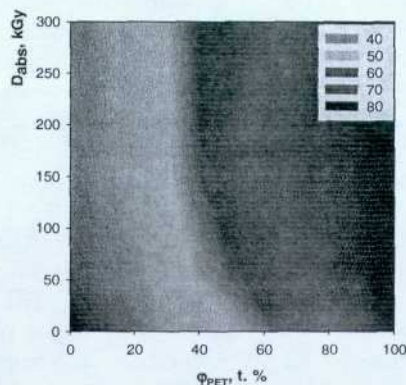
kur D_0 - elastīgais padevīgums, D_c un n - no sprieguma neatkarīgi koeficienti, bet t - laiks kā bezdimensionāls lielums $t = t/t_0$, kur $t_0 = 1$ stunda. Logaritmiskajās koordinātēs $\lg(D - D_0) - \lg t$ iegūtās pētāmos maisījumus aprakstošās sakarības nav lineāras (8. att); pakāpes rādītājs n nav konstante. ABPE un ABPE matricas maisījumu (līdz PET 30 m. %) gadījumā padevīguma līknēm ir izliekts veids, bet PET un PET matricas maisījumu gadījumā - ieliekts veids, kas liecina par to, ka otrajā gadījumā šļūdes attīstība laikā notiek straujāk, bet pirmajā lēnāk nekā to paredz pakāpes likums.

Ievērojot, ka nesavietojamības un citu struktūrfaktoru dēļ gandrīz visi eksperimentāli noteikto deformatīvo īpašību vērtības bija zemākas nekā aditīvās, pētāmās kompozīcijas tika modificētas. Šim nolūkam izmantoja gan tradicionālo kompatibilizatora ievadīšanu, gan radiācijas modificēšanu.

Radiācijas modificēšanas rezultātā, īpašību uzlabošanās notiek uz maisījumu veidojošo polimēru šķērssaistīšanās, kā arī ko sašūšanās robežslānī rēķina, kas vienlaicīgi uzlabo arī sistēmu savietojamību. Palielinoties absorbētās dozas lielumam, pētāmo kompozīciju elastības moduļu, E , E_L , E_{HU} , E_L , G_v , stiepes un lieces stiprības, σ_T (9. att. PET/ABPE



8. att. Šļūdes padevīgums logaritmiskajās koordinātēs. 1- ABPE100, 2- PET10/ABPE90, 3- PET30/ABPE70, 4- PET50/ABPE50, 5- PET70/ABPE30, 6- PET90/ABPE10, 7- PET100.



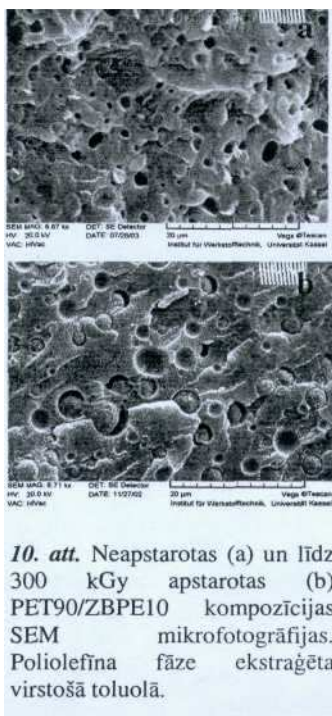
9. att. PET/ABPE tecēšanas robežspriegums σ_T stiepē (MPa) atkarībā no absorbētā starojuma dozas D_{abs} un PET tilpumsatura ϕ_{PET} .

