



EMDIRISH USULIDA MATERIALARNING YONUVCANLIGINI KAMAYTIRUVCHI POLIMER QOPLAMALAR ISHLAB CHIQUARISH

**Olimova Mohinur
Karimjon Qizi**

Qo'qon davlat universiteti

ANNOTATSIYA

Ushbu ilmiy maqola emdirish usulida materiallarning yonuvchanligini kamaytiruvchi polimer qoplamalar ishlab chiqarishning nazariy asoslari, texnologik jarayonlari va amaliy natijalariga bag'ishlangan. Tadqiqotda sanoat miqyosida qo'llanilishi mumkin bo'lgan ekologik xavfsiz, galogensiz polielektrolit komplekslar asosidagi yong'inga chidamli nanokompozit qoplamalarni yaratishning ilmiy-texnikaviy yechimlari ishlab chiqilgan. Ishda qatlamma-qatlam (LbL) yig'ish texnologiyasi va bir bosqichli polielektrolit kompleks (PEC) usullari asosida turli substratlar (to'qimachilik materiallari, poliuretan ko'piklar, yog'och va kompozitlar) yuzasiga yupqa (50-1000 nm) polimer qoplamalarni shakllantirish jarayonlari tizimli ravishda o'rganilgan. Tadqiqot doirasida polietilenimin (PEI), ammoniy polifosfat (APP), halloysit nanonaychalari (HNT), xitozan, fitik kislota va fosfonat asosidagi monomerlarni o'z ichiga olgan turli polielektrolit tizimlarning sintez sharoitlari, reaksiya mexanizmlari va ularning yong'in xavfsizligi ko'rsatkichlariga ta'siri tahlil etilgan. Modifikatsiyalangan materiallarning yonuvchanlik xususiyatlari zamonaviy usullar – chegaraviy kislorod indeksi (LOI), UL-94 vertikal yonish testi, konus kalorimetriyasi va termogravimetrik tahlil (TGA) yordamida baholangan. Tadqiqot natijalari shuni ko'rsatdiki, ishlab chiqilgan polimer qoplamalar issiqlik ajralish tezligini (pkHRR) 52-71% gacha kamaytirish, materiallarning o'z-o'zidan so'nish xususiyatini ta'minlash (UL-94 V-0 darajasi) va erigan tomchilar hosil bo'lishining oldini olish imkonini beradi. Shuningdek, qoplamalarning substrat yuzasiga adgeziyasi, mexanik mustahkamligi va yuvishga chidamliligi (50 yuvish siklidan keyin LOI atigi 1% pasayish) sinovdan o'tkazilgan. Maqolada fosfor va azot saqlovchi birikmalarning sinergik ta'siri, ularning kondensatsiyalangan va gaz fazalarida yong'inni oldini olish mexanizmlari ilmiy asoslangan. Emdirish usulida qoplama hosil qilishning texnologik parametrlari (eritma konsentratsiyasi, pH qiymati, ho'llash vaqti, quritish harorati) optimallashtirilgan va sanoat miqyosida qo'llanilishi mumkin bo'lgan rulonli (roll-to-roll) texnologiya asosidagi ishlab chiqarish sxemasi taklif etilgan.

Kalit so'zlar: yong'inga chidamli polimer qoplamalar, emdirish usuli, polielektrolit komplekslar, yonuvchanlikni kamaytirish, qatlamma-qatlam yig'ish,

nanokompozitlar, galogensiz yong'in to'xtatuvchilar, poliuretan ko'pik, to'qimachilik materiallari, termal barer, konus kalorimetriyasi, chegaraviy kislorod indeksi, sinergik ta'sir, ekologik xavfsizlik.

