



UDK:621.791.35: 539.3. 661.2

Zokirjon TEMIROV,

O'zbekiston Milliy universiteti o'qituvchisi

E-mail: zokirjon.temirov.94@mail.ru

Jaxongir XAQQULOV,

PhD, O'zbekiston Milliy universiteti

Nurbek ASHUROV,

f.-m.f.n., katta ilmiy xodim, O'zR FA Polimerlar kimyosi va fizikasi instituti

O'zbekiston Milliy universiteti professori, f.-m.f.d. M. Isayev taqrizi asosida

MORPHOLOGY OF POLYACRYLAMIDE-BASED NANOFIBROUS NONWOVEN POLYMER MATERIALS

Annotation

Using an electrospinning setup, optimal conditions were selected for obtaining a nanofibrous nonwoven polymer material by adding various amounts of fibroin to a 4 wt.% polyacrylamide solution. According to these conditions, a constant voltage of 25 kV was applied to the spinneret ($\varnothing < 1$ mm) mounted on the syringe containing the solution, which served as the anode. Under the applied electric field, nanofiber formation was carried out at a distance of 12–15 cm between the spinneret and the collector (cathode).

Key words: electrospinning, polyacrylamide, fibroin, composite coating, scanning electron microscopy, solution, nanofiber.

ПОЛИАКРИЛАМИД-ОСНОВАННЫХ НАНОВОЛОКНИСТЫХ НЕТКАНЫХ ПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ МОРФОЛОГИЯ

Аннотация

С использованием установки электроформования (electrospinning) были подобраны оптимальные условия для получения нановолокнистого нетканого полимерного материала путем добавления различных количеств фиброина в 4%-ный раствор полиакриламида. Согласно выбранным условиям, на фильере ($\varnothing < 1$ мм), установленную на шприце резервуара с раствором и выполняющую функцию анода, подавалось постоянное напряжение 25 кВ. Под действием данного напряжения формирование нановолокон осуществлялось на расстоянии 12–15 см между фильерой и экраном (катодом).

Ключевые слова: электроформование (electrospinning), полиакриламид, фиброин, композитное покрытие, сканирующая электронная микроскопия, раствор, нановолокно.

POLIAKRILAMID ASOSIDA OLINGAN NANOTOLALI NOTO'QIMA POLIMER MATERIALLAR MORFOLOGIYASI

Annotatsiya

Elektrospinning qurilmasi yordamida, Poliakrilamidning 4 % li eritmasiga turli miqdorlarda fibroin qo'shish orqali nanotola noto'qima polimer material olish uchun optimal sharoit tanlandi, unga binoan eritma solinadigan rezirvuvar shprintsiga o'rnatilgan fileraga ($\varnothing < 1$ mm), ya'ni anodga 25 kV doimiy kuchlanish berildi va bunday kuchlanish ta'siri ostida feleradan ekran (katod) gacha bo'lgan 12-15 sm masofada nanotolalar shakllantirish amalga oshirildi.

Kalit so'zlar: elektrospinning, poliakrilamid, fibroin, kompozit qoplama, skanerlovchi elektron mikroskopik, eritma, nanotola.

Kirish. Elektrospinning polimer nanotolalarini ishlab chiqarishning samarali texnikasi sifatida tan olingan. So'nggi yillarda turli polimerlar asosan erituvchilarda, ba'zilar esa erigan holda ultranozik tolalarga elektrospin qilingan. Ushbu tolalar asosidagi potentsial qo'llanmalar, xususan, ularning nanokompozit ishlab chiqarishda mustahkamlash vositasi sifatida ishlatilishi amalga oshirildi [1].

Nanotolalar katta sirt hajmiga ega yuqori g'ovakli to'r hosil qilish qobiliyatiga ega bo'lib, bu ularning suvni filtrlash, to'qimalarni muhandislik qilish, yaralarni davolash, tola kompozitlari, dori chiqarish va himoya kiyimlari kabi turli sohalarda samaradorligini oshiradi. Yakka nanotolalar dori yetkazib berish uchun yumshoq mikrorobotlar sifatida foydalanish imkoniyatiga ega bo'lishi mumkin [2].

Elektrospinning nanotolalarda dori yuklash yarani to'g'ridan-to'g'ri dori bilan ta'minlash va yara bitishini tezlashtirish uchun yangi usul sifatida katta e'tiborni tortdi [3].