gadījumā), σ_s , σ_{LM} universālās

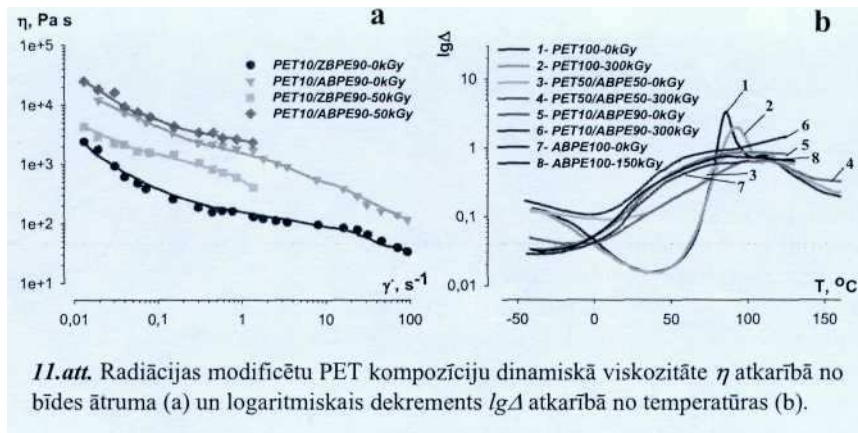
mikrocietības, H_w , triecienizturības A_7 , kā arī Vika mīksttapšanas temperatūras T_{vika} vērtības pieaug. Lieces un bīdes elastības moduļi, kā arī triecienizturības pieaugums novērojams plašā temperatūru diapazonā. Vienlaicīgi pētāmo kompozīciju mikrošūde, relatīvie sagraušanas robežpagarinājumi ϵ_s un stiepes stigrība A samazinās.

Kompozīciju deformatīvo īpašību izmaiņu lielums jonizējošā starojuma iedarbības rezultātā saistīts ar polimērmateriālos notiekošo ķīmisko pārvērtību (galvenokārt šķērssaistīšanās, ko-sašūšanās, kā arī ķēdes šķelšanās reakciju) kopumu, kuru savukārt nosaka maisījumu veidojošo polimēru fizikālā un ķīmiskā daba (nepiesātināto saišu daudzums bāzes polimēru makromolekulā, makro molekulu sazarotības pakāpe, amorfās fāzes saturs, trešējo oglekļa atomu un skābekli saturošo grupu saturs u.c), kā arī komponentu satura attiecības.

Par šķērssaistīšanās procesa norisi bāzes polimēros liecina gela veidošanās, kā arī kompozīciju morfoloģija (10. att. redzamas kompozīciju paraugu lauzumu SEM mikrofotogrāfijas apstarotiem un neapstarotiem paraugiem pēc poliolefīna fāzes ekstrahēšanas toluolā). Par šķērssaistīšanos, kā arī radiācijas modificēšanas rezultātā izveidojušos makromolekulu fragmentu specifisku mijiedarbību liecina arī atsevišķu pētāmo kompozīciju relaksācijas pāreju nobīdes augstāku temperatūru virzienā, kā arī viskozitātes un kompleksā bīdes moduļa palielināšanās (11 att. parādīts tikai PET/ABPE $lg\Delta$ un η). Viskozitātes pieaugums, būtiski neietekmē pētāmo sistēmu pārstrādājamību un reciklēšanas iespēju ar klasiskajām termoplastu pārstrādes metodēm.

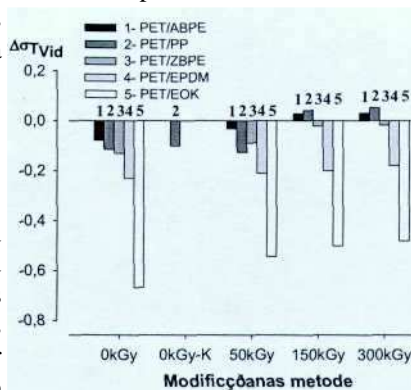


10. att. Neapstarotas (a) un līdz 300 kGy apstarotas (b) PET90/ZBPE10 kompozīcijas SEM mikrofotogrāfijas. Poliolefīna fāze ekstrahēta virstošā toluolā.



Atšķirība no radiācijas modificēšanas, ievadot kompatibilizatoru (PPgMA), īpašību uzlabošanās var notikt pateicoties maleīnskābes anhidrida grupu mijiedarbībai ar PET gala grupām. Kompatibilizatora ievadīšanas rezultātā novērojama arī atsevišķu PET/PP kompozīciju elastības moduļu (temperatūru intervālā no $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$ līdz $150\text{ }^{\circ}\text{C}$), izturības pret šļūdi, mikrociētības, stiepes un lieces stiprības (PP matricas maisījumu), kā arī triecienizturības (PET matricas maisījumi) palielināšanās. Šāds sakarību raksturs vistīcāmāk izskaidrojams ne tikai ar kompatibilizatoram piepotēto maleīnskābes anhidrīda funkcionālo grupu mijiedarbību ar PET gala grupām, bet arī ar kompatibilizatora ietekmi uz bāzes polimēru kristalizācijas procesu un kompatibilizatora plastificējošo iedarbību (kausējuma viskozitāte samazinās).