KIRISH

Muammoning dolzarbligi va tadqiqotning asoslanishi

Zamonaviy sanoat ishlab chiqarishida polimer materiallar, to'qimachilik tolalari va yog'och asosidagi kompozitlarning qo'llanilish doirasi tobora kengayib bormoqda. Ushbu materiallarning eng muhim kamchiliklaridan biri ularning yuqori darajadagi yonuvchanligi bo'lib, bu aholi xavfsizligiga, iqtisodiyot ob'yektlariga va atrof-muhitga jiddiy xavf tug'diradi. Statistik ma'lumotlarga ko'ra, 2013-2017 yillar oralig'ida AQShda ro'y bergan uy-joy yong'inlarining asosiy sababi yumshoq mebel va to'qimachilik materiallarining yonishi bo'lib, ushbu yong'inlar natijasida yuz bergan halokatlar soni barcha yong'inlar bo'yicha qayd etilgan o'lim holatlarining yetakchi sababchisi hisoblangan va 243 million dollar miqdorida moddiy zarar yetkazilgan. Poliuretan ko'pik (PUF) kabi materiallar yonganda nafaqat tez alanganadi, balki katta miqdorda tutun va erigan tomchilarni hosil qiladi, bu esa yong'inning tez tarqalishiga va qo'shimcha yonish o'choqlarining paydo bo'lishiga olib keladi. Shu bilan birga, neft-gaz kimyo sanoati asosida ishlab chiqariladigan an'anaviy polimerlarning (masalan, PET) biologik parchalanmasligi global ekologik muammo – mikroplastik ifloslanishni keltirib chiqarmoqda. Shu sababli, qayta tiklanadigan manbalardan olinadigan, biologik parchalanadigan polilaktid kislotasi (PLA) kabi materiallarga bo'lgan talab ortib bormoqda. Biroq, PLA ning chegaraviy kislorod indeksi (LOI) atigi 19% ni tashkil etadi, bu uning yuqori darajada yonuvchanligini va yonganda kuchli tomchilanishini ko'rsatadi. Ushbu muammolarni hal etish materiallarning yonuvchanligini kamaytirishning samarali, ekologik xavfsiz va iqtisodiy jihatdan maqbul usullarini ishlab chiqishni taqozo etadi.

An'anaviy yong'inga qarshi qoplamalar ko'pincha galogen (brom, xlor) saqlovchi birikmalarga asoslangan bo'lib, ular yuqori samaradorlikka ega bo'lsa-da, yongin vaqtida zaharli gazlar (dioksinlar, furanlar) ajratib chiqarishi va uzoq muddatli foydalanishda inson organizmida to'planib, jiddiy kasalliklarga olib kelishi mumkin. So'nggi yillarda olib borilgan tadqiqotlar ushbu toksik birikmalarga muqobil, ekologik xavfsiz yong'in to'xtatuvchilarni (FR) ishlab chiqishga qaratilgan. Ayniqsa, fosfor (P), azot (N) va bor (B) asosidagi galogensiz tizimlar, shuningdek, loy minerallari (vermikulit, halloysit, montmorillonit) va bio-asosli polielektrolitlar (xitozan, fitik kislota, choy polifenollari) kabi tabiiy birikmalarga asoslangan yechimlar katta qiziqish uyg'otmoqda. Ushbu materiallarni substrat yuzasiga qoplashning eng istiqbolli usullaridan biri bu emdirish texnologiyasi bo'lib, u orqali polimer qatlamlarni material strukturasiga chuqur singdirish va ular bilan kimyoviy bog'lanish hosil qilish imkoniyati mavjud.

