

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ ҒЫЛЫМ ЖӘНЕ ЖОҒАРҒЫ БІЛІМ
МИНИСТРЛІГІ

Қ.И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университеті
Ө.А. Байқоңыров атындағы Тау-кен металлургия институты
«Материалтану, нанотехнология және инженерлік физика» кафедрасы

Айталиева Наргиз Маратқызы

«Электроспиннинг арқылы алынатын талшықты өнімдердің қолданылуы
және ерекшеліктері»

ДИПЛОМДЫҚ ЖҰМЫС

6B07109– Инженерлік физика және материалтану білім беру бағдарламасы

Алматы 2024

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ ҒЫЛЫМ ЖӘНЕ ЖОҒАРҒЫ БІЛІМ
МИНИСТРЛІГІ

Қ.И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университеті
Ө.А. Байқоңыров атындағы Тау-кен металлургия институты
«Материалтану, нанотехнология және инженерлік физика» кафедрасы

ДОПУЩЕН К ЗАЩИТЕ
НАО «КазННТУ им.К.И.Сатпаева»
Горно-металлургический институт
им. О.А. Байқоңырова

ҚОРҒАУҒА ЖІБЕРІЛДІ

«МНЖИФ» кафедра
меңгерушісі, PhD

К.К.Кудайбергенов

«13» маусым 2024ж.

ДИПЛОМДЫҚ ЖҰМЫС

Тақырыбы: «Электроспиннинг арқылы алынатын талшықты өнімдердің
қолданылуы және ерекшеліктері»

6B07109 – «Инженерлік физика және материалтану»
білім беру бағдарламасы

Орындаған:

Айталиева Н.М.

Пікір беруші
Абай атындағы ҚазҰПУ, PhD,
қауымдастырылған профессор

Тілеуберді Ербол
«10» маусым 2024ж

Ғылыми жетекші

Ф.-м.ғ.к., аға оқытушы

Бейсебаева А.С.

«08» маусым 2024ж

Алматы 2024

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ ҒЫЛЫМ ЖӘНЕ ЖОҒАРҒЫ БІЛІМ
МИНИСТРЛІГІ

Қ.И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университеті
Ө.А. Байқоңыров атындағы Тау-кен металлургия институты
«Материалтану, нанотехнология, және инженерлік физика» кафедрасы

БЕКІТЕМІН

«МНЖИФ» кафедра
меңгерушісі, PhD

Кудайбергенов К.К.

«13» шілде 2024ж.

Дипломдық жұмыс орындауға

ТАПСЫРМА

Білім алушы: Айталиева Н.М.

Тақырыбы: «Электроспиннинг арқылы алынатын талшықты өнімдердің
қолданылуы және ерекшеліктері»

Университет ректорының "04" желтоқсан 2023 жылғы №548-П/Ө
бұйрығымен бекітілген.

Аяқталған жұмысты тапсыру мерзімі "13" шілде 2024 ж.

Дипломдық жұмыстың бастапқы берілістері:

- 1) Электроспиннинг процесі.
- 2) Талшықтарды алу тәртібі.

Дипломдық жұмыста қарастырылған мәселелер:

1. Электроспиннинг процесінің параметрлерін және олардың талшықтардың қасиеттеріне әсерін анықтау;
2. Тәжірибе жүргізу және талшықты өнімдердің алынған үлгілерін талдау.

Ұсынылған негізгі әдебиет атауы:




1. Fromager B. et al. Recent Advances in Electrospun Fibers for Biological Applications //Macromol.

2. Luo, C.J.; Stoyanov, S.D.; Stride, E.; Pelan, E.; Edirisinghe, M. Electrospinning versus Fibre Production Methods: From Specifics to Technological Convergence.

Дипломдық жұмысты дайындау
КЕСТЕСІ

Бөлім атаулары, қарастырылатын мәселелер тізімі	Ғылыми жетекшіге, кеңесшілерге көрсету мерзімдері	Ескерту
Әдеби шолу	13.02.2024-20.03.2024	
Тәжірибелік бөлім	15.04.2024-25.04.2024	
Дипломдық жұмысны алдын-ала қорғау	29.04.2024	

Дипломдық жұмыс бөлімдерінің кеңесшілері мен норма бақылаушының аяқталған жұмысқа қойған қолтаңбалары (жұмысқа қарасты тараулардың нұсқаумен)

Бөлімдер атауы	Ғылыми жетекші, кеңесшілер (аты-жөні, тегі, ғылыми дәрежесі, атағы)	Қолтаңба қойылған мерзімі	Қолы
Әдеби шолу	Бейсебаева А.С., қау. профессор, физика-математика ғылымдарының кандидаты, доцент		
Тәжірибелік жұмыстар	Бейсебаева А.С., қау. профессор, физика-математика ғылымдарының кандидаты		
Нормоконтролер	Етиш Т.Е., техника ғылымдарының магистрі, ассистент		

Ғылыми жетекшісі:
Тапсырманы орындауға білім алушы:

 Бейсебаева А.С.
Айталиева Н.М.

Күні

« 13 » сәуір 2024ж

**Университеттің жүйе администраторы мен Академиялық мәселелер департаменті
директорының ұқсастық есебіне талдау хаттамасы**

Жүйе администраторы мен Академиялық мәселелер департаментінің директоры көрсетілген еңбекке қатысты дайындалған Плагиаттың алдын алу және анықтау жүйесінің толық ұқсастық есебімен танысқанын мәлімдейді:

Автор: Айталиева Н.М.

Тақырыбы: Электроспиннинг арқылы алынатын талшықты өнімдердің қолданылуы және ерекшеліктері

Жетекшісі: Бейсебаева А.С.

1-ұқсастық коэффициенті (30): 0.4

2-ұқсастық коэффициенті (5): 0

Дәйексөз (35): 0.3

Әріптерді ауыстыру: 10

Аралықтар: 0

Шағын кеңістіктер: 1

Ақ белгілер: 0

Ұқсастық есебін талдай отырып, Жүйе администраторы мен Академиялық мәселелер департаментінің директоры келесі шешімдерді мәлімдейді :

Ғылыми еңбекте табылған ұқсастықтар плагиат болып есептелмейді. Осыған байланысты жұмыс өз бетінше жазылған болып санала отырып, қорғауға жіберіледі.

Осы жұмыстағы ұқсастықтар плагиат болып есептелмейді, бірақ олардың шамадан тыс көптігі еңбектің құндылығына және автордың ғылыми жұмысты өзі жазғанына қатысты күмән тудырады. Осыған байланысты ұқсастықтарды шектеу мақсатында жұмыс қайта өңдеуге жіберілсін.

Еңбекте анықталған ұқсастықтар жосықсыз және плагиаттың белгілері болып саналады немесе мәтіндері қасақана бұрмаланып плагиат белгілері жасырылған. Осыған байланысты жұмыс қорғауға жіберілмейді.

Негіздеме:

Күні

24.05.2024



Кафедра меңгерушісі

Кудайбергенов К.К.

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ ҒЫЛЫМ ЖӘНЕ ЖОҒАРҒЫ БІЛІМ МИНИСТРЛІГІ
Қ.И. СӘТБАЕВ АТЫНДАҒЫ ҚАЗАҚ ҰЛТТЫҚ ТЕХНИКАЛЫҚ ЗЕРТТЕУ
УНИВЕРСИТЕТІ

СЫН-ШҚІР

Дипломдық жұмыс

Айталиева Наргиз Маратқызы

6В07109 – «Инженерлік физика және материалтану» білім беру бағдарламасы

Тақырыбы: «Электроспиннинг арқылы алынатын талшықты өнімдердің қолданылуы және ерекшеліктері»

Бұл дипломдық жұмыс электроспиннинг әдісі арқылы полимер мен мырыш ацетаты ерітіндісінен алынған талшықтардың ерекшеліктерін зерттеу болып табылады. Дипломдық жұмыс кіріспеден, үш бөлімнен және қорытындыдан тұрады.

Дипломдық жұмыстың бірінші бөлімінде электроспиннинг әдісі туралы жалпылама мағлұмат көрсетілген. Электроспиннинг әдісін принциптері мен басқару процесі кезеңдері сипатталған.

Дипломдық жұмыстың екінші бөлімінде талшықтардың қазіргі уақытта талшықты технология саласында, әсіресе техника мен ғылым салаларында қолдану аясы туралы жақсы мысалдар жазылған.

Дипломдық жұмыстың үшінші бөлімі тәжірибелік процесстің нәтижесі мен оны талдауға арналған. Тәжірибелік жұмыс кезінде полимер мен мырыш ацетаты ерітіндісінен талшық алынды, және басқа алынған талшықпен салыстыру ретінде ерекшеліктер сипатталды.

Айталиева Н.М. дипломдық жұмысы зерттеу нәтижелерін талдау ғылыми прогреске ықпал ететін және жаңа өнеркәсіптік қосымшаларды ашатын инновациялық талшықты материалдарды жасауда электроспиннинг әдісінің маңыздылығы мен тиімділігін көрсетеді.

Дипломдық жұмыста орфографиялық сарындағы олқылықтарға жол берілген. Бірақ бұл ескертпе Айталиева Н.М. дипломдық жұмыстың құндылығын ешбір төмендетпейді

ЖҰМЫСТЫҢ БАҒАСЫ

Жоғарыда айтылғандарды ескере отырып, Айталиева Н.М. дипломдық жұмысы зерттеу нәтижелерін талдау ғылыми прогреске ықпал ететін және жаңа өнеркәсіптік қосымшаларды ашатын инновациялық талшықты материалдарды жасауда электроспиннинг әдісінің маңыздылығы мен тиімділігін көрсетеді.

Айталиева Н.М. дипломдық жұмысы талапқа сай жасалынған және 90% (А-) «өте жақсы» деген бағаға лайық.

Пікір беруші:

Абай атындағы ҚазҰПУ
РиФ, қауымд. профессор

Тілеуберді Е.



АҢДАТПА

Дипломдық жұмыстың тақырыбы «Электроспиннинг арқылы алынатын талшықты өнімдердің қолданылуы және ерекшеліктері». Дипломдық жұмыс кіріспеден, үш тараудан және қорытынды мен нәтижелерден тұрады. Мәліметтер 50 беттен, 18 суреттен, 2 кестеден тұрады. Келтірілген әдебиеттер тізімі 29 атаудан тұрады.

Бұл дипломдық жұмыс электроспиннинг әдісін зерттеуге және оны талшықты материалдарды өндіруге қолдануға арналған. Электроспиннинг әдісі әртүрлі полимерлі және бейорганикалық материалдардан микро және наноқұрылымды талшықтарды алудың тиімді әдісі болып табылады. Жұмыста ерітінділерді дайындау, электр өрісінің әсерінен талшық құрылымын қалыптастыру, сондай-ақ алынған үлгілерді талдау әдістерін қамтитын электроспиндік процестің негізгі принциптері мен кезеңдері егжей-тегжейлі қарастырылады.

Зерттеу әдістемесі эксперименттік қондырғының сипаттамасын және әртүрлі материалдар мен процесс параметрлерін пайдаланатын эксперименттер сериясын қамтиды. Алынған талшық үлгілері олардың морфологиясын, құрылымын және өлшемін бағалау үшін оптикалық микроскоптың көмегімен талданады.

Зерттеу нәтижесінде электроспиннинг процесінің әртүрлі жағдайларында талшық түзілу ерекшеліктері, олардың химиялық құрамы мен қасиеттері белгіленді. Алынған талшықты материалдардың биомедициналық, электроника, тоқыма және энергетика сияқты әртүрлі салалардағы әлеуетті қолданылуы талқыланады.

Қорытындылай келе, электроспиннинг әдісінің даму перспективалары және кең ауқымды қасиеттері бар жаңа функционалды материалдарды жасау үшін оны қолдану мүмкіндіктері туралы қорытындылар жасалады. Алынған нәтижелерді нанотехнология және материалтану саласындағы одан әрі зерттеулер мен әзірлемелерде пайдалануға болады.

АННОТАЦИЯ

Тема дипломной работы: «Применение и особенности волоконной продукции полученные методом электроспиннинга». Диссертация состоит из введения, трех глав, заключения и результатов. Информация состоит из 50 страниц, 18 изображений, 2 таблиц. Список цитируемой литературы состоит из 29 наименований.

Данная дипломная работа посвящена исследованию метода электроспиннинга и его применению для получения волоконных материалов. Метод электроспиннинга является эффективным способом получения микро- и наноструктурных волокон из различных полимерных и неорганических материалов. В работе подробно рассматриваются основные принципы и этапы процесса электроспиннинга, включая подготовку растворов, образование волоконной структуры под воздействием электрического поля, а также методы анализа полученных образцов.

Методика исследования включает описание экспериментальной установки и проведение серии экспериментов с использованием различных материалов и параметров процесса. Полученные образцы волокон анализируются с помощью оптического микроскопа для оценки их морфологии, структуры и размеров.

В результате исследования установлены особенности формирования волокон при различных условиях процесса электроспиннинга, их химический состав и свойства. Обсуждаются потенциальные области применения полученных волоконных материалов в различных отраслях, включая биомедицинскую, электронную, текстильную и энергетическую промышленность.

В заключении делаются выводы о перспективах развития метода электроспиннинга и возможностях его применения для создания новых функциональных материалов с широким спектром свойств. Полученные результаты могут быть использованы в дальнейших исследованиях и разработках в области нанотехнологий и материаловедения.