Pētāmo maisījumu modificēšanas rezultātā novērojama ne tikai noteiktu stiprības-deformācijas rādītāju uzlabošanās, bet arī to tuvināšanās teorētiskajām, pēc aditivitātes likuma aprēķinātajām vērtībām, par ko liecina eksperimentālo tecēšanas sprieguma vērtību noviržu $\Delta\sigma_T$ maiņa (12. att.). Tajā pašā laikā, kompatibilizatora ievadīšanas rezultātā notikušais eksperimentālo vērtību σ_T



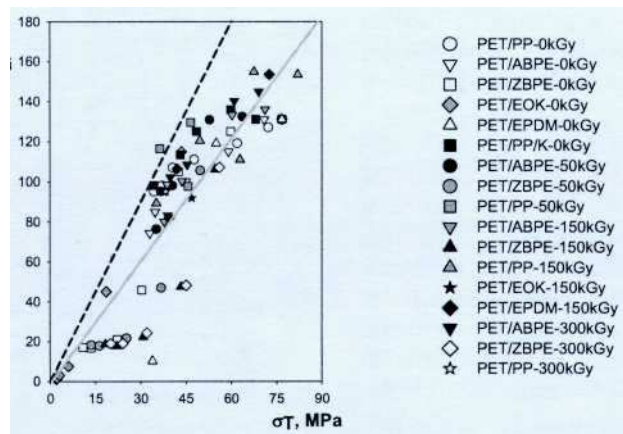
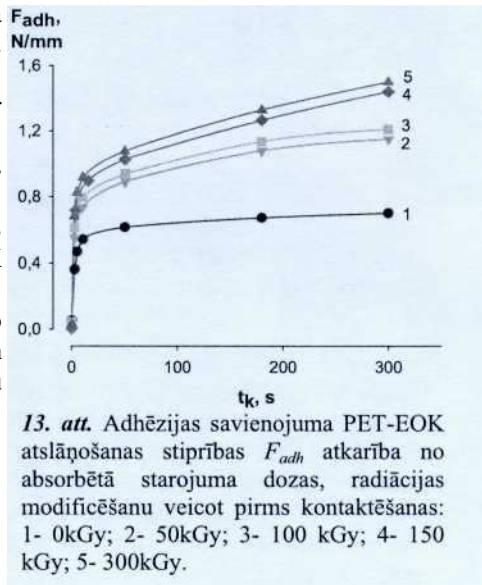
pieaugums ir samērojams ar pieaugumu pie $D_{abs}=50 \text{ kGy}$. Līdzīgas sakarības iegūstamas arī universālās mikrociētības H_u gadījumā.

Modificēšanas rezultāta F_{adh} , N/mm notikusi eksperimentālo datu tuvināšanās teorētiski aprēķinātajiem, saistīta arī ar maisījumu veidojošo bāzes polimēru savstarpējās mijiedarbes (starp fāžu adhēzijas) pastiprināšanos. 13. att. parādīts tikai modeļsistēmas PET-EOK adhēzīvās stiprības pieaugums.

Pastāv korelācija starp tecēšanas robežsprieguma a_T un ciētības H_u vērtībām (14. att.), kuru apraksta Tabora vienādojums:

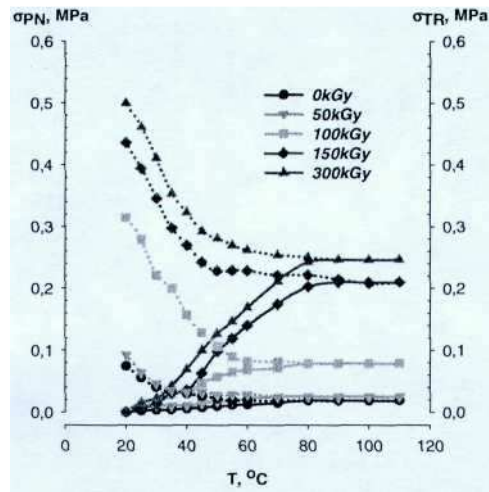
$$H = k \cdot \sigma_T$$

kur: k konstante; H - mikrociētība; σ_T - tecēšanas spriegums stiepē.