Yuqori molekulyar massali poliakrilamid sintezi akrilamid manomerini konsentrlangan suvli eritmasidan kimyoviy radikal inisiator yoki ionlovchi nurlanish ta'siri ostida xona harorati sharoitida amalga oshiriladi [4]. Agar harorat 50 gradusdan yuqori bo'lsa zanjir uzatish reaksiyasi yoki imidizatsiya jarayonlari amalga oshib tarmoqlangan yoki uch o'lchamli tikilgan, erimaydigan polimer xosil bo'ladi. Ko'pchilik xollarda kimyoviy reaksiyalar asosida polimeranalogik kislotali va ishqoriy gidrolizi amalga oshirilib, uning yuqori faollikka ega ionli xosilalari va sopolimerlari xosil qilinadi [5].

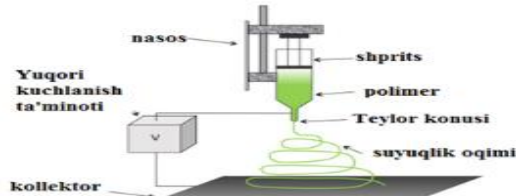
Molekulyar massaviy tavsiflari bo'yicha poliakrilamid va ularni sopolimerlari chiziqiligi, tarmoqlangan darajasi, mikromolekulyar zanjirining o'lchami, molekulyar massasi (MM) va molekulyar-massaviy taqsimoti (MMT) bilan farqlanadi. Poliakrilamid (PAA) moslashuvchanlik, gidrofillik va yuqori yopishish xossalarini ta'minlaydi [6].

Gidrodinamik xossalari bo'yicha poliakrilamid namunalari eritnada noionogen va ionogen molekulyar tuzulishiga ko'ra har xil konformatsion o'zgarishlar nomoyon qilishi kuzatiladi. Ionogen namuna suyultirilganda polielektrolitlarga xos bo'lgan

konzentratsion anomaliya ro'y beradi. Bunga sabab konsentratsiya kamaygan sayin polielektrolitik bo'kish, ya'ni makromolekulalararo masofalash oshishi va bir xil ionogen guruxlarining o'zaro ta'sirlashishi tufayli ro'y beradigan konformatsiya o'zgarishlar eritmaga tuz ionlarini qo'shish orqali bartaraf etiladi [7].

Fibroin ipak qurti bezining fibroin bo'limida 30 % li suvli eritma ko'rinishida ishlab chiqariladi. Shuning uchun siztezlangan fibroin avval boshdan suv ichida bo'ladi. Fibroin peptid tuzulishiga egaligining isboti 1902-yilda Fisher tomonidan olingan [8]. Zanjiridagi amin guruhi (NH₂) asos xarakteriga karboksil guruhi (COOH) esa kislota xarakteriga ega.

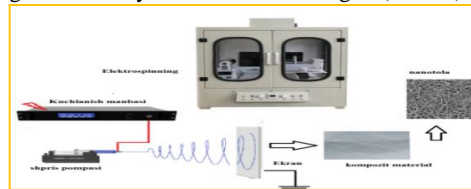
Tadqiqot metodologiyasi. Nanotolalar shakllantirishda eng zamonaviy usullardan biri elektrospinning bo'lib, bu usulning prinsipial asosi aslida 1934-yilda tavsiya etilgan [9-10]. Unda eritma oqimi bo'ylab yuqori kuchlanishli doimiy elektr maydoni ta'sir ettirilganda, erituvchini bug'lanishi hamda polimer molekullari bir-biriga orientatsion birikib 10 – 30 sm masofada tolalar shakllanishi kuzatilgan (1-rasm). Buning uchun yaqin maydonli elektrospinning (*near-field electrospinning process*) qo'llanilgan va uning samaradorligi hozirda jadal rivojlanayotgan polimer nanotolalar olishning yangi davri boshlab bergan.



1-rasm. Elektrospinning jarayonining prinsipial chizmasi.

Elektr maydonida fileradan chiqayotgan polimer suyuq fazali oqimdan erituvchining bug'lanishi va makromolekulalarning orientatsion eshilgan holda nanotolalar bo'lib shakllanib ekranga borib tushadi.

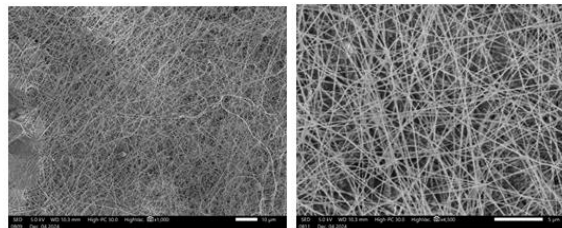
Tahlil va natijalar. Mahalliy polimer xom-ashyolar asosida nanotolali noto'qima materiallar yaratishning texnologiyalarini amalga oshirish bo'yicha ilmiy-tadqiqotlar olib borilmoqda. Ushbu tadqiqotlar hozirda yuqori texnologik yondoshishga asoslangan elektrospinning uskunasi yordamida olib borilgan (2-rasm).