ANNOTATION

Topic of the thesis: “ Application and features of fiber products obtained by electrospinning.” The dissertation consists of an introduction, three chapters, a conclusion and results. The information consists of 50 pages, 18 images, 2 tables. The list of cited literature consists of 29 titles.

This thesis is devoted to the study of the electrospinning method and its application for the production of fiber materials. The electrospinning method is an effective way to obtain micro- and nanostructured fibers from various polymer and inorganic materials. The work discusses in detail the basic principles and stages of the electrospinning process, including the preparation of solutions, the formation of a fiber structure under the influence of an electric field, as well as methods for analyzing the resulting samples.

The research methodology includes a description of the experimental setup and a series of experiments using various materials and process parameters. The resulting fiber samples are analyzed using an optical microscope to evaluate their morphology, structure and size.

As a result of the study, the features of fiber formation under various conditions of the electrospinning process, their chemical composition and properties were established. Potential applications of the resulting fiber materials in various industries including biomedical, electronics, textiles and energy are discussed.

In conclusion, conclusions are drawn about the prospects for the development of the electrospinning method and the possibilities of its application to create new functional materials with a wide range of properties. The results obtained can be used in further research and development in the field of nanotechnology and materials science.

Мазмұны

КІРІСПЕ.....	9
1 ТЕОРИЯЛЫҚ НЕГІЗДЕР. ЭЛЕКТРОСПИННИНГ ӘДІСІНІҢ ПРИНЦИПТЕРІ ЖӘНЕ ТАЛШЫҚТАРДЫҢ ЕРЕКШЕЛІКТЕРІ.....	11
1.1 Процестің негізгі кезеңдері.....	11
1.2 Электроспиннинг арқылы алынған талшықтардың ерекшеліктері.....	14
1.3 Талшықты өнімдерді талдау және сипаттау әдістері.....	15
2 ЗЕРТТЕУ ӘДІСТЕМЕСІ. ЭЛЕКТРОСПИННИНГ ӘДІСІМЕН ТАЛШЫҚТЫ ӨНІМДЕРДІ ҚОЛДАНУ	17
2.1 Электроспиннинг процесі	17
2.2.1 Принциптер және зарядталған ағынның созылуы және жұқаруы.....	21
2.2.2 Электроспиннинг процесін басқару	25
2.3 Биологиялық зерттеулерге арналған электроспиннингтік тіректер	31
2.3.1 Жасушалы мәдинет үшін электроспиндік үш өлшемді тіректі қолдану	31
2.3.2 Материалдарды таңдау	34
3 НӘТИЖЕЛЕР ЖӘНЕ ОЛАРДЫ ТАЛДАУ	37
3.1 Алынған нәтижелердің сипаттамасы және талшықтардың негізгі сипаттамалары.....	37
3.2 Зерттеудің жетістіктерін мен нәтижелерді талдау.....	46
ҚОРЫТЫНДЫ.....	48
БЕЛГІЛЕУЛЕР МЕН ҚЫСҚАРТУЛАР	49
ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ.....	50

КІРІСПЕ

Қазіргі таңда өнеркәсіп пен ғылымның дамуында инновациялық технологиялар басты рөл атқарады. Осындай озық технологиялардың бірі – бірегей қасиеттері мен кең ауқымды қолдану аясы бар талшықтарды алуға мүмкіндік беретін электроспиннинг әдісі. Бұл дипломдық жобанда электроспиннинг әдісімен алынған талшықты өнімдердің қолданылуы мен ерекшеліктерін қарастырамыз.

Электроспиннинг әдісі полимер ерітінділерінен немесе балқымалардан талшықтар түзу үшін электростатикалық күштерді қолдануға негізделген. Бұл процесс нанометрлік диаметрі және жоғары бетінің ауданы бар талшықтарды шығарады, бұл оларға бірегей физика-химиялық қасиеттер береді. Осы қасиеттеріне байланысты электроспиннинг әдісімен алынған талшықтар биомедицина, электроника, композициялық материалдар өндірісі және басқалар сияқты әртүрлі салаларда қолданылады.

Зерттеудің өзектілігі. Бұл тақырыпты зерттеудің өзектілігі материалдарды өндірудің жаңа әдістеріне деген қызығушылықтың артуына ғана емес, сонымен қатар олардың өміріміздің әртүрлі аспектілеріне ықтимал әсер етуіне байланысты. Электроспиннинг арқылы алынған талшықты материалдар әртүрлі салаларда қолдануға мүмкіндік беретін бірегей физика-химиялық және механикалық қасиеттерге ие. Мысалы, био медицинада бұл материалдарды био үйлесімді импланттарды жасау, тоқыма инженерия және дәрі-дәрмек жеткізу үшін пайдалануға болады. Электроникада олар наноқұрылымды құрылғыларды жасау, электр өткізгіштігін арттыру және сенсорлардың жаңа түрлерін жасау үшін пайдаланылуы мүмкін. Басқа салаларда, мысалы, композициялық материалдарды өндіруде, электроспиндік талшық өнімдері соңғы материалдардың механикалық және жылулық қасиеттерін айтарлықтай жақсарта алады. Дегенмен, бұл әдіске деген қызығушылықтың артуына қарамастан, оны оңтайландыруға, процесті басқаруға және оны жаңа салаларда қолдануды кеңейтуге қатысты көптеген сұрақтар әлі де бар. Зерттеуде электроспиннинг әдісімен алынған талшықты өнімдердің қолданылуы мен сипаттамаларын терең зерттеуге, әртүрлі салаларында қолдану мүмкіндіктері туралы білімімізді кеңейтуге бағытталған.

Зерттеудің мақсаты. Бұл зерттеудің мақсаты электроспиннинг әдісімен алынған талшық өнімдерінің қолданылуы мен сипаттамаларын зерттеу болып табылады. Негізгі мақсат бұл әдістің өндіріс пен ғылымның әртүрлі салаларындағы әлеуеті мен мүмкіндіктерін анықтаудан тұрады. Атап айтқанда, зерттеу электроспиннинг арқылы өндірілген талшықтардың сипаттамаларын және олардың талшықты өндірудің баламалы әдістеріне қарағанда ықтимал артықшылықтарын жақсырақ түсінуге бағытталған.

Зерттеу мақсаттары:

1. Электроспиннинг әдісінің принциптерін және талшықтардың сипаттамаларын оқып білу.
2. Талшықты өнімдерді талдаудың қолданыстағы әдістеріне шолу.
3. Электроспиннинг процесінің параметрлерін және олардың талшықтардың қасиеттеріне әсерін анықтау.
4. Тәжірибе жүргізу және талшықты өнімдердің алынған үлгілерін талдау.
5. Өнеркәсіптің әртүрлі салаларында электроспиннинг әдісімен талшықтарды пайдалану мүмкіндігін бағалау.
6. Технологияларды дамыту перспективалары туралы қорытынды жасау және одан әрі зерттеу үшін ұсыныстар беру.

Зерттеудің негізгі мақсаты олардың потенциалды артықшылықтары мен қолдану салаларын анықтау үшін электроспиннинг әдісімен алынған талшықты өнімдерді пайдалану перспективалары мен тиімділігін бағалау. Осы мақсатқа жету үшін талшықтарды электроіру әдісімен өндіру ерекшеліктерін, олардың құрылымы мен қасиеттерін талдау, сондай-ақ талшық өнімдерін талдау мен сипаттаудың қолданыстағы әдістерін қарастыру қажет. Зерттеу сонымен қатар электроспиннинг әдісін қолдана отырып талшықты өнімдердің үлгілерін алу және оларды кейінгі талдау үшін эксперименталды зерттеулер жүргізуді қамтиды. Алынған деректер негізінде осы талшықтарды өнеркәсіп пен ғылымның әртүрлі салаларында пайдалануда талдау жасалады, бұл осы технологияны дамыту перспективалары туралы қорытынды жасауға және одан әрі қарай жұмысты жалғастыруға мүмкіндік береді.

1 ТЕОРИЯЛЫҚ НЕГІЗДЕР. ЭЛЕКТРОСПИННИНГ ӘДІСІНІҢ ПРИНЦИПТЕРІ ЖӘНЕ ТАЛШЫҚТАРДЫҢ ЕРЕКШЕЛІКТЕРІ

1.1 Процестің негізгі кезендері

Талшықты өнімдерді талдау және сипаттау әдістері. Электроспиннинг арқылы алынған талшықтардың қасиеттері мен сипаттамаларын бағалау үшін әртүрлі аналитикалық әдістер қолданылады. Электрондық микроскопия талшықтардың морфологиясын және олардың құрылымын нанометр деңгейінде зерттеуге мүмкіндік береді. Спектроскопиялық әдістер талшықтардың бетінде болатын химиялық құрамы мен функционалдық топтарын анықтауға мүмкіндік береді. Механикалық қасиеттерді өлшеу талшықтардың беріктігі мен серпімділігін бағалауға мүмкіндік береді.

Электроспиннинг әдісінің принциптері.

Электроспиннинг - бұл полимерлі материалдардан талшықтарды қалыптастыру үшін электростатикалық күштерді қолдануға негізделген инновациялық процесс. Бұл тарауда полимер ерітіндісін немесе балқыманы дайындаудан бастап коллектор бетіндегі талшықтарды алуға дейінгі осы процестің негізгі кезендерінің әрқайсысын қарастырамыз.

Ерітінді немесе балқыманы дайындау. Процестің бірінші кезеңі талшықтарды қалыптастыру үшін пайдаланылатын полимер ерітіндісін немесе балқыманы дайындаудан басталады. Бұл ерітіндіде әдетте полимер материалы, еріткіш (қолданылған жағдайда) және талшықтардың түпкілікті қолданылуына байланысты қосымша қоспалар немесе функционализаторлар болуы мүмкін. Ерітіндіні дайындау біртекті құрамға жету үшін механикалық немесе химиялық әдістерді қолдана отырып, компоненттерді мұқият араластыруды қамтиды.

Материалдар ағынын қалыптастыру. Ерітінді немесе балқыманы дайындағаннан кейін келесі қадам осы материалды саптама арқылы беру болып табылады. Қысым немесе ауырлық күшінің әсерінен материал саптама арқылы ағып, ағынды құрайды. Бұл процесті басқаруға болады, бұл ағынның диаметрі мен жылдамдығын реттеуге мүмкіндік береді, бұл өз кезегінде алынған талшықтардың сипаттамаларына әсер етеді. Саптамаға материалды бермес бұрын, оны дұрыс дайындау керек. Полимер ерітіндісі ағынның дұрыс қалыптасуын қамтамасыз ету үшін белгілі бір тұтқырлық пен консистенцияға ие болуы керек. Бұл полимерді сәйкес органикалық еріткіште ерітуді немесе балқыма жағдайында балқу температурасына дейін қыздыруды қажет етуі мүмкін. Материалды дайындағаннан кейін ол саптамаға түседі, онда қысымның немесе капиллярлық күштердің әсерінен ағын пайда болады. Саптамада көрсетілген параметрлері бар біркелкі ағын жасауға мүмкіндік беретін белгілі бір геометрия бар. Ағынның дұрыс таралуын және дәйектілігін қамтамасыз ету үшін материалдың ағынының жылдамдығын бақылау маңызды. Материал ағынының пайда болуы саптама

мен коллектор арасында пайда болатын электростатикалық өрістің қатысуымен жүреді. Бұл өріс ағынға әсер етіп, оған электр зарядын береді және оның әрі қарай созылуын және талшықтардың қалыптасуын қамтамасыз етеді. Берілу жылдамдығы, қысым және материалдың консистенциясы сияқты материал ағынының түзілу параметрлерін бақылау электроспиннинг процесін оңтайландыруда маңызды рөл атқарады. Бұл алынған талшықтардың біркелкілігі мен сапасына қол жеткізуге, сондай-ақ олардың мөлшері мен пішінін бақылауға мүмкіндік береді.

Электр өрісінің әсерінен ағынның созылуы. Материал ағыны пайда болғаннан кейін электроспиндік процесінің келесі сатысы оның электр өрісінің әсерінен созылуы болып табылады. Бұл кезең келесідей жүреді:

Материал берілетін саптама мен талшықтар оралатын коллектор арасында электростатикалық өріс пайда болады. Ол үшін саптама мен коллекторға қолданылатын жоғары кернеу қолданылады. Электростатикалық өрістің әсерінен материал ағыны созыла бастайды және оның бетінде жұқа талшық пайда болады. Материалдағы зарядталған бөлшектерге әсер ететін электрлік күштер олардың өріс бағыты бойынша тартылуына әкеледі. Материал ағынының созылуы нәтижесінде коллектордың бетіне бірте-бірте оралатын жұқа талшықтар пайда болады. Бұл процесс талшық қабатының қажетті қалыңдығына жеткенше жалғаса береді. Электр өрісінің әсерінен материал ағынының созылуы нәтижесінде пайда болатын талшықтардың пішіні мен өлшемін анықтайтын электроспиндік процесінің негізгі нүктесі болып табылады. Бұл кезеңнің параметрлерін бақылау белгілі бір сипаттамалары мен қасиеттері бар талшықтарды алуға мүмкіндік береді.