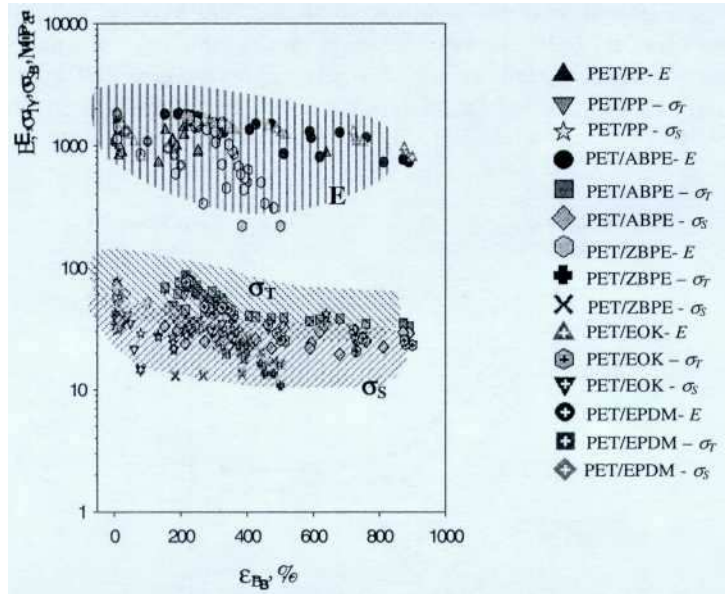
Pētāmo kompozīciju gadījuma $k \approx 2$, kas ir mazāk nekā iepriekš konstatēts vairāku polimēru gadījumā ($k = 3$). Tas izskaidrojams ar kompozīciju struktūras heterogēno raksturu. Iegūtie dati liecina, ka mikrociētības mērījumi var tikt izmantoti orientējošai PET maisījumu σ_T novērtēšanai, neatkarīgi no maisījuma sastāva un modificēšanas veida. Šie mērījumi ir vienkāršāki nekā tieši σ_T mērījumi un to veikšanai iespējams izmantot nelielu izmēru paraugus.

Atsevišķas radiācijas ceļā modificētas kompozīcijas (ar PET saturu līdz 15 %) var sekmīgi izmantot termonosēdmateriālu izveidei (15. att.). Absorbētā starojuma dozai pieaugot no 0 līdz 300 kGy, palielinās PET kompozīciju ar EOK termorelaksācijas spriegumi σ_{TR} un palielošie nosēdsspriegumi σ_{PN} , kurus zem 50kGy galvenokārt ietekmē PET kristāliskā fāze, bet virs - kompozīta sašūta daļa. Tā rezultātā visaugstākās σ_{TR} un σ_{PN} vērtības tiek sasniegtas līdz 300 kGy apstarotai sistēmai ar poliestera saturu 10 m. %.



15.att. Maisījuma PET10/EOK90 termomehāniskās līknes pie dažādām absorbētajām dozām.

Kompozīcijas PET/PP, PET/ABPE, PET/ZBPE, PET/EOK un PET/EPDM atkarībā no to sastāva, iegūšanas režīma, kā arī izvēlētās modificēšanas tehnoloģijas raksturo plašs īpašību spektrs (16. att.). Tas ļauj PET kompozīcijas izmantot visplašākā izstrādājumu klāsta izgatavošanai. To vidū mašīnbūves elementi, ierīču un aparātu korpusu detaļas, taras un iepakojuma izstrādājumi, būvniecības izstrādājumi, sadzīves priekšmeti, termonosēdizstrādājumi.



16.att. Nemodificētu, kompatibilizatoru saturošu un radiācijas modificētu dažāda sastāva PET maisījumu ar PP, ABPE, ZBPE, EOK un EPDM deformatīvās īpašības.

SECINĀJUMI

Kompleksi pētīti polietilēntereftalāta (PET), poliolefīnu (augsta blīvuma polietilēns, ABPE, un zema blīvuma polietilēns, ZBPE) un elastomēru (etilēna-oktēna kopolimērs, EOK, un etilēna-propilēna-diēna terpolimērs, EPDM) multifāzu polimērkompozīti. Noskaidrota kompozītu sastāva, iegūšanas apstākļu un modificēšanas veida ietekme uz kompozītu struktūru raksturojošiem parametriem un morfoloģiju un to saistība ar kompozītu stiprības-deformācijas, siltumdeformatīvo un reoloģisko īpašību rādītājiem.