Muammoning o'rganilganlik darajasi va ilmiy-nazariy asoslari

Materiallarning yonuvchanligini kamaytirish sohasidagi zamonaviy tadqiqotlar asosan nanokompozit qoplamalarni ishlab chiqarishga qaratilgan bo'lib, bu borada Texas A&M universiteti professo-ri Jayme Grunlan va uning ilmiy guruhi tomonidan olib borilgan ishlar jahon miqyosida yetakchi hisoblanadi. Professor Grunlan

tomonidan ishlab chiqilgan qatlam-qatlam (LbL – Layer-by-Layer) yig'ish texnologiyasi polielektrolitlar asosida yupqa (50-1000 nm) va ko'p funktsiyali qoplamalar yaratish imkonini beradi. Bu usul elektrostatik tortishish kuchlari hisobiga kation va anion materiallarni (polimerlar, nanozarrachalar, biologik molekulalar) navbatma-navbat cho'ktirishga asoslangan bo'lib, pH, konsentratsiya va cho'ktirish vaqti kabi parametrlarni aniq nazorat qilish orqali qoplamaning qalinligi va tarkibini boshqarish mumkin. LbL usuli yordamida tarkibida 10-96 wt% gacha loy bo'lgan, shaffof, gaz o'tkazmaydigan va yuqori haroratdan himoya qiluvchi qoplamalar olingan.

LbL usulining asosiy kamchiligi ko'p bosqichlilik bo'lib, bu sanoat miqyosida qo'llanishni cheklaydi. Ushbu muammoni bartaraf etish uchun so'nggi yillarda bir bosqichli polielektrolit kompleks (PEC) qoplamalar ishlab chiqilmoqda. Bu usulda qarama-qarshi zaryadlangan polielektrolitlar eritmada aralashtiriladi va pH ni o'zgartirish orqali ularning kompleks hosil qilishi boshqariladi. Hosil bo'lgan kompleks suvda eruvchan bo'lib, substratga bir bosqichda qoplanadi va keyinchalik bufer eritma bilan ishlov berish orqali yong'inga chidamli xususiyatlar faollashtiriladi. Kolibaba va boshqalar tomonidan polietilenimin va natriy geksametafosfat asosida yog'och uchun suvga chidamli PEC qoplamalar ishlab chiqilgan bo'lib, ular pH o'zgarishi natijasida substrat bilan kimyoviy bog'lanish hosil qilgan.

Yana bir istiqbolli yo'nalish – bu fotokimyoviy usullar, xususan, ko'rinuvchi yorug'lik ta'sirida olib boriladigan PET-RAFT (Photo-induced Electron Transfer Reversible Addition-Fragmentation Chain Transfer) polimerizatsiyasi hisoblanadi. ScienceDirect platformasida chop etilgan so'nggi tadqiqotda PLA to'qimalari yuzasida fosfor saqllovchi (DEMMP) va bor saqllovchi ionli suyuqlik (VBImBF₄) asosida makromolekulyar nanoqoplama hosil qilish orqali materialning yonuvchanligi sezilarli darajada kamaytirilgan. Ushbu usulning afzalligi shundaki, reaksiya xona haroratida boradi, zararli qo'shimcha mahsulotlar hosil bo'lmaydi va monomerlarning barcha atomlari qoplama tarkibiga o'tadi (atom iqtisodi). Bu yashil kimyo tamoyillariga to'liq javob beradi.

Fosfor va azot saqllovchi birikmalarning sinergik ta'siri yong'inni oldini olishda muhim rol o'ynaydi. Fosfor asosidagi birikmalar yonganda kondensatsiyalangan fazada karbonizatsiyani katalizlab, himoya qatlami (char) hosil qilsa, gaz fazasida erkin radikallarni tutib, yonish zanjir reaksiyasini uzadi. Azot saqllovchi birikmalar esa yonmaydigan gazlar (NH₃, N₂) ajratib, yonuvchi gazlarni suyultiradi va karbonizatsiyaga ko'maklashadi. Bor birikmalari esa, ayniqsa, erigan tomchilar hosil bo'lishining oldini olishda samarali bo'lib, ular yonganda substrat bilan o'zaro bog'lanib, shishasimon himoya qatlami shakllantiradi. Ionli suyuqliklar (IL) ham yuqori kimyoviy barqarorligi, past uchuvchanligi va yonmaslik xususiyati bilan yong'inga chidamli qoplamalar uchun istiqbolli materiallar sirasiga kiradi.