Талшықтарды коллекторға орау. Электр өрісінің әсерінен ағынды созу сатысынан өткеннен кейін процесс нәтижесінде пайда болған жіңішке талшықтар коллектордың бетіне желдей бастайды. Бұл кезең талшықты өнімдердің құрылымы мен қасиеттерін қалыптастырудың кілті болып табылады. Коллектор соңғы өнімге қойылатын талаптарға байланысты әртүрлі беттер болуы мүмкін. Бұл 3D басып шығару технологиясы арқылы жасалған тегіс бет, айналмалы цилиндр, білік немесе тіпті үш өлшемді пішіндер болуы мүмкін. Коллекторды таңдау оралатын талшықтардың конфигурациясына және бағытына әсер етеді. Талшықтар коллекторға оралған кезде материалдың қабаты пайда болады, ол уақыт өте келе дайын талшық құрылымын құрайды. Бұл процесті қабат қалыңдығы мен талшық тығыздығын бақылау үшін басқаруға болады. Коллектордың айналу жылдамдығы немесе орама жылдамдығы сияқты процесс параметрлерін реттеу арқылы оңтайлы талшық өнімділігіне қол жеткізуге болады. Бұл кезеңнің маңызды аспектісі талшықтарды коллекторға орау процесінің сапасын бақылау болып табылады. Талшықты бөлудің біркелкілігін бағалау, ақаулардың жоқтығы және қажетті сипаттамаларға сәйкестігі соңғы өнімді сапалы қамтамасыз ету үшін маңызды. Талшықтарды коллекторға орау - бұл талшықты өнімнің құрылымы мен қасиеттерін анықтайтын электр иіру процесінің соңғы кезеңі. Бұл кезең процестің жоғары сапасы мен тиімділігін

қамтамасыз ету үшін мұқият бақылауды және параметрлерді оңтайландыруды талап етеді.

Талшықтарды кептіру және бекіту. Талшықтар қалыптасып, коллекторға оралғаннан кейін кептіру және бекіту қадамы орындалады. Бұл қадам алынған талшықтардың пішіні мен құрылымын сақтау, сондай-ақ олардың тұрақтылығы мен беріктігін қамтамасыз ету үшін өте маңызды. Коллекторда пайда болғаннан кейін талшықтар пайдаланылатын материалға және технологиялық параметрлерге байланысты қалдық еріткіш немесе ылғалдан тұратын күйде болады. Бұл талшықтарды әрі қарай пайдалану үшін жеткілікті күшті және тұрақты емес етеді. Сондықтан артық ылғал мен еріткішті кетіру үшін кептіру процедурасын жүргізу қажет. Кептіру процесі талшықтардың қажетті сипаттамаларына және қолданылатын материалдарға байланысты әртүрлі тәсілдермен жүзеге асырылуы мүмкін. Әдетте, бұл термиялық өңдеу немесе вакуумды кептіру арқылы жүзеге асырылады.

Қосымша өңдеу және сипаттау. Процестің соңында талшықтар соңғы өнімнің қажетті қасиеттеріне байланысты термиялық немесе химиялық модификация сияқты қосымша өңдеуден өтуі мүмкін. Содан кейін талшықтарды олардың морфологиясын, химиялық құрамын, механикалық және басқа да қасиеттерін бағалау үшін әртүрлі аналитикалық әдістерді қолдану арқылы сипаттауға болады.

Электроспиннинг процесіндегі маңызды қадам кернеу, материалды беру жылдамдығы және саптама мен коллектор арасындағы қашықтық сияқты параметрлерді бақылау болып табылады. Бұл параметрлерді өзгерту талшықтардың диаметрін, құрылымын және басқа сипаттамаларын реттеуге мүмкіндік береді. Мысалы, кернеудің жоғарылауы талшықтың диаметрінің төмендеуіне әкелуі мүмкін, ал материалдың берілу жылдамдығының өзгеруі талшықтың туралануы мен бағытына әсер етуі мүмкін. Талшықтар алынғаннан кейін, олардың қасиеттерін жақсарту немесе оларға белгілі бір функционалдық сипаттамалар беру үшін жиі қосымша өңдеуге ұшырайды. Бұл талшықтарды нығайту үшін термиялық өңдеулерді, адгезияны жақсарту үшін бетті өңдеуді немесе композиттік құрылымдарды жасау үшін материалдардың қосымша қабаттарын қолдануды қамтуы мүмкін. Электроспиннинг процесін аяқтап, талшықтарды өндегеннен кейін оларға мінездеме беру қажет. Бұл талшықтардың морфологиясын, өлшемдерін, құрылымын, физика-химиялық және механикалық қасиеттерін бағалауды қамтиды. Талшықтар туралы ақпаратты алу үшін электронды микроскопия, спектроскопия және беріктік сынағы сияқты әртүрлі аналитикалық әдістерді қолдануға болады. Процесті оңтайландыру және оның тиімділігі мен бақылауын одан әрі жақсарту белсенді зерттеу объектілері болып табылады. Жаңа материалдарды әзірлеу, технологиялық процестердің параметрлерін өзгерту және жаңа аналитикалық әдістерді қолдану бұл әдістің мүмкіндіктерін кеңейтуге және бастапқы өнімнің сапасын жақсартуға көмектеседі. Айрықша қасиеттері бар алынған талшықтарды әртүрлі салаларда қолдануға болады. Мысалы, биомедицинада олар биоүйлесімді

импланттарды, тіндік инженерияны немесе есірткі тасымалдаушыларын жасауға қызмет ете алады. Электроникада талшықтарды нанокұрылымды құрылғылар, микроэлектроника немесе сенсорлар жасау үшін пайдалануға болады. Аэроғарыш өнеркәсібінде талшықтарды жеңіл, берік композиттік материалдарды жасау үшін пайдалануға болады.

Электроспиннинг әдісі - белсенді дамып келе жатқан зерттеу саласы. Елеулі жетістіктерге қарамастан, процесті одан әрі жетілдіру және оны қолдану аясын кеңейту әлеуеті бар. Зерттеулер процесс параметрлерін бақылауды жақсартуға, жаңа материалдар мен аналитикалық әдістерді әзірлеуге және талшықты өңдеу шарттарын оңтайландыруға бағытталған. Бірегей қасиеттері бар талшықты өнімдерді қалыптастыруда электроиіру процесінің негізгі кезеңдері шешуші рөл атқарады. Әрбір кезеңді түсіну және оңтайландыру процестің сапасы мен тиімділігін арттыруға және оның өндіріс пен ғылымның әртүрлі салаларында қолданылуын кеңейтуге мүмкіндік береді.

1.2 Электроспиннинг арқылы алынған талшықтардың ерекшеліктері

Электроспиннинг әдісі бірегей қасиеттері бар талшықты материалдарды алудың алдыңғы қатарлы әдістерінің бірі болып табылады. Осы әдіспен өндірілген талшықтар оларды әртүрлі қолданбалар үшін тартымды ететін бірқатар мүмкіндіктерге ие. Осы мүмкіндіктерді толығырақ қарастырайық:

1. Нанометр диаметрі. Электроспиннинг арқылы алынатын талшықтардың негізгі ерекшеліктерінің бірі олардың диаметрінің өте аз болуы. Ол әдетте ондаған нанометрден бірнеше микрометрге дейінгі аралықта болады. Бұл нанометрлік өлшем талшықтардың бірегей механикалық, оптикалық және беткі қасиеттерін қамтамасыз етеді.

2. Жоғары бетінің ауданы. Диаметрінің нанометрлік болуына байланысты электроиірінді талшықтар үлкен беттік ауданға ие. Бұл оларды катализаторды тасымалдаушылар, сүзгілер, сенсорлар және үлкен жанасу бетін қажет ететін басқа құрылғылар ретінде пайдалану үшін өте қолайлы етеді.

3. Кеуекті құрылым. Электр иіру арқылы алынған талшықтар әдетте көптеген нанометрлік және микрометрлік кеуектерден тұратын кеуекті құрылымға ие. Бұл кеуекті құрылымды процесс параметрлерін өзгерту арқылы баптауға және басқаруға болады, бұл белгілі бір кеуектілігі мен ерекше қасиеттері бар материалдарды жасауға мүмкіндік береді.

4. Жоғары тарту коэффициенті. Электроспиннинг арқылы өндірілген талшықтар әдетте өте жоғары тартылу коэффициентіне ие, яғни олардың

диаметрімен салыстырғанда өте ұзын болуы мүмкін. Бұл жоғары беріктік пен жыртылуға төзімді материалдарды жасауға мүмкіндік береді.

5. Жоғары икемділік. Электроспиннинг арқылы алынған талшықтардың құрылымдық ерекшеліктеріне байланысты олардың серпімділігі мен иілгіштігі жоғары. Бұл оларды биомедициналық импланттарды, тіндік инженерияны және қорғаныс материалдарын қоса алғанда, әртүрлі қолданбаларда қолдануға жарамды етеді. Жалпы алғанда, электроспиннинг әдісімен алынған талшықтар қолдану аясы кең және одан әрі дамыту мен зерттеу перспективалары бар бірегей материалдар болып табылады.

1.3 Талшықты өнімдерді талдау және сипаттау әдістері

Электроспиннинг арқылы алынған талшықты өнімдерді сипаттау және бағалау үшін олардың морфологиясын, құрылымын, өлшемдерін, сондай-ақ физика-химиялық және механикалық қасиеттерін бағалау үшін әртүрлі аналитикалық әдістер қолданылады. Талшықты өнімдерді сипаттау процедуралары мен талдаудың негізгі әдістерін толығырақ қарастырайық:

Микроскопиялық әдістер. Микроскопиялық талдау әдістері электр иіру арқылы алынған талшықтардың морфологиясы мен құрылымын зерттеуде шешуші рөл атқарады. Олар микро және наноөлшемдерде талшықтарды бақылауға және олардың пішінін, өлшемін, бағытын және бетінің қасиеттерін егжей-тегжейлі зерттеу мүмкіндігін береді. Оптикалық микроскопия талшықтарды талдаудың ең кең таралған әдістерінің бірі болып табылады. Ол көзге көрінетін жарықта талшықтарды бақылауға және олардың пішінін, өлшемін және жалпы морфологиясын бағалауға мүмкіндік береді. Оптикалық микроскопияны талшықтардың беткі құрылымын зерттеу және ақаулардың немесе біртекті еместердің болуын анықтау үшін де қолдануға болады. SEM жоғары кеңістіктік ажыратымдылықты қамтамасыз ете отырып, нанометр деңгейінде талшықтарды зерттеу мүмкіндігін қамтамасыз етеді. Бұл әдіс талшықтардың морфологиясы мен құрылымын егжей-тегжейлі тексеруге, сонымен қатар олардың бетін жоғары егжей-тегжейлі зерттеуге мүмкіндік береді. SEM сонымен қатар рентгендік дисперсиялық спектроскопияның (EDS) көмегімен талшық бетіндегі элементтік құрамды талдауға мүмкіндік береді. TEM талшықтардың ішкі құрылымын зерттеуге және олардың наноқұрылымдық сипаттамаларын егжей-тегжейлі талдауға мүмкіндік береді. Үлгілердің бетін зерттейтін SEM-ден айырмашылығы, TEM талшықтардың ішкі құрылымы мен құрамын жеке атомдар мен молекулалар деңгейінде талдауға мүмкіндік береді. Бұл оны наноөлшемді құрылымдар мен процестерді зерттеудің қуатты құралына айналдырады. Әртүрлі микроскопиялық әдістерді қолдану талшықтардың морфологиясы, құрылымы және қасиеттері туралы толық ақпарат береді, бұл олардың сипаттамасы және олардың әлеуетті қолданылуын анықтау үшін маңызды.

Талшық өлшемін талдау. Талшықтардың диаметрі мен өлшемдерін анықтау үшін кескінді өңдеу бағдарламалары немесе арнайы бағдарламалық қамтамасыз ету сияқты кескінді талдау әдістері жиі пайдаланылады. Бұл әдістер талшықтардың диаметрін олардың микроскопиялық кескіндері негізінде автоматты түрде өлшей алады, дәлірек және объективті нәтижелер береді.

Химиялық талдау. Электроспиннинг талшықтардың химиялық құрамын анықтау оларды сипаттауда және олардың потенциалды қолданылуын анықтауда маңызды рөл атқарады. Химиялық құрамды талдаудың әртүрлі әдістері талшықтардың құрылымында болатын функционалдық топтарды, химиялық қосылыстар мен қоспаларды анықтауға мүмкіндік береді. Химиялық құрамды талдаудың негізгі әдістерінің бірі: Инфрақызыл спектроскопия - инфрақызыл жұтылу спектрі негізінде материалдардың химиялық құрамын анықтау үшін қолданылатын қуатты аналитикалық әдіс. Бұл талдау функционалдық топтар мен химиялық қосылыстарды анықтауға мүмкіндік беретін заттағы химиялық байланыстардың тербеліс жиіліктерін өлшейді. ИҚ-спектроскопия көбінесе органикалық полимерлерді талдау үшін, сонымен қатар талшық өнімдерінің құрылымындағы функционалдық топтарды анықтау үшін қолданылады. Ядролық магниттік резонанс – сыртқы магнит өрісінің әсерінен зат атомдарының ядролары резонанс жасайтын ядролық магниттік резонанс құбылысына негізделген талдау әдісі. ЯМР спектроскопиясы заттың молекулалық құрылымын зерттеуге және химиялық байланыстардың түрлерін және олардың молекулалардағы ортасын анықтауға мүмкіндік береді. Бұл әдіс көбінесе органикалық қосылыстарды, соның ішінде полимерлер мен биомолекулаларды талдау үшін қолданылады.

Механикалық қасиеттерді сынау. Талшықтардың беріктігі, серпімділігі және созылу беріктігі сияқты механикалық қасиеттерін бағалау үшін әртүрлі механикалық сынақтар жүргізіледі. Бұған созылу, қысу, иілу немесе қаттылық сынағы кіруі мүмкін. Бұл сынақтар әртүрлі жұмыс жағдайларында талшықтардың өнімділігі мен сапасын бағалайды.