2-rasm. Elektrospinning qurilmasi

Ushbu elektrospinning qurilmasi yordamida, Poliakrilamidning 4 % li eritmasidanga turli miqdordlarda fibroin qo'shish orqali nanotolali noto'qima polimer material olish uchun optimal sharoit tanlandi, unga binoan eritma solinadigan rezirvuar shpritsga o'rnatilgan fileraga ($\varnothing < 1$ mm), ya'ni anodga 25 kV doimiy kuchlanish berildi va bunday kuchlanish ta'siri ostida feleradan ekran (katod) gacha bo'lgan 12-15 sm masofada nanotolali noto'qima polimer materiallarni shakllantirish amalga oshirildi.

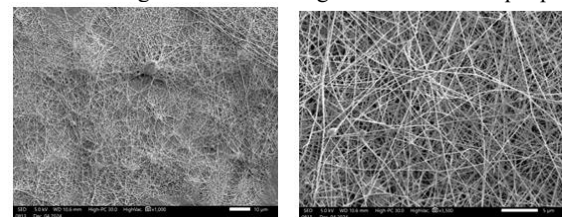
Tarkibida turli xil miqdorda fibroin bo'lgan poliakrilamid asosida olingan nanotolali noto'qima polimer materiallarning skanerlovchi elektron mikroskopik tadqiqotlari natijalari tolalar diametrlari ularning olinish sharoitlariga qarab bir-biridan farq qilishini ko'rsatadi.



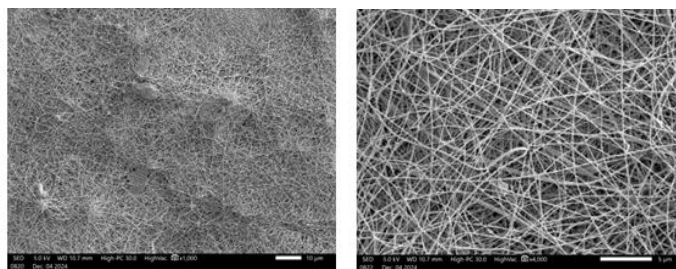
3-rasm. Tarkibida 5 % fibroin bo'lgan poliakrilamid asosida olingan nanotolali noto'qima materialning elektron mikroskopik tasviri

Tarkibida 5 % miqdorda fibroin tutgan poliakrilamid asosida elektrospinning usulida olingan nanotolali noto'qima polimer materiallar morfologiyasi o'rganilganda nanotolalar o'lchamlari yani diametri 70 nm dan 400 nm oralig'ida ekanligi aniqlandi(3-rasm).

Tarkibida 10 % miqdorda fibroin tutgan poliakrilamid asosida elektrospinning usulida olingan nanotolali noto'qima polimer materiallar morfologiyasi o'rganilganda nanotolalar o'lchamlari yani diametri 70 nm dan 270 nm oralig'ida ekanligi aniqlandi (4-rasm). Bundan ko'rinish turibdiki 10 % fibroin tutgan nanotolalarning o'lchamlari torroq taqsimotga ega ekan.



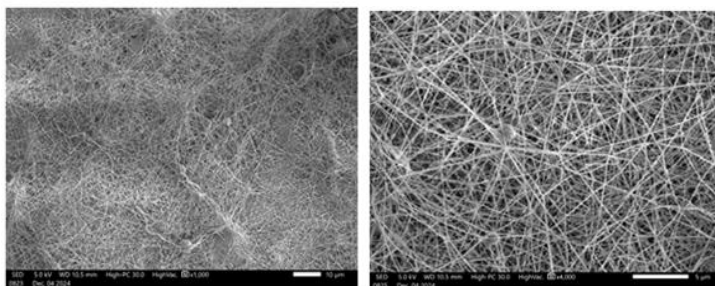
4-rasm. Tarkibida 10 % fibroin bo'lgan poliakrilamid asosida olingan nanotolali noto'qima materialning elektron mikroskopik tasviri



5-rasm. Tarkibida 15 % fibroin bo'lgan poliakrilamid asosida olingan nanotolali noto'qima materialning elektron mikroskopik tasviri

Tarkibida 15 % miqdorda fibroin tutgan poliakrilamid asosida elektrosparing usulida olingan nanotolali noto'qima polimer materiallar morfologiyasi o'rganilganda nanotolalar o'lchamlari yani diametri 80 nm dan 522 nm oralig'ida ekanligi aniqlandi (5-rasm). Eritma tarkibidagi fibroin miqdorining oshishi bilan hosil bo'layotgan nanotolalar o'lchami yani diametrlari keng taqsimotga ega ekanligi kuzatildi.