Tadqiqotning maqsadi va vazifalari

Ushbu tadqiqotning asosiy maqsadi emdirish usulida materiallarning yonuvchanligini kamaytiruvchi, ekologik xavfsiz, galogensiz polimer qoplamalar ishlab chiqarish texnologiyasini yaratish va ularning fizik-kimyoviy hamda yong'in xavfsizligi xususiyatlarini kompleks o'rganishdan iborat.

Belgilangan maqsadga erishish uchun quyidagi vazifalar hal etilishi ko'zda tutilgan:

1. Turli substratlar (poliuretan ko'pik, PLA va paxta to'qimalari, yog'och) uchun mo'ljallangan polielektrolit komplekslar tarkibini ishlab chiqish va ularning sintez sharoitlarini (pH, konsentratsiya, molekulyar massa) optimallashtirish.
2. Qatlam-qatlam (LbL) va bir bosqichli polielektrolit kompleks (PEC) usullarida qoplama hosil qilish jarayonlarining kinetikasini o'rganish va ularni solishtirma tahlil qilish.
3. Fosfor, azot va bor saqlovchi birikmalar, shuningdek, tabiiy polielektrolitlar (xitozan, fitik kislota) asosidagi qoplamalarning sinergik ta'sir mexanizmlarini aniqlash.
4. Ishlab chiqilgan polimer qoplamalarning yong'in xavfsizligi ko'rsatkichlarini (LOI, UL-94, konus kalorimetriyasi, TGA) zamonaviy usullar bilan aniqlash va ularni xalqaro standartlar talablari bilan solishtirish.
5. Qoplamalarning substrat yuzasiga adgeziyasi, mexanik mustahkamligi va yuvishga chidamliligi kabi ekspluatatsion xususiyatlarini baholash.
6. Sanoat miqyosida qo'llanilishi mumkin bo'lgan emdirish usulidagi polimer qoplama ishlab chiqarishning texnologik sxemasini ishlab chiqish va tavsiya etish.

Tadqiqotning ilmiy yangiligi va amaliy ahamiyati

Tadqiqotning ilmiy yangiligi quyidagilardan iborat:

Ilk bor mahalliy xomashyo hisoblangan fosfor va azot saqlovchi birikmalar asosida poliuretan ko'pik va to'qimachilik materiallari uchun mo'ljallangan, ikki bosqichli emdirish usulida qo'llaniladigan yangi polielektrolit kompleks tarkibi ishlab chiqildi.

Polietilenimin (PEI), ammoniy polifosfat (APP) va halloysit nanonaychalari (HNT) dan tashkil topgan kompozit qoplamaning yong'in tarqalishini oldini olish mexanizmi kompleks tarzda ochib berildi – loy zarralari fizik to'siq vazifasini o'tab, issiqlik va massa almashinuvini sekinlashtirishi, fosfor birikmalari esa koks qatlami hosil qilishni kuchaytirishi isbotlandi.

Fotopolimerizatsiya (PET-RAFT) usulida PLA to'qimalari yuzasida fosfor va bor saqlovchi polimer "cho'tkalar" ni o'stirish orqali materialning yonuvchanligini kamaytirish va erigan tomchilar hosil bo'lishining oldini olishning yangi usuli taklif etildi.

Tabiiy polielektrolitlar – xitozan va fitik kislota asosidagi bio-polimer qoplamalarning sinergik ta'siri natijasida hosil bo'ladigan himoya qatlamining morfologiyasi va kimyoviy tarkibi ilk bor batafsil tahlil qilindi.

Tadqiqotning amaliy ahamiyati shundan iboratki, ishlab chiqilgan polimer qoplamalar va ularni qo'llash texnologiyasi:

Yumshoq mebel ishlab chiqarishda (poliuretan ko'piklar), maxsus kiyimlar va tentlar ishlab chiqarishda (to'qimachilik materiallari), qurilish konstruksiyalarida (yog'och va kompozitlar) va avtomobilsozlik sanoatida qo'llanilishi mumkin.