Негізгі сипаттамалардың сипаттамасы. Талшықты өнімдер талдаудан басқа, қолданылатын материалдардың түрі мен құрамы, талшықтардың мөлшері мен пішіні, олардың кеуектілігі, беттік қасиеттері және беріктігі сияқты негізгі сипаттамалармен сипатталады. Бұл талшықты материалды және оның әлеуетті қолданбаларын толық түсінуге мүмкіндік береді.

Осы аналитикалық әдістер мен сипаттама процедураларының комбинациясын қолдану талшықты өнімдердің толық және жан-жақты сипаттамасын алуға мүмкіндік береді, бұл өндіріс процесін оңтайландыру және қасиеттері жақсартылған жаңа материалдарды әзірлеу үшін маңызды.

2 ЗЕРТТЕУ ӘДІСТЕМЕСІ. ЭЛЕКТРОСПИННИНГ ӘДІСІМЕН ТАЛШЫҚТЫ ӨНІМДЕРДІ ҚОЛДАНУ

2.1 Электроспиннинг процесі

Зерттеудің мақсаты мен міндеттеріне жетуде зерттеу әдістемесі басты рөл атқарады. Бұл тарауда электроспиннинг арқылы алынған талшықты өнімдерді пайдалануды зерттеу әдістемесі ұсынылады. Кіріспе тарауда зерттеудің мақсаттары мен міндеттеріне шолу жасалады, сонымен қатар келесі бөлімдерде қарастырылатын тақырыптарға қысқаша шолу жасалады.

Эксперименттік қондырғының сипаттамасы және әдістемесі. Бұл бөлім электроспиндеу процесін жүргізу үшін қолданылатын тәжірибелік қондырғының толық сипаттамасына арналады. Электроспиннинг аппаратын, материалды беру жүйесін, жоғары вольтты қуат көзін және коллекторды қоса алғанда, қондырғының әрбір құрамдас бөлігінің толық сипаттамасы ұсынылады. Тәжірибе алдында үлгіні дайындау әдістемесі де сипатталады, соның ішінде материалдарды таңдау, алдын ала өңдеу және процесс параметрлерін реттеу.

Қолданылатын материалдардың құрылымы. Бұл бөлімде электроспиннинг арқылы талшық өнімдерін алу үшін қолданылатын материалдардың химиялық құрамы мен құрылымының сипаттамасы беріледі. Материалдардың негізгі құрамдас бөліктері, олардың физикалық-химиялық қасиеттері, сондай-ақ оларды дайындау әдістері және электр иіру процесінде қолданар алдында сипаттамасы қарастырылады. Бұл бастапқы материалдардың қасиеттері мен құрамының алынған талшықтардың сипаттамаларына әсерін тереңірек түсінуге мүмкіндік береді.

Электрформалау процесінің параметрлері. Бұл бөлімде алынған талшықты өнімдердің құрылымы мен қасиеттеріне әсер ететін электроспиннинг процесінің негізгі параметрлерінің сипаттамасы беріледі. Кернеу мен ток, коллектордың айналу жылдамдығы, электрод пен коллектор арасындағы қашықтық, ерітінді концентрациясы мен тұтқырлығы, қоршаған орта температурасы және басқалары сияқты параметрлер қарастырылады. Қажетті қасиеттері бар талшықтарды алуда процестің оңтайлы параметрлерін анықтау маңызды рөл атқарады.

Талшықты өнім үлгілерін талдау. Бұл бөлімде электроспиннинг процесінен кейін талшық өнімдерінің үлгілерін талдау әдістері сипатталады. Алынған талшықты материалдардың морфологиясын, құрылымын, химиялық құрамын және қасиеттерін бағалау үшін микроскопиялық, спектрлік, физика-химиялық және механикалық әдістерді қоса алғанда, әртүрлі аналитикалық әдістер қолданылады. Бұл алынған материалдардың сапасын және әлеуетті қолдану мүмкіндіктерін неғұрлым толық бағалауға мүмкіндік береді.

Электроспиннинг әдісі өнеркәсіп пен ғылымның әртүрлі салаларында қолдануға болатын бірегей қасиеттері бар талшықты материалдарды алудың тиімді әдісі болып табылады. Зерттеудің бұл бөлігінде электроспиннинг әдісімен алынған талшықты өнімдерді пайдаланудың негізгі аспектілерін және олардың әртүрлі салалардағы мүмкіндіктерін қарастырамыз.

Электроспиннинг әдісімен өндірілген талшықты материалдар медицина өнеркәсібінде кең ауқымды қолдануға ие. Оларды инфекциялардан қорғау үшін биосіңіретін импланттарды, тоқыма инженерияны, препараттарды жеткізуді және тосқауылдық мембраналарды жасау үшін пайдалануға болады. Талшықтардың жоғары кеуектілігі мен үлкен бетінің ауданына байланысты олар тамаша адсорбциялық және десорбциялық қасиеттерге ие, бұл оларды медициналық қолдану үшін тиімді етеді. Электроспиннинг арқылы өндірілген талшықты материалдар электроника мен нанотехнологияда да қолданыс тапты. Олар сенсорларды, транзисторларды және конденсаторларды қоса алғанда, электронды құрылғыларды жасау үшін компоненттер ретінде пайдаланылуы мүмкін. Жұқа қалыңдығы мен жоғары бетінің ауданына байланысты талшықтарды бірегей электрлік және оптикалық қасиеттері бар нанокұрылымды материалдарды жасау үшін пайдалануға болады. Электроспиннинг арқылы өндірілген талшықты материалдар тоқыма өнеркәсібінде әртүрлі қасиеттері бар функционалды маталарды жасау үшін пайдаланылуы мүмкін. Оларды тоқыма материалдарына бактерияға қарсы, су өткізбейтін, антистатикалық және басқа да функционалдық қасиеттер беру үшін қосуға болады. Мұндай маталарды медициналық киімдерді, спорттық киімдерді, қорғаныс киімдерін және басқа да бұйымдарды өндіруде қолдануға болады. Электроспиннинг арқылы өндірілген талшықты материалдарды энергетикалық өндірісте де қолдануға болады. Оларды литий-ионды аккумуляторларға, суперконденсаторларға және энергияны сақтауға және беруге арналған басқа құрылғыларға электродтар жасау үшін пайдалануға болады.

Үздіксіз және ұзартылған жіптер түріндегі талшықтарды адамдар біздің дәуірімізге дейінгі 2700 жылдан бастап тоқыма өндірісі үшін жібек құрттарын өсірумен бірге қолданды [1]. Австралияда паук жібегін балық аулау үшін пайдаланды, ал Ежелгі Грецияда қан кетуді тоқтату үшін жараны таңғыш ретінде пайдаланды. Екінші дүниежүзілік соғыс бұл талшықтарға сұраныстың артуына әкеліп, мұнайдан алынатын синтетикалық талшықтарды өндіруге әкелді, кейде полимерге байланысты жібекке қарағанда химиялық немесе физикалық қасиеттері жақсырақ. Алғаш рет DuPont ұсынған нейлон талшықтары бірден жұртшылықтың назарын аударды. Сондықтан шикі мұнайдан алынатын полистирол және полиакрилонитрил (PAN) сияқты синтетикалық полимерлердің көптеген әртүрлі түрлері және хитозан және полилактикалық қышқыл сияқты табиғи биополимерлер әртүрлі салалар үшін бірінен соң бірі жасалды. Синтетикалық талшықтармен салыстырғанда табиғи талшықтардың көптігімен, қолжетімділігімен және құнының төмендігімен көптеген артықшылықтар бар, бұл синтетикалық талшықтарды

табиғи биофабралармен алмастырғандықтан, синтетикалық талшықтарға әлемдік сұраныстың айтарлықтай төмендегенін түсіндіреді [2].

Қазіргі уақытта талшықты технология саласында наноталшықты төсеніштердің, әсіресе техника мен ғылым салаларында қолдану аясы кең. Оларға оптикалық және химиялық сенсорлар, нанокатализ және энергияны сақтау, сонымен қатар қорғаныс, аэроғарыш, көлік және қорғаныс киімдері өнеркәсібіндегі қолданбалар жатады. Олар сондай-ақ ауа және су сүзгілерінде немесе медициналық және биотехнологиялық мақсатта дәрілік заттарды жеткізу үшін қолданылады.

Наноталшықтарды алу үшін ылғалды, құрғақ, балқыту және гельді айналдыру сияқты әртүрлі әдістер әзірленген. Бұл процестерде полимер ағындары матрицалардан өткен кезде сыртқы механикалық тарту/сығу күштерінің әсерінен, ал талшықтар кептіру немесе тұндыру салдарынан ағындардың қатаюынан пайда болады. Дегенмен, ағындар шектеулі мөлшерде ғана созылады, бұл диаметрі 10-нан 100 мкм-ге дейінгі талшықтардың түзілуіне сәйкес келеді [3]. Дегенмен, қатқаннан кейін одан әрі механикалық сызу кезінде де, алынған талшықтар әлі күнге дейін наноөлшемге жете алмайды. 1902 жылы электроспрейге ұқсас жаңа технология жасалды, ол наноөлшемде талшықтар жасай алады; бұл әдіс электроспиннинг ретінде белгілі. Екі әдіс те сұйықтық ағындарын шығару үшін жоғары кернеуді қолдануға негізделген, негізгі айырмашылық қолданылатын сұйықтықтың тұтқырлығы мен тұтқыр серпімділігі, демек, ағынның әрекеті.

Электроспиннинг - бұл электр өрісі арқылы наноөлшемді талшықтарды дайындаудың қарапайым және арзан әдісі. Бұл әдіс талшықтың диаметрі оннан жүз нанометрге дейін болатын наноталшықтардан тоқыма емес кілемшелерді шығарады. Осы технологияның арқасында шағын диаметрлер немесе үлкен нақты бет аумақтары сияқты ерекше қасиеттерге қол жеткізуге болады. Сонымен қатар, полимерлердің кең спектрін әртүрлі еріткіштерден, соның ішінде сулы ерітінділерден электрмен иіруге болады, бұл иіру процесін экологиялық таза етеді.

Суға төзімді полимерлер негізінен улы немесе коррозиялық еріткіштерді пайдаланады, ал диметил сульфоксиді (DMSO) сияқты аз уытты еріткіштен тек бірнешеуін ғана электрмен иіруге болады [4]. Классикалық электроспиннинг процесі полимер ерітіндісін тарту және талшықтарды қалыптастыру үшін бір инені пайдаланады. Дегенмен, бұл әдіс өте көп уақытты қажет етеді, электроспиннинг наноталшықтарды әлеуетті ауқымды қолдануды шектейді. Ерітінді ағынының жылдамдығын арттыру арқылы өнімділік мәселесін шешу үшін көптеген көп ағынды және көп инелі электроспиннинг әдістері зерттелді. Дегенмен, бірнеше ағындардың пайда болуы ағынды итеру және процесті басқару мүмкіндігін азайту сияқты басқа мәселелерді тудырады.

Полиакрилонитрил (PAN) – жоғары созылу беріктігі, термиялық тұрақтылығы, көміртегі шығымы және химиялық төзімділігі арқасында электроспиндік өңдеуде кеңінен қолданылатын синтетикалық полимер.

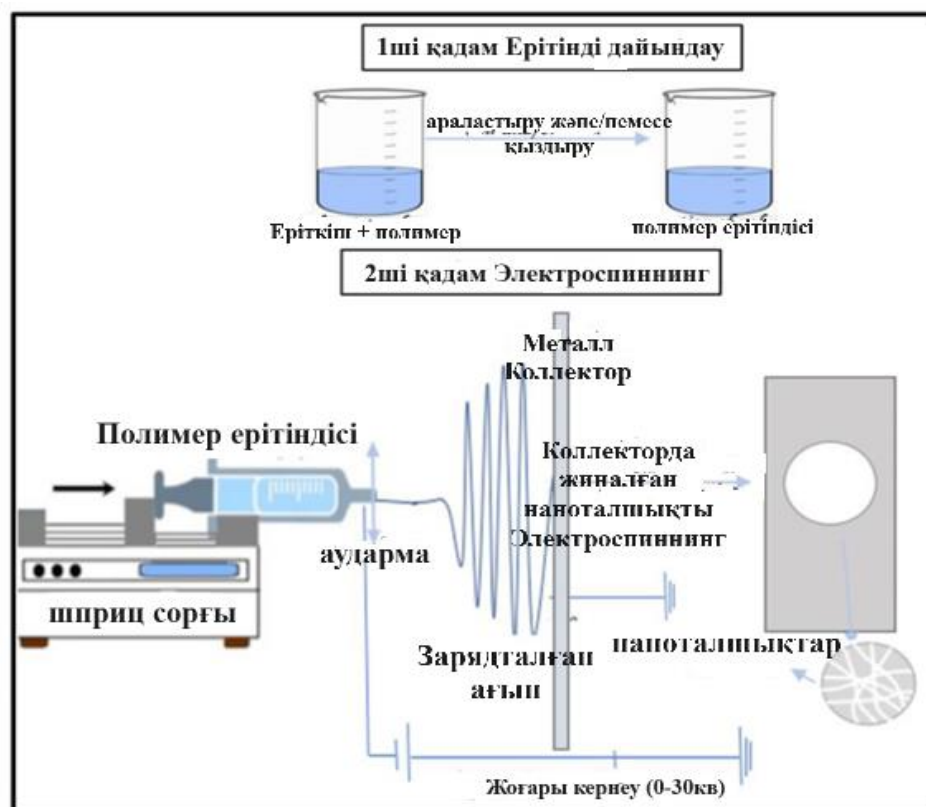
Electrospun PAN наноталшықты мембраналар өздерінің тартымды қасиеттеріне, соның ішінде шағын талшық диаметріне, сондай-ақ наноталшықтар арасындағы кеуек өлшемдерін бақылауға және молекулаларды, жасушаларды немесе ақуыздарды біріктіру қабілетіне байланысты ерекше қызығушылық тудырды [5-6]. PAN өнімділігі жоғары көміртекті талшықтарды өндірудің негізгі прекурсоры болып табылады: әлемдегі көміртекті наноталшықтардың 90% дерлік PAN негізіндегі прекурсорлардан өндіріледі. Көміртекті талшықты өндіруге үш негізгі осы процесс қатысады: PAN прекурсорын иіру, термиялық-тотықтырғыш тұрақтандыру (TOC) және карбонизация. Тұрақтандыру күрделі экзотермиялық процесс және соңғы талшықтардың қасиеттеріне әсер ететін ең маңызды кезең. Бұл кезеңде сызықтық полимер циклдік құрылымды полимерге айналады, оны баспалдақ құрылымы деп те атайды. Термиялық тұрақтандыру негізінен 200-ден 300 °C-қа дейінгі белгілі бір температурада ауада 1-2 сағат бойы жүреді. Оттегі ТЖ кезінде болатын физикалық және химиялық құрылымдық өзгерістерде маңызды рөл атқарады. Оттегі тотығу және айқаспалы байланыс реакцияларына әсер етіп қана қоймайды, сонымен қатар циклдену және дегидрлеу реакцияларын жеңілдететіні (олар термиялық тұрақтандыру кезінде бір мезгілде пайда болатыны) мойындалған. Оның үстіне нақты реакция механизмі газ атмосферасына, қыздыру жылдамдығына, қолданылатын сополимерге және т.б. байланысты өзгереді [7].