Palielinoties PET saturam kompozītā, visu bināro maisījumu (PET/PP, PET/ABPE, PET/ZBPE, PET/EOK un PET/EPDM) kvazistatisko stiepes un lieces, dinamisko bīdes un lieces, kā arī mikrospiedes elastības moduļu vērtības, tāpat kā stiepes tecēšanas un lieces robežspriegumi, universālā mikrociētība un mīksttapšanas temperatūra pieaug, bet stiepes šļūde un tās dzišanas ātrums samazinās. Palielinoties poliolefīnu vai elastomēru saturam, pieaug kompozīciju stigrība un deformācijas nostiprināšanās kapacitāte, palielinās relatīvais tecēšanas pagarinājums stiepē, kā arī triecienizturība un svārstības slāpējošās īpašības.

PET matricas sistēmu kvazistatiskos lieces un stiepes sagraušanas parametrus nosaka kompozītā deformācijas nostiprināšanās kapacitāte, kas, savukārt, pieaug, samazinoties sistēmas summārajai kristāliskuma pakāpei. Strauji dzesētām kompozīcijām (zemāka kristāliskuma pakāpe) ir lielāka stigrība.

Vājās starpfāžu adhēzijas, nevienmērīga fāžu ieslēgumu sadalījuma un tukšumu (sevišķi pie līdzīga komponentu satura), kā arī citu struktūras defektu dēļ atsevišķu kompozītu stiprības-deformatīvo rādītāju eksperimentālās vērtības ir zemākas nekā pēc aditivitātes likuma aprēķinātās. Kompozīcijām ar specifisku morfoloģiju (orientēti ieslēgumi) un noturīgu starpfāžu mijiedarbību (savstarpēji cauraustu makromolekulu struktūras) eksperimentālie stiprības-deformācijas rādītāji pat pārsniedz aprēķinātos. Pastāv korelācija starp tukšumu saturu kompozītos un eksperimentālo stiprības-deformācijas rādītāju vidējo novirzi no aditivitātes.

Maisījumu kvalitāti ietekmē pētāmo sistēmu komponentu Teoloģiskie rādītāji: viskozitātes vērtību savstarpējā attiecība maisījuma iegūšanas procesā, kuru savukārt nosaka atšķirīgā komponentu viskozitātes vērtību atkarība no temperatūras un bīdes ātruma.

Maisījumu iegūšanas procesā fiksētā morfoloģija būtiski ietekmē kompozītu deformāffvās īpašības. Pieaugot lēni dzesētu kompozīciju stigrībai, notiek paraugu sagraušanas veida maiņa no trauslā uz superelastīgo. Mainoties komponentu attiecībām, mainās dispersās fāzes izmēri un

ģeometrisko izmēru pamatattiecība. „Serdes-garozas” tipa morfoloģijas izveidošanās ir par iemeslu stigrības pieaugumam.

Pastāv korelācija starp pētāmo kompozīciju mikrociētības, stiepes elastības moduļa un tecēšanas robežsprieguma vērtībām, kā arī korelācija starp triecienizturību un svārstības slāpējošām īpašībām (zudumu koeficientu un logaritmisko dekrementu).

Maisījumu stiprības-deformatīvās īpašības uzlabojamas gan ievadot sistēmās kompatibilizatoru - maleinizētu polipropilēnu (notiek anhidrīda grupu mijiedarbība ar PET makromolekulu gala grupām), gan apstarojot ar jonizējošo starojumu (poliolefīnu fāzē, kā arī robežslānī veidojas trīsdimensionālas struktūras). Radiācijas modificēšanas rezultātā uz šķērssaistīšanās un piepotēšanās reakciju rēķina notiek visu veidu elastības moduļu vērtību, stiprības robežspriegumu, triecienizturības palielināšanās, kā arī šļūdes tempa samazināšanās. Lielākā mērā mainās poliolefīnu un elastomēra matricas sistēmu īpašības, kas ir saistīts ar lielāku šķērssaistīšanās procesu īpatsvaru.