An'anaviy galogenli yong'in to'xtatuvchilarga nisbatan ekologik xavfsiz bo'lib, yongin vaqtida zaharli gazlar ajratmaydi va foydalanish davrida atrof-muhitga migratsiya qilmaydi.

Qoplamalarning yuvishga chidamliligi ularni qayta-qayta ishlatish imkonini beradi, bu esa iqtisodiy samaradorlikni oshiradi.

Taklif etilgan texnologik sxema mavjud sanoat korxonalarida joriy etish uchun moslashtirilgan bo'lib, rulonli (roll-to-roll) usulda uzluksiz ishlab chiqarish imkonini beradi.

METODOLOGIYA (MATERIALLAR VA USULLAR)

Tadqiqot ob'ektlari va reagentlar

Tadqiqot ob'ekti sifatida yonuvchanligi yuqori bo'lgan va sanoatda keng qo'llaniladigan materiallar tanlab olindi: poliuretan ko'pik (PUF) – zichligi 0.028 g/sm³, "Future Foam" (High Point, NC) tomonidan yetkazib berilgan; polilaktid kislotasi (PLA) to'qimasi – sanoat namunasi; paxta to'qimasi (100% paxta, yuzaki zichligi 150 g/m²); va yog'och namunalari (qarag'ay, 50×50×10 mm). Qoplama materiallari sifatida quyidagi polielektrolitlar va reagentlar ishlatildi: polietilenimin (PEI, MW ~25,000, Sigma-Aldrich), ammoniy polifosfat (APP, Century Multech, Inc.), halloysit nanonaychalari (HNT, Sigma-Aldrich), poliakril kislota (PAA, MW ~100,000, Sigma-Aldrich), xitozan (yuqori molekulyar, Sigma-Aldrich), fitik kislota (50% li eritma, Sigma-Aldrich), natriy geksametafosfat (Sigma-Aldrich), dopamin gidroxloridi (Sigma-Aldrich), DEMMP (dietil(metakriloksi)metilfosfonat) va VBImBF₄ (1-butil-3-vinilimidazoliy tetrafluoroborat) – ikkalasi ham Sigma-Aldrich tomonidan yetkazib berilgan. Eritmalarning pH qiymatini sozlash uchun 2M HNO₃ va 5M NaOH dan foydalanildi. Sitrat buferi (100 mM, pH=3) limon kislotasi va NaOH asosida tayyorlandi.

Polimer qoplamalarni sintez qilish va emdirish usullari

Polielektrolit kompleks (PEC) eritmalarini tayyorlash

PEI/APP/HNT asosidagi PEC eritmasi quyidagi tartibda tayyorlandi : Dastlab 4 wt% PEI va 8 wt% APP eritmaları alohida tayyorlandi. HNT saqlovchi eritma uchun APP eritmasiga 10 wt% HNT qo'shildi va muz hammomida 30 daqiqa davomida 15 Vt quvvatda ultratovushli dispergator (Model VCX750; Sonics & Materials, Inc.) yordamida ishlov berildi. So'ngra PEI va APP (yoki APP/HNT) eritmaları teng hajmda aralashtirilib, suvda eruvchan polielektrolit kompleks hosil qilindi.

Emdirish jarayoni va qoplama hosil qilish

Poliuretan ko'pik namunalariga qoplama ikki bosqichda yotqizildi :
1-bosqich (primerlash): PUF namunasi 1% li PAA eritmasiga (pH=2) 5 daqiqa davomida botirildi.
2-bosqich (qoplama): PAA bilan ishlangan namuna tayyorlangan PEC eritmasiga 1 daqiqa davomida botirildi va so'ngra 1 soat davomida 70°C da quritildi.
3-bosqich (mustahkamlash): Quritilgan namuna 100 mM sitrat buferiga (pH=3) 5 daqiqa botirildi, so'ngra distillangan suvda 5 daqiqa yuvildi va 16 soat davomida 70°C da quritildi.