Осылайша, тұрақтандыру кезінде PAN талшықтарының құрылымдық эволюциясын жақсырақ түсіну соңғы полимер құрылымын болжаудағы және демек, оның функционалдық болуын болжаудағы негізгі мәселе болып табылады. Бұл зерттеуде электр иіру процесін, оның ішінде принципті, әдістерді және материалдарды жақсы түсіну үшін библиографиялық шолу жүргізілді. Бірінші бөлімде электроспиннинг принципі мен типтік аппараты қарастырылады. Төменде әдістер мен материалдар, сондай-ақ әртүрлі материалдарды алу үшін полимер ерітінділерінің композициялары, құрылымдары мен қасиеттерін қалай жасауға болатыны сипатталған. Одан кейін, PAN талшықтарына ерекше назар аудара отырып, алдымен олардың маңыздылығы мен материалды таңдауын көрсететін биологиялық зерттеулер үшін жасалған 3D электр иіру тіректеріне ерекше назар аударылады. Содан кейін сәйкес тіректерді алу үшін қолдануға болатын әртүрлі процестер сипатталады. Соңында әртүрлі нақты мысалдар келтірілген. Олардың ерекше қасиеттері мен мұнда келтірілген көптеген мысалдар тұрғысынан тұрақтандырылған PAN наноталшықты тіректері биомедициналық қолданбалар үшін жасуша дақылдарын болашақта дамыту үшін таптырмас құрал болып көрінеді.

2.2.1 Принциптер және зарядталған ағынның созылуы және жұқаруы

Электроспиннингтің ең қарапайым түрі – көптеген зерттеушілер зерттеп, қарастырған жалғыз ине конфигурациясы [8,9,10]. Бұл тәсілді жақсырақ түсіну үшін электр өрісі мен электроспиндік процестің модельдеулері де жүргізілді. Тек бірнеше құрамдас бөліктер қажет: полимер ерітіндісі бар шприц, металл ине, жоғары вольтты қуат көзі және металл коллекторы (айнымалы морфологиясы бар). Қуат көзі тұрақты ток (тұрақты ток) немесе, әдетте, айнымалы ток (АС) болуы мүмкін. 1-суретте көрсетілгендей, электроспиннингтің негізгі қондырғысы өте қарапайым, бұл оны мүмкіндігінше көп зерттеушілерге қолжетімді етеді.

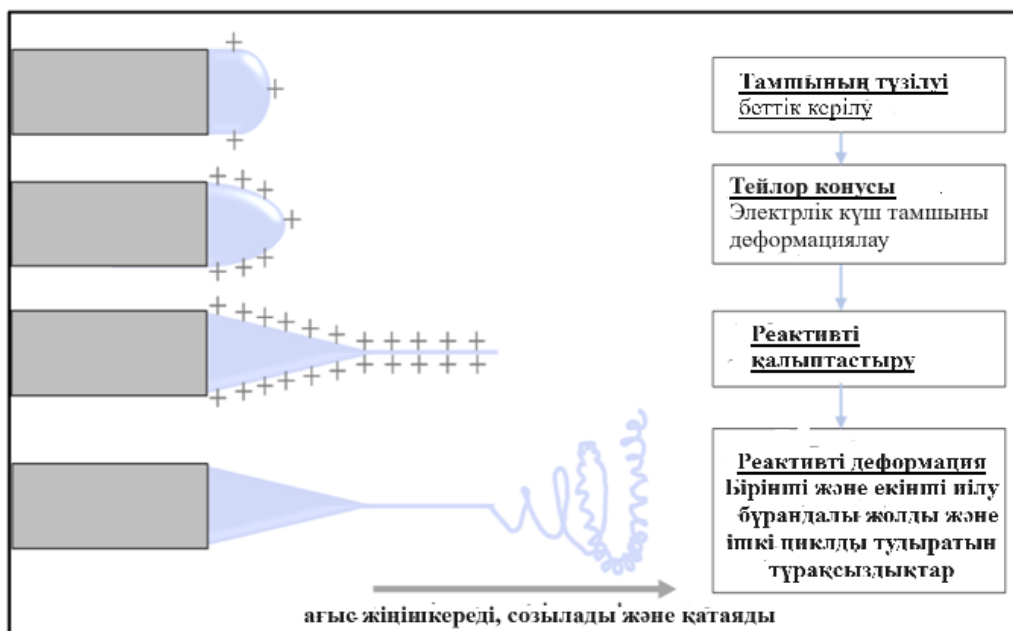
Сұйықтық тасымалдайтын бос зарядтар әсер ететін электр өрісімен әрекеттеседі. Созылу күшін тудыратын талшық ағыны спиннердегі зарядталған сұйықтық пен жерге тұйықталған коллектор арасындағы потенциалдар айырмашылығына байланысты. 2-суретте көрсетілгендей Әдетте, электроспин төрт кезеңде жүреді: 1) сұйықтық тамшысы зарядталады және Тейлор конусы түзіледі; 2) зарядталған ағын түзу сызыққа созылған; 3) ағын электр өрісі болған кезде жіңішкереді, ал электрлік иілу тұрақсыздығы пайда болады және күшейеді; 4) ақырында қатты ағынды талшықтар жерге тұйықталған коллектор арқылы жиналады [9].



1 сурет – Наноталшықтарды өндіру үшін өңдеу қадамдарының схемалық диаграммасы. Полимерлі ерітінді еріткіштен, полимерден және

кейбір жағдайларда нанобөлшектер немесе көміртекті нанотүтіктер сияқты қоспалардан тұрады [30]

Сұйық тамшысын зарядтау кезінде Тейлор конусының пайда болуы. Тамшы шприц сорғысы арқылы жасалады. Электрлік тебілуді азайту үшін тамшының бетінің ауданы үлкейеді. Ағын саптамадан шығарылады және байланыстырудың тұрақсыздығы ағынның созылуына және жұқаруына әкеледі. Соңында еріткіш буланып, талшықтар металл жинағышпен жиналады. Анықтамаға негізделген [11].



2 сурет – Электроспиннинг процесінің әртүрлі кезеңдері. «+» белгісі тамшы бетіндегі зарядтарды көрсетеді [30]

Инесі бар шприц әдетте шприц сорғысының көмегімен бақыланатын жылдамдықпен ерітіндіні жеткізу үшін шприц ретінде пайдаланылады. Матрица мен коллектор арасында потенциалдар айырмасы (10-нан 30 кВ-қа дейін) болса, сұйықтың ішіндегі теріс және оң зарядтар бөлінеді; спиннерет сияқты полярлық зарядтар тамшылардың бетіне ауысады, нәтижесінде артық зарядтар пайда болады. Кернеу жоғарылаған сайын сұйықтың бетінде көбірек зарядтар жиналады. Зарядтың беттік тығыздығының бұл ұлғаюы тамшының пішінін деформациялауға бейім, нәтижесінде беттің ұлғаюы және электрлік серпілістің төмендеуі 2-суретте көрсетілген.

Зарядталған ағынның созылуы және жұқаруы. Бұл кезде зарядтардың өзара кері тебілуі беттік керілуге қарсы күш тудырады және ақыр соңында полимер ерітіндісі электр өрісінің бағытымен ағады. Электр өрісінің одан әрі жоғарылауы сфералық тамшының деформациялануына және конустық пішінге ие болуына әкеледі, оны Тейлор конусы деп атайды. Дәл осы кезеңде

конустық полимер тамшысынан электр өрісінің әсерінен жоғары жылдамдықпен ультра жұқа талшықтар шығады. Ағын электр өрісінің бағытына қарай созылады, содан кейін оны оңтайландырылған қашықтықта ұсталған металл коллектор жинайды [4].

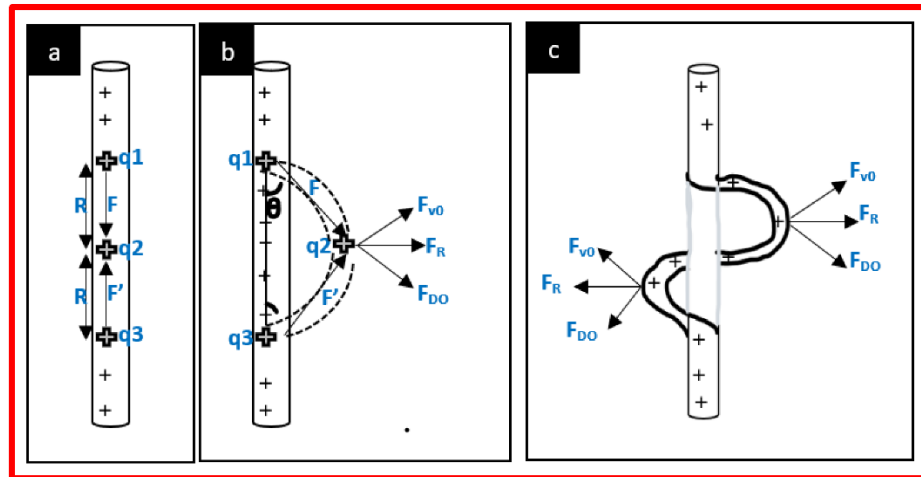
Түзілген ағын бастапқыда ағынның басқа бағытта қозғалуын болдырмайтын беттік керілу және тұтқыр серпімді күштердің әсерінен түзу жолмен қозғалады. Ағын үздіксіз созылған сайын ағынның үдеуі де, диаметрі де азаяды. Еріткіштің булануы және ағынның диаметрінің азаюы талшықтың беттік зарядының тығыздығының жоғарылауына әкеледі, бұл ағындағы итеруші күштердің жоғарылауына әкеледі. Ағынның үдеуі тым төмен болғанда, иілу тұрақсыздығы пайда болады [9] және ағынға қатысты радиалды бағытта бүйірлік электростатикалық күшпен қозғалатын, бет арасындағы электростатикалық серпіліс нәтижесінде пайда болатын ағынға ұзақ толқынды кедергілер ретінде сипатталады. алымдар.

Байланыс тұрақсыздығы механизмін 3-суретте көрсетілген Эрншоу теоремасы арқылы түсіндіруге болады. Ол заряд тек зарядтар арасындағы өзара әрекеттесу арқылы тұрақты тепе-теңдік жағдайын сақтай алмайтынын айтады. Егер түзу ағындағы бірдей зарядтардың үш көршілес нүктесі қарастырылса, ортаңғы зарядқа әсер ететін F және F' күштерінің шамасы бірдей және теңдеуден кейін қарама-қарсы бағытта болады:

$$F = k \frac{q_1 q_2}{R^2} = k \frac{q_2 q_3}{R^2} = F' \quad (1)$$

мұндағы q_1 , q_2 және q_3 – шамасы бірдей нүктелік зарядтар, R – зарядтар арасындағы қашықтық, ал k – Кулон тұрақтысы ($k = 8,99 \times 10^9$ Нм²/С²).