Komponentu ķīmiskā daba nosaka radiācijas procesā notiekošo makromolekulu šūšanās/destrukcijas procesu savstarpējo attiecību, kā arī piepotēto kopolimēra tipa struktūru veidošanos. PET maisījumu ar elastomēriem un polietilēniem kausējuma viskozitātes un komplekso bīdes moduļu vērtības palielinās galvenokārt uz sašūtu struktūru veidošanās rēķina. Vienlaicīgi notiek komponentu savstarpējās mijiedarbes (starpfāžu adhēzijas) pastiprināšanās. To nosaka polimēru ķēžu šķērssaistīšanās un kosašūšanās robežslānī.

Kompatibilizatora (PPgMA) ievadīšanas rezultātā notiekošās stiprības-deformācijas rādītāju izmaiņas saistītas ne tikai ar piepotētu PP un PET struktūru veidošanos fāžu robežvirsmā, bet arī ar kompatibilizatora plastificējošo iedarbību.

Pētītās PET saturošās multifāžu sistēmas, atkarībā no otrā bāzes komponenta dabas un satura, kā arī kompozīcijas modificēšanas paņēmiena, veido termoplastisku materiālu grupu ar visai plašu iespējamo stiprības - deformācijas raksturlielumu spektru.

Kompozīcijas ir izteikti termoplastiskas ar Teoloģiskajām īpašībām, kas ļauj tās pārstrādāt un reciklēt ar tradicionālajām termoplastu pārstrādes metodēm: spiedlīšanu, ekstrūziju u.c. Tas ļauj PET kompozīcijas izmantot visplašākā izstrādājumu klāsta izgatavošanai. To vidū mašīnbūves elementi, ierīču un aparātu korpusu detaļas, taras un iepakojuma izstrādājumi, būvniecības izstrādājumi, sadzīves priekšmeti, termonosēdizstrādājumi.

PUBLIKĀCIJU SARAKSTS

Galvenie pētījumu rezultāti atspoguļoti sekojošās publikācijās:

1. Merijs Meri R., Bocoka T., Zicans J., Kalnins M., Kalkis V., Bledzki A.K.. Strength-deformation characteristics of poly(ethylene terephthalate)/elastomere blends// Mech. Compos. Mater. - 2005 (accepted).
2. Bledzki A. K., Zicans J., Merijs Meri R., Kardasz D. On the selected physical and mechanical properties of the recycled polyurethane foam blends// Mech. Compos. Mater. - 2005 (accepted).
3. Merijs Meri R., Zicans J., Kalnins M., Kalkis V. Tensile deformational properties of poly(ethylene terephthalate) and polyethylene based multiphase systems// Chemical Technology. - 2005. - Vol. 35. - Nr. 1.-6.-11. pp.
4. Merijs Meri R., Jablonskis I., Zicans J., Kalnins M., Bledzki A.K. Deformational properties of irradiated composite materials based on PET and PE// Mech. Compos. Mater. - 2004. - Vol. 40. - Nr. 3. - 383.-392. pp.
5. Merijs Meri R., Maksimov R., Kalnins M., Zicans J. Mechanical properties of the blends of Polyethylene with poly(ethylene terephthalate). Mech. Compos. Mater. - 2003. - Vol. 39. - Nr 3. - 189.-196. pp.
6. Merijs Meri R., Maksimovs R., Zicans J., Kalniņš M., Bledzki A.K.. Stress-strain properties of the PET/HDPE blend// RTU Zinātniskie raksti. Materiālzinātne un lietišķā ķīmija. - 2003. -7. sējums. - 36.-42. lpp.
7. Kalniņš M., Zicans J., Bledzki A., Merijs Mēri R., Jablonskis I. On the correlation of micro- and macro mechanical properties of the PET based blends// RTU Zinātniskie raksti. Materiālzinātne un lietišķā ķīmija. - 2002. - 5. sējums. - 202.-207. lpp.
8. Merijs Meri R., Jablonskis I., Zicans J., Kalniņš M.. Radiation modification of the blends based on poly (ethylene terephthalate) and polyethylenes//RTU Zinātniskie raksti. Materiālzinātne un lietišķā ķīmija. -2001.-3. sējums. - 89.-93. lpp.
9. Revjakins O., Merijs Meri R., Zicans J.. Радиационно-модифицированные смесевые композиты на основе вторичных полиэтилентерефталата и полипропилена// Латvijas Ķīmijas žurnāls. - 2000. - Nr. 1. - 93.-103. lpp.