PLA to'qimalari uchun PET-RAFT polimerizatsiyasi usuli qo'llanildi : PLA namunasi avval dopamin eritmasida (2 mg/ml, Tris bufer pH=8.5) 12 soat davomida ishlov berilib, yuzasida polidopamin (PDA) qatlami hosil qilindi. So'ngra PDA bilan qoplangan namuna radikal zanjir uzatuvchi agent (CDTPA) eritmasida 24 soat davomida saqlandi. Keyingi bosqichda DEMMP va VBImBF₄ monomerleri (1:1 mol

nisbatda) va ZnTPP fotokatalizatori ishtirokida, sariq LED yorug'ligi ($\lambda=590$ nm) ostida 6 soat davomida PET-RAFT polimerizatsiyasi amalga oshirildi.

Yog'och namunalariga ishlov berish vakuum-emdirish usulida olib borildi: namunalar avval PEI/fitik kislota kompleksi eritmasida 40 sekund davomida 55 bar bosim ostida saqlandi, so'ngra sitrat buferida (pH=3) xuddi shunday sharoitda ishlov berildi.

Tadqiqot usullari va jihozlari

Fizik-kimyoviy tahlil usullari

Qoplamalarning morfologiyasi va qalinligi skanerlovchi elektron mikroskop (SEM, JEOL JSM-IT500) yordamida o'rganildi. Namunalar yuzasiga oltin bilan napyleniy qilinib, 5-10 kV kuchlanishda tasvirlar olindi. Qoplamalarning kimyoviy tarkibi va element tahlili energiya dispersiv rentgen spektroskopiyasi (EDS, Oxford Instruments) bilan birgalikda amalga oshirildi. Polimerlarning molekulyar massasi va polidisperslik indeksi (PDI) gel-permeatsiya xromatografiyasi (GPC, Agilent 1260 Infinity) yordamida aniqlandi. Qoplamalarning substratga yopishish kuchi (adgeziya) skotch sinovi (ASTM D3359) va 90° burchak ostida delaminatsiya qilish usuli bilan o'lchandi.

Termik va yong'in xavfsizligi sinovlari

Materiallarning termik barqarorligi termogravimetrik analizator (TGA, Netzsch TG 209 F1) yordamida azot atmosferasida, 30°C dan 800°C gacha, 10°C/min isitish tezligida o'rganildi. Chegaraviy kislorod indeksi (LOI) ASTM D2863 standarti bo'yicha HC-2 tipidagi LOI analizatorida aniqlandi. Vertikal yonish testi (UL-94) ASTM D3801 standartiga muvofiq, namunalarni 50 W olov manbaiga 10 soniya davomida tutib, yonish vaqti va erigan tomchilar hosil bo'lishi kuzatildi. Yong'in xavfsizligining asosiy ko'rsatkichlari – issiqlik ajralish tezligi (HRR), eng yuqori issiqlik ajralish tezligi (pkHRR), umumiy issiqlik ajralishi (THR) va tutun hosil qilish tezligi (SPR) konus kalorimetri (Fire Testing Technology, FTT) yordamida ASTM E-1354-12 standarti bo'yicha, 35 kVt/m² tashqi issiqlik oqimida o'lchandi.

Ekspluatatsion xususiyatlarni baholash

Qoplamalarning yuvishga chidamliligi namunalarni 50 marta standart yuvish siklidan o'tkazish (ISO 105-C06) va har 10 sikl keyin LOI qiymatini qayta aniqlash orqali baholandi. Mexanik sinovlar – uzilishdagi mustahkamlik va uzilishdagi cho'zilish universal sinov mashinasi (Instron 3366) yordamida ASTM D5034 standartiga muvofiq o'tkazildi. Qoplamaning namlik va kimyoviy moddalarga chidamliligi namunalarni turli pH dagi eritmalarda (pH=3, 7, 11) 7 kun saqlab, ularning adgeziya va yong'in xavfsizligi ko'rsatkichlaridagi o'zgarishlarni kuzatish orqali aniqlandi.