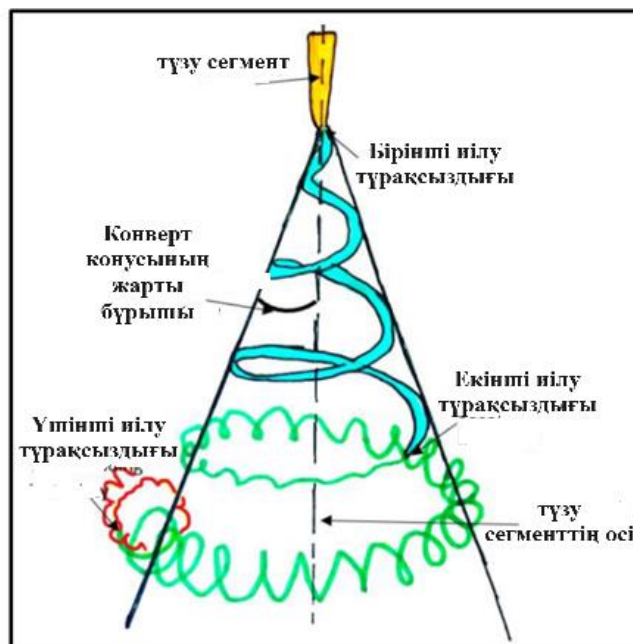
3-суретте (а) Біріншіден, ағын электр өрісінің әсерінен жоғары жылдамдықпен түзу сызықта таралады. (б) үдеу және талшықтың диаметрі азайған сайын зарядтың беттік тығыздығы артады, бұл F және F' итеру күштерінің ұлғаюына әкеледі. Күйзеліс (нүктелі сызықтармен бейнеленген) итеруші электр күштеріне жауап ретінде өсе бастайды. Бұзылған сегмент көтеретін зарядтар бұзылған аймақтың үстінде және астындағы зарядтармен төмен және сыртқа күштеп (FDO) әсер етеді, ал бұл бұзылған сегмент жоғары және сыртқа күштеп (FUO) кедергіден төмен зарядтармен әсер етеді. Нәтижелі күш (FR) түзу ағынға перпендикуляр және уақыт бойынша экспоненциалды түрде өседі. Бұл кезде көрші зарядтардың тебілуі ағынмен бірге қозғалып, құбылысты таратады және күшейтеді. (с) талшықтардың ұзаруы қисық сегментте тезірек артып, наноталшықтарды жасайды. Осы жердегі мақаладан егжей-тегжей қарауға болады [12].



3 сурет – Эрншоу теоремасын суреттейтін, нокдаун тұрақсыздығы деп те аталатын байланыстырушы тұрақсыздықтың көрінісі

Тікелей сегментте ағынның бағыты, яғни ағынның сегментінің траекториясы ағынның осіне параллель болады. Кішкентай күйзеліс ортаңғы зарядтың түзу сызықтан қозғалысын тудырса, иілу бұзылысы басталады. Бұрыш, θ құрылады, нәтижесінде F_R бүйірлік күші пайда болады, ол ағынның тұрақсыздығын бастауға әкеледі:

$$F_R = 2F \sin \theta \quad (2)$$



4 сурет – Электроспиннинг ағынының типтік жолы [30]

Бұл бұзылыс ағынмен тасымалданатын зарядтың әсерінен тез өседі. Бұл ағынның диаметрінің ұзаруына және азаюына әкеледі. Бірінші иілу

тұрақсыздығынан кейін ағын ілмектердің пайда болуына әкеліп соғатын кейінгі жоғары ретті иілу тұрақсыздығына ұшырайды. Бұл ілмектер наноталшықтарды қалыптастыру үшін ағынның жұқаруына айтарлықтай ықпал етеді. Ағын қатқанға дейін диаметрі азаюы бар үш иілу тұрақсыздығы тізбегі жиі байқалады, 4-суретте көрсетілген.

Электроспиннинг ағынының типтік жолы. Ол түзу сегменттен (сары түспен) басталады, содан кейін диаметрі азаюы бар катушкадан (көк түсті бірінші байланыстыратын катушка) басталады. Бірнеше бұрылыс пайда болғаннан кейін жаңа электрлік тұрақсыздық үлкенірек катушканың бұрылысында кішірек орамды құрайды (жасыл түспен екінші иілу тұрақсыздығы). Кішірек орамның бұрылыстары одан да кішірек катушкаға айналады (қызыл түспен үшінші иілу тұрақсыздығы). Әдетте, жұқа ағынның катуы ұзаруды тоқтатуға көмектеседі.

2.2.2 Электроспиннинг процесін басқару

Электростатикалық күштердің әсерінен ағын одан әрі қозғалған сайын ол созылады және жұқа болады, бірақ еріткіштің булануынан қатайды. Кептірілгеннен кейін кейбір зарядтар әлі де құрғақ талшықтардың бетінде ұсталып қалуы мүмкін, бірақ кез келген тұрақсыздық тоқтайды.

Әдетте талшықтарды жинау үшін жерге тұйықталған коллектор қолданылады. Талшықтардың морфологиясы негізінен жіптің тұрақсыздығымен анықталады. Салғаннан кейін зарядтардың көп бөлігі жерге қосылған коллектор арқылы таралады. Бірақ талшықтарды өндіру үшін қолданылатын көптеген материалдардың өткізгіштігі төмен болғандықтан, жинақталған талшықтардың бетінде қалдық зарядтар әлі де кездеседі. Әр түрлі талшықты композицияларды өндіру үшін әртүрлі коллекторларды пайдалануға болады. Ең қарапайым және кең таралған коллектор - бұл тоқыма емес талшықты төсенішке әкелетін алюминий тотығының жалпақ табақшасы. Бағдарланған талшықтарды алу үшін айналмалы барабандар немесе параллель электродтар сияқты әртүрлі пішіндерді пайдалану арқылы әртүрлі геометрияларға қол жеткізуге болады.

Кернеудің әсерлері. Жоғарыда біз металл инедегі ерітіндіге берілген жоғары кернеу сфералық тамшының Тейлор конусына деформациялануын және критикалық кернеуге жеткенде наноталшықтардың пайда болуын индукциялайтынын көрдік. Соңғысы қолданылатын полимерге байланысты және ол 10-нан 30 кВ-қа дейін жетеді. Кернеу неғұрлым жоғары болса, полимер ағыны ішіндегі зарядтың ығысуы мен полимердің созылуы арасындағы корреляцияға байланысты талшықтардың диаметрі соғұрлым аз болады деп қабылданған. Дегенмен, Son және басқалар, кернеуден жоғары қолданылатын кернеудің жоғарылауы моншақтардың немесе моншақ тәрізді наноталшықтардың пайда болуына әкелетінін хабарлады [14].

Ағынның жоғарырақ жылдамдықтары электроспиннинг процесінің өндіріс жылдамдығын арттыратыны сөзсіз, бірақ дұрыс бақыланбаса, талшықтардың морфологиясына теріс әсер етуі мүмкін. Біркелкі наноталшықтарды қоспа үшін оңтайлы ағын жылдамдығы арқылы дайындауға болады. Ағын жылдамдығы әдетте қолданылатын полимерге байланысты 0,1-ден 4,5 мл/сағ аралығында ауытқиды [11]. Ағынның жылдамдығы осы критикалық мәннен жоғары болған кезде моншақтардың түзілуі орын алады, бұл ине ұшы мен металл коллектор арасындағы ұшу кезінде нанофибра ағынының толық кептірілмеуі және беттік заряд тығыздығының төмендеуіне байланысты [10].

Электроспиннинг наноталшықтардың түзілуі өңдеу параметрлерімен, оның ішінде қолданылатын кернеумен, полимерлік ерітіндінің ағу жылдамдығымен, шприц ұшы мен коллектор арасындағы қашықтықпен және иненің диаметрімен анықталады 1-кестеде көрсетілген. Наноталшықтарды өндіруде қоршаған орта параметрлері, сондай-ақ ерітінді параметрлері сияқты басқа параметрлер де маңызды рөл атқарады.

1 кесте – Электроспиннинг процесіне әсер ететін параметрлердің қысқаша мазмұны

	Вольтаж	Ағын жылдамдығы	Коллектор мен ине арасындағы қашықтық	Ине диаметрі	Полимерлердің концентрациясы	Ерітінді өткізгіштігі	Еріткіш
Ауқым	10–30 kV	0.1–4.5 мл/сағ	5–20 cm	0.2–1.5 mm			
Әсер	∠кернеу ∠талшық диаметрі			∠иненің диаметр і ∠талшық диаметрі	∠концентрация ∠талшық диаметрі	∠өткізгіштік ∠талшық диаметрі	
Ескерте	Критикалық кернеуден	Ағынның жылдамдығы критика	Критикалық қашықтықтан жоғары	(1) Критикалық диаметр де	Тым төмен шарлардың пайда болуына		(1) Полимер толығымен

	жоғары, моншақтардың пайда болуы	лықдан жоғары, шарлардың пайда болуы.	және төмен, допты қалыпт астыру	бітелулер болуы мүмкін. (2) Ағын шығарар алдында оның үстіндегі қатаю.	әкеледі.		еріген болуы керек. (2) булану жылдамдығы тым төменде, тым жоғары да емес.
--	----------------------------------	---------------------------------------	---------------------------------	--	----------	--	--

Металл коллекторы мен ине арасындағы қашықтықтың әсері. Саптама ұшы мен коллектор арасындағы қашықтық тамаша сапалы наноталшықтарды өндірудегі маңызды параметр болып табылады. Наноталшықтардың морфологиясына қашықтық оңай әсер етуі мүмкін (әдетте 5 см-ден 20 см-ге), себебі ол булану жылдамдығына және полимерлі ерітіндінің байланыстыру тұрақсыздығына байланысты. Бисер немесе тегістелген талшықтар сияқты ақауларды болдырмау үшін еріткіштің булануын аяқтауға жеткілікті уақыт беру үшін ең аз қашықтық қажет. Коллектор мен ине арасындағы тым аз қашықтық төсеніштің ортасында табуға болатын «дымқыл нүкте» деп аталатын терең түсі бар шағын дөңгелек аймаққа әкеледі [13]. Қолданылатын кернеу мен ағын жылдамдығы сияқты, бұл ең аз қашықтық полимер жүйесіне байланысты да өзгереді.

Ине диаметрінің әсері. Тот баспайтын болаттан жасалған инелер электроспиннингте ең көп қолданылатын саңылаулар болып табылады, әдеттегі ішкі диаметрі 0,2-ден 1,5 мм-ге дейін. Әдетте, иненің үлкен диаметрі талшықтың үлкен диаметріне әкеледі. Талшық диаметрінің ұлғаюы үлкенірек ұшымен үлкенірек тамшы түзілуінен және осылайша түзу ағынның ұзағырақ ұзындығын алуынан туындайды, бұл өз кезегінде шайқау ағынының қозғалысын азайтады. Ұштың бітелуі иненің диаметрі тым кішкентай және ерітінді тым тұтқыр болған кезде де болуы мүмкін; ине диаметрі тым үлкен болса, ерітінді ауаның жоғарылауымен қатып қалуға бейім [10].

Ерітіндідегі полимер концентрациясының әсері. Электр иіру процесі зарядталған ағынның бір осьтік созылу құбылысына сүйенеді. Ағын ерітіндідегі полимер бөлшектерінің орналасуына байланысты, бұл ерітінді концентрациясының тікелей салдары. Мысалы, полимердің концентрациясы тым төмен болғанда, полимерлік тізбектердің түйісуі шектеліп, талшықтарды фрагменттерге бөліп, моншақ тәрізді талшықтарға әкеледі. Концентрацияның жоғарылауы тұтқырлықты арттырады, бұл шынжырлардың полимерлік

тізбектер арасында шатасуын арттырады. Бұл беттік керілуді жеңіп, ақаусыз талшықтардың пайда болуына әкеледі [9]. Полимердің молекулалық салмағы да негізгі рөл атқарады.

Ерітінді өткізгіштігінің әсері. Ерітінді өткізгіштігі Тейлор конусының түзілуіне де, талшықтың диаметріне де әсер етеді. Өткізгіштігі төмен ерітінді үшін тамшының бетінде Тейлор конусын түзу үшін заряд болмайды, содан кейін электр иіру процесі жүрмейді. Өткізгіштікті беттік-белсенді заттарды немесе тұзды қосу арқылы арттыру тамшы бетіндегі зарядтарды арттырады, бұл Тейлор конусының пайда болуына және талшық диаметрінің төмендеуіне әкеледі. Тұздардың бірнеше түрі әртүрлі мөлшерде (әдетте 2% дейін) қолданылған. 2%-дан жоғары ағын тұрақсыз болады, бұл электроспиннинг процесін тежейді [10].

Еріткіш әсерлері. Еріткіш таңдау біркелкі, тегіс және шексіз электроиірінді наноталшықтарды қалыптастырудың негізгі параметрлерінің бірі болып табылады. Біріншіден, полимерді осы еріткіште толығымен еріту керек, өйткені электр иіру процесі үшін біртекті ерітінді қажет. Алайда, ерігіштік параметрі жоғары еріткіш міндетті түрде электроспинацияға жарамды ерітіндіні шығармайды [14]. Екіншіден, еріткіштің орташа қайнау температурасы болуы керек, ол булану жылдамдығын және, демек, ағынның қату жылдамдығын анықтайды. Аса жоғары құбылмалылық қажет емес, өйткені ағын иненің ұшында бірден қатып, спиннерді бітеп, электроспиннинг процесін тоқтатуы мүмкін. Егер ұшқыштық тым төмен болса, талшықтар коллекторға салынған кезде әлі де ылғалды болады, бұл нанопфибра моншақтарының пайда болуына әкелуі мүмкін [10].