Tarkibida 20 % miqdorda fibroin tutgan poliakrilamid asosida elektrosparing usulida olingan nanotolali noto'qima polimer materiallar morfologiyasi o'rganilganda nanotolalar o'lchamlari yani diametri 90 nm dan 300 nm oralig'ida ekanligi aniqlandi (6-rasm).



6-rasm. Tarkibida 20 % fibroin bo'lgan poliakrilamid asosida olingan nanotolali noto'qima materialning elektron mikroskopik tasviri

Bundan ko'rinadiki fibroin miqdorining 20 % ga oshishi nanotolalar o'lchamlarining kichiklashishiga olib keldi yani ularning taqsimoti toraydi.

Xulosa. Ushbu o'tkazilgan tadqiqodlar natijasida, Poliakrilamid (4%) eritmasiga turli miqdorlarda fibroin qo'shish orqali elektrosparing usulida olingan nanotolali noto'qima polimer materillarning skanerlovchi elektron mikroskopik tasvirlari shuni ko'rsatadiki tarkibida 5% va 10 % fibroin bo'lgan nanotolali noto'qima polimer materillarda nanotolalar diametrlari torayganini ko'rishimiz mumkin, tarkibida 15% va 20 % fibroin bo'lgan nanotolali noto'qima polimer materillarda nanotolalar diametrlari esa kengayganini ko'ramiz, demak qo'shilayotgan fibroin konsentratsiyasi ortishi bilan o'rtacha tola diametri ham oshdi. Bu elektrosparing paytida eritmaning qovushqoqligi va oqimni hosil qiluvchi kuchga qarshiligining oshishi natijasi bo'lib, bu tolalar diametrlarining oshishiga olib keldi.

ADABIYOTLAR

1. Chjen-Ming Xuan, Y.Z. Chjan, M. Kotakl. S.Ramakrishna. A riview on polymer nanofibers by electrospinning and their applications in nanocomposites // *Composites Science and Technology*, 2003, V. 63. P. 2223-2253.
2. Hasan M.Ibrohim, Anke Klinger. A review on electrospun polymeric nanofibers: Production parameters and potential applications // *Polymer TestinG* 2020, V-90, P-106647.
3. Abbas Rahdar, M.Diez-Pascual. Curcumin Sustained Release with a Hybrid Chitosan-Silk Fibroin Nanofibers Containing Silver Nanoparticles as a Novel Highly Efficient Antibacterial Wound Dressing // *Nanomaterials* 2022, 12(19), 3426.
4. Журавлева И.И., Акопьян В.А. Высокомолекулярные соединения // Изд. «Самарский университет» . Самара 2014. 526 с.
5. Байбурдов Т.А., Шиповская А.Б. Синтез, химические и физико-химические свойства полимеров акриламида // *СарГУ. имени Н.Г.Чернышевского* . -Саратов, 2014.- 67 с.
6. Khakkulov J., Temirov Z. Electrochemical formation of polyacrylamide-sulfur composite coatings on titanium surfaces // *Results in Optics* 2025-05 | Journal article DOI:10.1016/j.rjo.2025.100804 Part of ISSN: 2666-9501
7. Magoshi J., Magoshi Y., Becker M., Nakamura S. Fiber formation and crystalization of silk // *The 9-th Internet. Wool Textile Research Conference: Abstract.- Tsukuba (Japan0, 1995.-P. 323-330.*
8. J. M. Khakkulov, Z. Sh. Temirov, B. M. Matyakubov, and A. P. Sultanov, Formation of Layered Nanofibric Materials and Composite Coatings, *Mod. Phys. Lett. B* 38, 2450175 (2024).
9. A. A. Kholmuminov, B. M. Matyakubov and T. T. Rakhmonov, *Chem. Mater. Sci. Res.J.* 3(2) (2021) 15, doi: 10.51594/cmsrj.v3i2.216.
10. K. Yang, X. Chu, X. Zhang, X. Li, J. Zheng, S. Li, N. Li, T. A. Sherazi and S. Zhang, *J. Membr. Sci.* 603 (15) (2020) 118025, doi: 10.1021/acsaem.9b00674.