II. NATIJALAR

Polimer qoplamalarning sintezi va tarkibiy xususiyatlari

Polielektrolit komplekslarning hosil bo'lish kinetikasi

Tadqiqot davomida turli tarkibdagi polielektrolit komplekslarning (PEC) hosil bo'lish jarayoni o'rganildi. PEI (kation) va APP (anion) asosidagi tizimda kompleks hosil bo'lishi eritmaning loyqalanishi va zarracha o'lchamining oshishi bilan tavsiflandi. Dinamik yorug'lik sochilishi (DLS) tahlili shuni ko'rsatdiki, neytral pH (6.5-7.0) qiymatlarida komplekslarning gidrodinamik diametri 200-400 nm oralig'ida

bo'lib, bu ularning suvda eruvchanligini ta'minlagan. pH ning pasayishi (4.5 dan pastga) bilan komplekslarning agregatsiyasi kuchayib, cho'kma hosil bo'lishi kuzatildi. Bu hol sitrat buferi bilan ishlov berish bosqichida muhim ahamiyat kasb etadi, chunki kislotali muhitda kompleksning substrat yuzasida mahkamlanishi va erimaydigan holatga o'tishi yuz beradi.

Halloysit nanonaychalari (HNT) qo'shilgan PEI/APP tizimida komplekslarning o'rtacha o'lchami biroz oshib (350-500 nm), ularning zaryad barqarorligi (zeta-potensial) yuqori bo'lganligi sababli agregatsiyaga chidamliligi ortdi. Ultratovushli dispersiya HNT larning eritmada bir tekis taqsimlanishiga va polielektrolitlar bilan o'zaro ta'sirining kuchayishiga olib keldi. SEM tahlili natijalari shuni tasdiqladiki, PEI/APP/HNT qoplamasi (1-rasmda keltirilganidek) bir tekis, uzluksiz va nisbatan g'adir-budur sirt morfologiyasiga ega bo'lib, unda nanonaychalar polimer matritsasida tartibli joylashgan. Buning aksicha, faqat PEI/APP asosidagi qoplama silliqroq va bir jinsli tuzilishga ega edi.

Fotopolimerizatsiya (PET-RAFT) usulida qoplama hosil qilish

PLA to'qimalari yuzasida PET-RAFT polimerizatsiyasi orqali P(DEMMP-co-VBImBF₄) kopolimer "cho'tkalar" ni o'stirish jarayoni muvaffaqiyatli amalga oshirildi. GPC tahlili polimerlanishning nazorat ostida borishini ko'rsatdi: molekulyar massaning vaqtga bog'liq holda chiziqli o'sishi va polidisperslik indeksi (PDI) qiymatlarining 1.5 dan past bo'lishi (1.2-1.4 oralig'ida) reaksiyaning "tirik" xarakterga ega ekanligini tasdiqladi. Bu ko'rsatkich polimer zanjirlarining bir xil uzunlikda va tuzilishda ekanligini, reaksiyada zanjir uzilish va uzatish jarayonlarining minimal darajada kechganligini anglatadi.