Диэлектрлік өтімділік те маңызды рөл атқарады, өйткені ол ағындағы беттік зарядтар арасындағы электростатикалық кері итеру мөлшерін бақылайды. Диэлектрлік өтімділікті арттыру тұрақты ағынға жету үшін қолданылатын кернеуді арттыруды білдіреді. Сондықтан су жоғары диэлектрлік өтімділігіне және электростатикалық серпілістің әлсіреуіне байланысты электроспиндік үшін қолайлы еріткіш болып табылмайды. Электр иіруде қолданылатын жалпы еріткіштерге спирт, дихлорометан, хлороформ, диметилформамид (DMF), тетрагидрофуран (THF), ацетон, диметил сульфоксиді (DMSO), гексафтороизопропанол (HFIP) және трифторэтанол жатады. Кейбір жағдайларда электроспиннинг үшін оңтайлы формуланы алу үшін екі еріткішті араластыру қызықты болуы мүмкін [9]. Дегенмен, екі еріткіштің қолданылуы талшықтың кеуектілігіне әсер етеді: еріткіштердің әртүрлі булану жылдамдығы фазалардың бөлінуіне әкеледі және сондықтан кеуекті материалдың жасалуына әкеледі [10].

Берілген барабан өлшемі мен оның айналу жылдамдығының әсері.

Талшықтардың морфологиясына коллектордың табиғаты әсер етеді. Коллектор түрін таңдау талшықтардың қалаған аймағына байланысты болады (мысалы, барабан коллекторы диск жинағышқа қарағанда тураланған талшықтардың көбірек аймағын береді). Түзетілген талшықтарды алу үшін айналмалы коллектор, электродтар массиві немесе жұп магнит қажет.

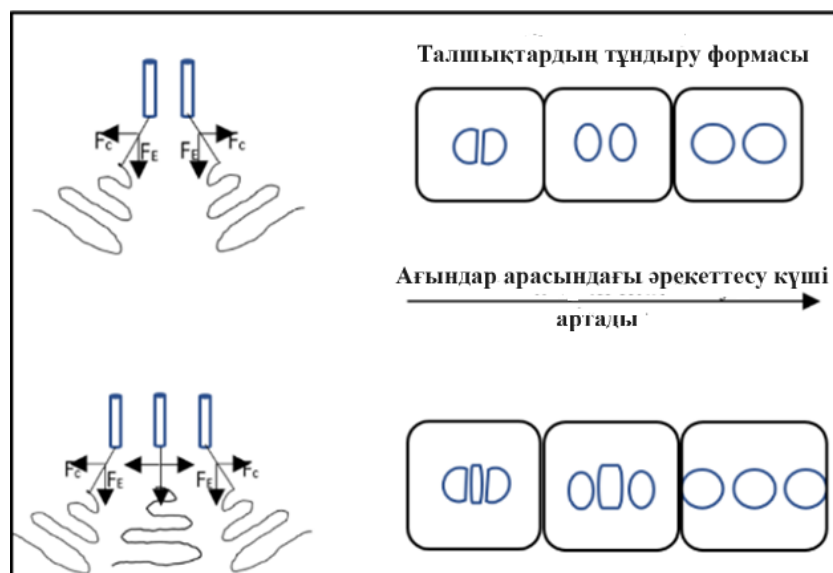
Коллектор электродтар массиві болған кезде, теңестіру электр өрісіне әсер ету арқылы реттеледі, ал коллектор жұп магнит болған кезде туралау магнит өрісімен басқарылады. Айналмалы коллектордың айналу жылдамдығын өзгерту арқылы талшықтардың туралануына механикалық созылу күштері әсер етеді [10]. Әдетте, айналу жылдамдығы 1000 айн/мин төмен болғанда, тор кездейсоқ ұйымдастырылады. 500 айн/мин жоғары жылдамдық неғұрлым жоғары болса, соғұрлым туралау жақсы болады, өйткені полимер молекулалық тізбектері талшық осіне сәйкес көбірек тураланады, осылайша талшықтардың кристалдық бағыты жақсарады [15,16]. Мысалы, айналу жылдамдығының әсері POM (полиоксиметилен) нанталшықтары үшін зерттелді, POM жоғары кристалды полимер болып табылады. Барабан коллекторының айналу жылдамдығы жоғарылағанда наноталшықтардың морфологиясы қатпарлы тізбекті кристалдан ұзартылған тізбекті кристалға өзгеретіні көрсетілген.

Үлкен өндіріске арналған бірнеше инелер. Қазіргі уақытта электроспиннинг алдында тұрған маңызды міндеттердің бірі салалық сұранысқа жауап ретінде кеңейту болып табылады. Электроспиннинг туралы жарияланған жұмыстардың көпшілігінде авторлар ішкі диаметрі 0,2-ден 1,5 мм-ге дейін жоғарыда сипатталғандай бір шприцті қолданатын эксперименталды зертханалық қондырғыны пайдаланды. Полимерлі ерітіндіге байланысты ағын жылдамдығы әдетте сағатына 5 мл-мен шектеледі. Демек, наноталшықтар өте төмен шығымдылықпен алынады, бұл электроспиннің өнеркәсіптік қолдануын шектейді.

Электроспиннинг процесінде жоғары тиімділіктің ең маңызды параметрі ағын жылдамдығы болып табылады. Дегенмен, ағынның жылдамдығы көбінесе электр өрісінің күшімен анықталады. Ағын жылдамдығын ұлғайту кернеуді ұлғайту дегенді білдіреді, бұл талшықтардың орнына тамшылардың пайда болуына әкеледі («Электроспиннинг процесін басқару, Кернеудің әсерлері» бөлімін қараңыз) және наноталшық диаметрінің ұлғаюы («Электр иіру процесін басқару, әсерлері» бөлімін қараңыз). Ағын жылдамдығы). Сондықтан, қолданылған кернеу мен ағын жылдамдығы арасында ымыраға келу қажет болғанда, бір инелі электроспиндік процестің өткізу қабілетін айтарлықтай арттыру мүмкін емес.

Кейбіреулер өндірісті ұлғайту үшін инесіз электроспиннингті қолдануға тырысты. Дегенмен, еріткіштің булануы сияқты кейбір параметрлер оңай өзгереді, бұл салалық өндірісте дәл және қайталанатын өндірісті алуды қиындатады.

Бір инелі және инесіз электроспиннингтің кемшіліктерін жою үшін көп инелі электроспиннинг нанофибра өндірісі үшін маңызды таңдау болуы мүмкін. Электроспиннинг қондырғысының спиннері ретінде бірнеше жеке инелер комбинациясы өнімділікті арттырудың ең тікелей әдісі болып табылады. Бұл әдіс жалпы еріткіш болмаған кезде екі немесе одан да көп полимерлердің композиттік талшықтарын алу үшін де пайдалы.



5 сурет – Типтік талшықты тұндыру үлгілері бар көп саптамалы электроспиннингті күштік талдау.

Көп инелі электроспиннинг процесі. Көп инелі электроспиннинг процесінің жұмыс механизмі кәдімгі бір инелі электроспиндик процеске өте жақын. Бір инеден шыққан жалғыз ағын үшін ағынның бастапқы түзу жолы электр өрісінің бағытына бағытталған күштермен анықталады. Көп саптаманы орнату жағдайында инелерден бір уақытта бірнеше ағын шығарылуы мүмкін, содан кейін олардың барлығы иілу тұрақсыздығына ұшырайды. Электр өрісінің F_E күшінен басқа, ағындар ағындардың көршілерінен әсер ететін F_C кулондық күштерге бағынады. Ағынның ауытқуы 5-суретте көрсетілгендей осы екі күштің нәтижесі болып табылады.

Үш саптамалық конфигурацияда орталық ағынның траекториясы бүйірлік ағындардың симметриялы орналасуына байланысты бір ағынды электроспинациядағы сияқты дамиды, ал сыртқы ағындардың траекториялары кулондық күштердің әсерінен ауытқиды. Электр өрісінің F_E күшінен басқа, әрбір реактивті ағын көршілерінен F_C кулондық күштеріне бағынады. Кернеу неғұрлым жоғары болса, үлгілер соғұрлым алыс болады.

Көп инелі электроспиннинг машинасында саптаманың қашықтығы әдетте 10–50 мм-ге орнатылады, бұл электроспиндик процеске күрделі әсерлерді тудырады. Инелер арасындағы қашықтық салыстырмалы түрде аз болған кезде, ұштардағы электр өрістерінің өзара интерференциясы үлкенірек болады, бұл электр өрісінің біркелкі еместігін тудыруы мүмкін, бұл талшықтың сапасына тікелей әсер етеді.

Электр өрісіне ине конфигурациясы, инелердің саны және ине аралықтары сияқты көптеген факторлар әсер етеді. Қашықтыққа негізінен инелердің диаметрі және полимер ерітіндісінің қасиеттері әсер етеді. 5-суретте көрсетілгендей, инелер арасындағы қашықтықты ұлғайту ағындардың итерілуін азайтады, сонымен бірге ағындарды бір мезгілде

жақындатады, бұл алынған талшықтардың шоғырлануына әкеледі. Белгілі бір аумақта орналасқан инелердің саны қашықтыққа да, орналасуына да байланысты және түптеп келгенде талшық өндірісінің өнімділігін анықтайды. Тордың орналасуы ағындар арасында ең біркелкі электр өрісін алу үшін электр өрісінің таралуын басқарады [9]. Бірнеше инелердің конфигурациясын екі түрге бөлуге болады: инелер түзу сызықта орналасқан сызықтық массивтер және инелер арнайы орналасуға орналастырылған екі өлшемді массивтер, соның ішінде шаршы, дөңгелек эллипстік, алтыбұрышты және үшбұрышты өрнектер.

Сызықтық тәртіпте орналасқан бірнеше инелердің бірнеше мысалдары хабарланды, бұл ең қарапайым орналасу. Мысалы, наноталшықты торларды шығару үшін төрт инені бар желілік көп инелі электр иіру машинасы жасалды.

Сонымен қатар, сыртқы ағындардың шетінен орталыққа қарай электр өрісінің біртіндеп әлсіреуіне байланысты орталық ағынға қарағанда ұзағырақ бастапқы түзу учаскелері және үлкен конверт конустары бар. Кернеуді жоғарылату сонымен қатар орталық және сыртқы ағынның түзу ұзындықтары мен қоршау конустарын, сондай-ақ сыртқы ағынның ауытқу бұрышын арттыратыны байқалады. Бірақ кернеу тым төмен болса, электрлік күш жеткілікті күшті болмайды және ағын орталық инеден шыға алмайды.

Көп инелі электроспиннинг бойынша зерттеулердің көпшілігі екі өлшемді инелер массивтері бар процестерге бағытталған. Мысалы, процестің тұрақтылығы мен өндіріс тиімділігін арттыру үшін эллиптикалық және айналмалы көп инелі иіру әзірленді.

2.3 Биологиялық зерттеулерге арналған электроспиннингтік тіректер

Электроспиндік мембраналар биология, наносенсорларды жасау, қорғау, ақпаратты сақтау және тасымалдау, энергетика, тоқыма өнеркәсібі, радиацияны сіңіру, ластаушы заттардың деградациясы, тамақ өнімдерін өңдеу және электроспиндеу процесінде сүзу сияқты әртүрлі салаларда қолданылады [17].

Биологияда бұл тіректер тіндерді өндіруге, дәрі-дәрмек жеткізуге, таңғыш өндіруге, ферменттерді иммобилизациялауға және жасуша мәдениетіне арналған үш өлшемді тіректерге мүмкіндік береді.

2.3.1 Жасушалы мәдинет үшін электроспиндік үш өлшемді тіректі қолдану

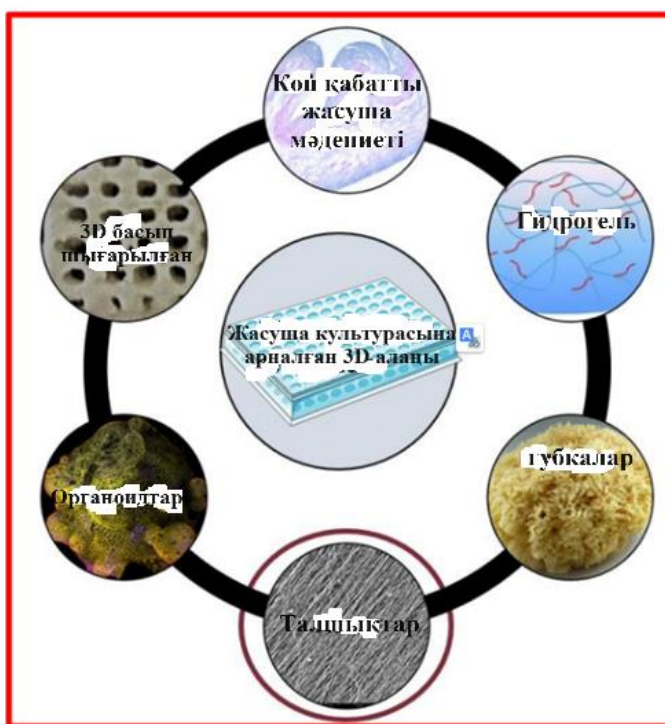
Жасушаларды екі өлшемді (2D) дақылда өсіргенде, нәтижелер нақты организмдегідей болмайды. Жасушалар дифференциялану қабілетін жоғалтып, ісіктерге тән қасиеттерге ие болып, генетикалық деңгейде өзгеруі

мүмкін. Мысалы, 2D мәдениетіндегі меланома жасушалары *in vivo* үш өлшемді (3D) ісіктердегі жасушалармен салыстырғанда жасуша адгезиясымен, жасушадан тыс матрицаның қайта құрылуымен және тіннің дамуымен байланысты гендерді әлдеқайда аз көрсетеді.