10. Merijs Meri R., Elksnite, I. Zicans J., Kalkis V., Bledzki A. K. Microhardness of finely dispersed poly(ethylene terephthalate) composites// Proceedings of the International Conference Balttrib 2005. - Kaunas, 2005. - 54.-55. pp.
11. Pizele D., Elksnite I., Merijs Meri R., Zicans J., Bledzki A. K. Alternative solutions of poly(ethylene terephthalate) (PET) waste recycling in Latvia// Proceedings of the 4th International Conference Plastics Recycling Science - Industry. - Nitra, 2005. - 155.-156. pp.
12. Merijs Meri R., Zicans J., Kalnins M., Kalkis V., Bledzki A. K.. Micro and macro deformative properties of poly (ethylene terephthalate) (PET) and elastomere based microheterogeneous blends// Proceedings of the International Conference Baltic Polymer Symposium 2005. - Tallinn, 2005. - 15. pp.
13. Merijs Meri R., Elksnite I., Zicans J., Bledzki A.K.Characterization of recycled poly(ethylene terephthalate)-Aluminium composites// Proceedings of the International conference Eco Balt' 2005. - Riga, 2005. - 78. lpp. (Internets - www.ecobalt.lv)
14. Merijs Meri R., Zicans J., Kalnins M., Kalkis V.. Selected properties of poly(ethylene terephthalate) (PET) based multiphase composites// Proceedings of the International Conference Baltic Polymer Symposium 2004. - Kaunas, 2004 - 27. pp.
15. Pizele D., Merijs Meri R., Zicans J., Bledzki A.K.. Recyclable PET Blends With Elastomers// Proceedings of the 3rd International Conference Plastics Recycling Science - Industry. - Krynica, 2004, 15. pp.
16. Merijs Meri R., Pizele D., Zicans J., Kalnins M., Bledzki A.K.. Selected properties of poly(ethylene terephthalate) based engineering materials// Proceedings of the XXI-th International Baltic Conference Materials Engineering & Balttrib. - Riga, 2004. - 166.-169. pp.
17. Merijs Meri R., Kalkis V., Bocoka T., Bledzki A.. Characterization of the mechanical performance of poly(ethylene terephthalate)(PET)/elastomer blends// Proceedings of the XIII International Conference Mechanics of Composite Materials. - Riga, 2004. - 117.-118. pp.
18. Merijs Meri R., Zicans J., Kalnins M., Bledzki A. Investigation of the deformational properties of the recycable blends of PET/HDPE and PET/LDPE// Proceedings of the International conference Eco Balt' 2004. - Riga, 2004. - 76.-77. pp.

19. Merijs Meri R., Goldsteins A., Maksimov R., Kalnins M., Bledzki A.K.. Mechanical Properties in Tension of the PET/PE blends// Proceedings of the Baltic Polymer Symposium. - Jurmala, 2003. - 125.-128. pp.
20. Merijs Meri R., Kalnins M., Zicans J., Bledzki A.K.. Dynamic Mechanical Analysis of PET-Polyolefine Based Blends// International conference and exhibition Euromat 2003/ Internets - www.euromat2003.fems.org
21. Merijs Meri R., Jablonskis I., Zicans J., Kalnins M., Bledzki A.K.. Deformational properties of irradiated composite materials based on PET and PE// Proceedings of the XII International Conference Mechanics of Composite Materials. - Riga, 2002. - 126.-127. pp.
22. Merijs Meri R., Jablonskis I., Zicans J., Kalnins M., Bledzki. A. Microhardness of the radiation modified heterogeneous blends PET/PE. Proceedings of the Baltic Polymer Symposium 2002. - Nida, 2002. - 40. pp.
23. Merijs Meri R., Kalnins M., Zicans J., Bledzki. A. Mechanical properties of the radiation modified blends of Poly(Ethylene terephthalate) (PET) and Polyethylene (PE)// International conference and exhibition Junior Euromat 2002/ Internets - www.euromat2002.fems.org
24. Merijs Meri R., Jablonskis I., Zicans J., Kalnins M., Bledzki A.K.. Blends Based on Poly (ethylene terephthalate) and Different Polyolefins// Proceedings of the Baltic Polymer Symposium 2001. - Tallinn, 2001.- 1pp.