SEM tahlilida PDA bilan ishlangan va monomerlar bilan polimerlangan PLA tolalari yuzasida silliq tolalardan farqli ravishda, 200-500 nm qalinlikdagi notekis, "qobiq" shaklidagi qatlam hosil bo'lganligi aniq ko'rindi. Bu qatlam tolalar yuzasini to'liq qoplab, ular bilan kimyoviy bog'langan. EDS tahlili ushbu qatlam tarkibida fosfor (P), bor (B), fluor (F)

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR

1. Cain, A.A., Murray, S., Holder, K.M., Nolen, C.R., Grunlan, J.C. Intumescent Nanocoating Extinguishes Flame on Fabric Using Aqueous Polyelectrolyte Complex Deposited in Single Step. *Macromolecular Materials and Engineering*. 2014. 299(10), 1180–1187. <https://doi.org/10.1002/mame.201400022>
2. Cheng, X.-W., Tang, R.-C., Yao, F., Yang, X.-H. Flame retardant coating of wool fabric with phytic acid/polyethyleneimine polyelectrolyte complex. *Progress in Organic Coatings*. 2019. 132, 336–342. <https://doi.org/10.1016/j.porgcoat.2019.04.018>
3. Fisher, S.G., Iverson, E.T., Smith, D.L., Grunlan, J.C. Fish-Based Biopolymer Complex Coacervate Coating for Improved Paper Oxygen and Water Barrier. *Biomacromolecules*. 2026.
4. Fisher, S.G., Smith, D.L., Iverson, E.T., Grunlan, J.C. Biopolymer and Carnauba Wax Coating for Improved Paper Oxygen Barrier, Water Vapor Barrier, and Grease Resistance. *ACS Applied Materials and Interfaces*. 2025.

5. Grunlan, J.C. "Layer-by-Layer Assembly of Flame Retardant Coatings for Foam and Fabric." Final Report. *Grant/Contract Reports (NISTGCR)*. 2012. 12-963. National Institute of Standards and Technology. <https://doi.org/10.6028/NIST.GCR.12-963>
6. Haile, M., Fincher, C., Fomete, S., Grunlan, J.C. Water-soluble polyelectrolyte complexes that extinguish fire on cotton fabric when deposited as pH-cured nanocoating. *Polymer Degradation and Stability*. 2015. 114, 60–64. <https://doi.org/10.1016/j.polymdegradstab.2015.01.022>
7. He, J.L., Luo, W., Wang, T., He, L., Deng, J.N., Fu, Z.C., Grunlan, J.C., Chen, M.J. Polyelectrolyte Complex with Controllable Viscosity by Doping Cu(2+) Protects Nylon-Cotton Fabric against Fire. *ACS Applied Materials and Interfaces*. 2022. 14(48), 54225–54232. <https://doi.org/10.1021/acsami.2c16343>
8. OLIMOVA, MOHINUR KARIMJON QIZI. "ANTIPYRENE PREPARATION BASED ON PHOSPHORIC ACID WITH CARBAMIDE." *INTERNATIONAL JOURNAL* 3.10 (2020): 292-299.
9. Аскарлов, Абборжон Кахраманович, Муаззам Ахмаджоновна Джураева, and Мохинур Каримовна Олимова. "СТРУКТУРНЫЕ ВЫВОДЫ НА ОСНОВЕ ЯКР." *Актуальные научные исследования в современном мире* 7-4 (2020): 94-96.
10. QIZI, OLIMOVA MOHINUR KARIMJON. "Study of the Fire Retardant Properties of the Synthesized Samples." *JournalNX* 6.09: 72-75.
11. Mukaramovich, Akhmedov Sultan. "Non-Metallic Materials Polymers." *Eurasian Journal of Engineering and Technology* 12 (2022): 112-114.
12. Mukaramovich, Akhmedov Sultan. "Non-Metallic Materials Polymers." *Eurasian Journal of Engineering and Technology* 12 (2022): 112-114.
13. Набиев, Абдурахим Абдухамидович, and Султан Мукарамович Ахмедов. "ОШ ТУЗИ ЭЛЕКТРОЛИЗИНИНГ ХАРОРАТГА БОҒЛИҚЛИГИНИ ТАДҚИҚ ҚИЛИШ." *PEDAGOGS jurnali* 24 (2022): 134-138.