Жасушалар 3D мәдениетінде өсірілгенде, олар денеде кездесетін жағдайларды жақсырақ еліктейді, бұл олардың табиғи қасиеттерін, соның ішінде дифференциациялау және емдеуге жауап беру қабілетін сақтауға мүмкіндік береді. 3D дақылдары жасушалардың миграциясы және көбеюі, сондай-ақ қоректік заттар мен оттегінің жақсырақ таралуы сияқты биологиялық процестерді дәлірек модельдеуге мүмкіндік береді.

Ұлпа инженериясының және 3D жасуша дақылдарын құрудың негізгі мақсаттарының бірі оның механикалық және химиялық қасиеттерін ескере отырып, жасушадан тыс матрицаның (ECM extracellular matrix) микроортасын барынша дәл жаңғырту болып табылады. Бұл жасуша әрекетін дәл түсіну үшін маңызды. Дегенмен, прогреске қарамастан, нарықтағы бар үш өлшемді дақылдар әлі де көптеген шектеулерге ие [18-19].

Үш өлшемді тіректер. Соңғы онжылдықта жасанды үш өлшемді тіндік суррогаттардың саны өсті.



6 сурет – Жасуша мәдениетіне арналған үш өлшемді тіректер.

Жоғары гидратталған полимерлерден жасалған гидрогельдер жергілікті ECM ортасына ұқсайды. Олар табиғи полимерлерден (мысалы, коллаген, хитозан, альгинат және гиалурон қышқылы) немесе синтетикалық полимерлерден (PEO, PVA, PAA немесе P(PF-co-EG), полилактикалық қышқылдан (PLA), поли(лакто-гликоль) тұруы мүмкін. қышқыл) қышқыл)

(PLGA) және поликапролактон (PCL)) тұрады. Табиғи полимерлер үшін ЕСМ компоненттеріне көптігі мен жоғары ұқсастығы немесе синтетикалық полимерлер үшін жоғары теңшеу қабілеті сияқты жақсы қасиеттеріне қарамастан, кейбір шектеулерді елемеуге болмайды. Бір жағынан, тор аймағы тым кішкентай болғандықтан, жасушаларға гидрогельді торлау қажет [20]. Бір жағынан, тор аймағы тым кішкентай болғандықтан, жасушалардағы гидрогельді торлау қажет. Екінші жағынан, табиғи полимерлер жоғары биологиялық ыдырайтын және өзгермелі, бұл зерттеулер арасындағы салыстыруды қиындатады. Полимердің молекулалық салмағы маңызды параметр болып табылады, өйткені ол оның белсенділігін және жасуша әрекеті мен өміршеңдігіне әсерін анықтайды. Полимердің биодеградациясы молекулалық массаның төмендеуіне әкеледі, бұл жасуша микроортасының толық өзгеруін тудырады. Нашар желілік гидрогельдердің ыдырау жылдамдығы тым жоғары және ұзақ мерзімді жасуша мәдениетіне жол бермейді, ал жоғары желілі гидрогельдер тым цитотоксикалық және нашар диффузиямен байланысты. Демек, қоршаған ортаның физикалық қасиеттерін сәйкес шектеулерсіз модуляциялау қиын. Қоректік заттардың, оттегінің немесе дәрілік препараттардың біркелкі таралуы кросс-байланысқа өте тәуелді, өйткені ол гидрогель арқылы диффузияға әсер етеді. Соңында, гидрогельдермен қапталған жасушаларда омикалық талдауды орындау қиын.

Кеуекті құрылымдарды биоматериалды ерітінділерді лиофилизациялау немесе шаймалау арқылы алуға болады. Олар губкалар немесе көбік жақтаулары деп аталады. Губкалар сүйек трансплантаттарында кеңінен қолданылады; олар өсу мен дифференциацияны қамтамасыз етеді және оңай функционалдық мүмкіндік береді. Дегенмен, олардың қаттылығы, кеуектілігі және деградация жылдамдығы оңай бақыланбайды немесе реттелмейді, криосекциясыз микроскопиялық көрінуі нашар және қатерлі ісік жағдайында олар миграцияны оңай бақылауға арналмаған .

Керамикалық тіректер биомиметикалық ЕСМ ортасы ретінде, әсіресе сүйек тіндері үшін қолданылады. Олардың биоүйлесімділігі жоғары, өйткені олар табиғи сүйекте кездеседі және остеокондукция мен оссеоинтеграция қасиеттеріне ие. Дегенмен, олар механикалық беріктікке ие және сүйек ыдырау жылдамдығы жаңа сүйек түзілу жылдамдығынан асып түседі [21].

Талшықты тіректерді [22] электроспиннинг, молекулалық өздігінен құрастыру немесе термиялық индукциялық фазаларды бөлу әдістерімен дайындауға болады. Олар жасушалардың адгезиясын, өсуін және миграциясын күшейтіп қана қоймайды, сонымен қатар тірек ішіндегі биоактивті молекулалардың диффузиясына ықпал етеді, биоүйлесімді, жақсы және реттелетін механикалық қасиеттерді және беттік химияны көрсетеді. Талшықтардан тұратын талшықты тіректер морфологиялық жағынан жергілікті ЕСМ-ге ұқсас, ол да талшықтардан (коллаген, ламинин, фибронектин, гиалурон қышқылы және т.б.) тұрады. Олар нақты уақытта бейнелеу микроскопиясының көптеген әдістерімен және гистология және биохимия протоколдарының көпшілігімен үйлесімді.

Жасушасыздандырылған тіндерде жүргізілген зерттеулер *in vivo* ортасына ең жақын болып табылады, өйткені олар табиғи ЕСМ, өсу факторлары және зерттелетін жасушалар шыққан органға тән тіндерге негізделген үш өлшемді тіректер болып табылады. Дегенмен, зақымданбаған тіндерге қол жетімділік төмен және оны қайталау қиын, өйткені жалпы ұйымды бұзбай, барлық жасушалық қалдықтарды жою өте қиын.

Органоидтар мен сфероидтар үш өлшемді өздігінен ұйымдастырылатын көп жасушалы құрылымдар ретінде таныстырады. Дегенмен, оларды әрбір жасуша түрінен алуға болмайды және тек физиологиялық немесе патологиялық контексте миграциялық зерттеулерге жарамайды. Бұл контексте оларды наноталшықты төсеніштер немесе микрофлюидтік құрылғылар сияқты биомиметикалық ортамен біріктіру қажет болады.

Үш өлшемді тіректерді жасау. 3D басып шығару маңызды артықшылық береді, себебі ол компьютердің көмегімен, кеуектер өлшемі мен орналасуы, архитектурасы мен механикалық қасиеттері сияқты әрбір параметрді басқаруға мүмкіндік береді. Биопринтинг – тірі жасушалармен гидрогельді бояуларды басып шығару. Дегенмен, жасушалар экструзия кезінде кернеу мен қысымға төтеп беруі керек, ал жиі қолданылатын полимерлер төмен механикалық қаттылыққа ие [22].

Электроспиннинг ең көп таңдалған әдіс болып табылады, өйткені ол микро және макро деңгейлерде жергілікті ЕСМ ортасын имитациялайтын нано және микро диаметрлі талшықтардан тұратын тіректерді қамтамасыз ете алады [22].

2.3.2 Материалдарды таңдау

Биоматериал өндірісінің негізгі параметрлерінің бірі материалды таңдау болып табылады, ол биоүйлесімді болуы керек. Сонымен қатар, электроспиндік тірек алу үшін зат иірілетін болуы керек. Осы екі критерийге сүйене отырып, сіз полимерді немесе пептидті, табиғи немесе синтетиканы таңдай аласыз.

Полимерлер.

Органикалық полимерлер еріткіш ыдырамай толық ерітуге мүмкіндік беретін және молекулалық салмағы жеткілікті жоғары болған жағдайда электроспиндік болуы мүмкін.

Табиғи полимерлерді таңдауға болады, себебі олар биоүйлесімді, жасушалар тезірек таниды және биофункционалды [23,24]. Мысалы, хитозанның бактерияға қарсы және гемостатикалық қасиеттері бар, бұл оны жараларды емдеуге қолайлы кандидат етеді. Екінші жағынан, фибриноген тақтасы жақсы механикалық қасиеттерге және баяу ыдырау жылдамдығына ие.

Кейбір полимерлер, мысалы, полиэтилен, электроспиндік үшін қолданылатын еріткіштерде ерімейді. Ол ерітінді шығарылатын инені

қыздыру арқылы балқытылады және осы күйде сақталады. Бұл кезде полимер қатайып, талшық түзеді. Бір артықшылығы - соңында еріткіш қалдығы жоқ, өйткені бұл әдіс еріткіштерді пайдаланбайды. Бірақ бұл әдіс наноталшықтарды шығармайды, ал қыздыру полимерлердің деградациясына әкелуі мүмкін. Ақырында, бұл әдіспен биоактивті молекулаларды талшықтарға енгізу мүмкін емес.

Ақырында, композициялық наноталшықтардың артықшылығы әртүрлі таңдалған компоненттердің сәйкес қасиеттерін біріктіру арқылы белгілі бір шектеулерді жеңу мүмкіндігіне ие.

Арнайы ұсынылған PAN. Полиакрилонитрил (PAN) талшықтары жоғары балқу температурасына және жоғары көміртекті шығымдылығына (бастапқы прекурсордың салмағының >50%) байланысты шайыр немесе аудан сияқты басқа прекурсорлармен салыстырғанда көміртекті талшықтарды өндіру үшін қолайлы прекурсорлар болып табылады. PAN талшықтары тоқыма өнеркәсібінде акрил талшықтары ретінде де кеңінен қолданылады және олар физикалық және механикалық қасиеттерінің жақсаруына байланысты автомобиль және аэроғарыштық қолданбаларға арналған жоғары өнімді композиттер үшін өте қажет. PAN талшықтары жасушаның өсуін ынталандыру үшін биологиялық өрісте қолданылуы мүмкін, бірақ олар бұл салада әлі кеңінен қолданылмайды. Олар биоүйлесімділігіне және құрылымын тұрақтандыратын термиялық өңдеуге байланысты зарарсыздандыру мүмкіндігіне байланысты таңдалды [24]. Олар сонымен қатар биодegradацияға төзімділігін көрсетеді, бұл тек жасуша мәдениетін ғана емес, сонымен қатар жан-жақты омикалық талдауға мүмкіндік береді. PAN наноталшықтарының кеңістіктік дизайны мен механикалық қасиеттері басқа физика-химиялық параметрлерге тәуелсіз реттеледі [24]. Ақырында, суға төзімді полимерлердің көпшілігі улы немесе коррозиялық еріткіштерден иірілуі керек, ал диметил сульфоксиді сияқты аз улы еріткіштерден тек бірнешеуін ғана электроспининг жасауға болады.

PAN Электроспининг. Соңғы бірнеше онжылдықта PAN электроспиндік процесі кеңінен зерттелді [4,5,8]. Ең жиі қолданылатын PAN молекулалық салмағы 150 000 г/моль. Тек екі еріткіш PAN электроспинациясына мүмкіндік береді: N,N-диметилформамид (DMF) және диметилсульфоксид (DMSO); бұлардың біріншісі ең көп қолданылады, бірақ кейбір жағдайларда DMSO аз уытты еріткіш ретінде қолданылады [26]. DMF еріткішінде PAN пайызы қажетті талшықтарға байланысты 6-дан 14 масса% дейін ауытқиды. PAN талшығының диаметрі полимер концентрациясының жоғарылауымен ұлғаяды, 15-тен 25 кВ-қа дейінгі кернеудің жоғарылауы талшықтардың диаметрін үлкейтеді. Дегенмен, кернеудің әсері полимер концентрациясының талшық диаметріне әсері сияқты үлкен емес. Концентрация мен кернеу тым төмен болғанда, Гу және т.б. талшық ұршықты тәрізді шарлары бар талшықтар алынатынын көрсетті. Коллектор мен ине арасындағы қашықтық 15 пен 25 см аралығында. Әдетте, PAN талшығының типтік диаметрі

жоғарыда қолданылған параметрлерге байланысты 350 және 500 нм аралығында болады.

Микрофлюидтер мен электроспиннингті талшықтардың комбинациясы. Микрофлюидика жеке немесе жиынтық физиологиялық параметрлерді көбейту арқылы жасуша сипатын зерттеуге мүмкіндік береді. Ол қан тамырларын жақсы имитациялау үшін ламинарлы ағын жасау арқылы оттегі мен қоректік заттардың таралуын және қалдықтарды кетіруді қамтамасыз етеді. Өртүрлі жасуша түрлері өзара әрекеттесе алады және концентрация градиенті жабын арқылы немесе ерітіндіде қолданылуы мүмкін. Микрофлюидтік технология мен 3D тіректерінің үйлесімі жасуша мәдениеті артефактілерін азайту, *in vitro* биологиялық процестерді имитациялау мүмкіндігін арттыру, содан кейін клиникаға дейінгі және клиникалық зерттеулер арасындағы айырмашылықтарды азайту үшін *in vitro* үлгілерін айтарлықтай жақсартады [28].

Микрофлюидиктерді және 3D электроспиннинг тіректерін біріктіру үшін үш түрлі технология әзірленді: бүйірлік ағын үлгілері, микрофлюидтік арнаға тікелей электроспиннинг және электр иіру талшықтарын біріктіру.

Бүйірлік ағын үлгісі қағаз микрофлюидиктеріне ұқсас микрофлюидтік құрылғы болып табылады. Дегенмен, қағаздан айырмашылығы, морфологиясы мен өлшемдерін бақылауға болады. Егер кесу қолданылса, бұл әдіс жарамайды.

Екінші әдіс микрофлюидтік құрылғының арнасының ішіндегі талшықтарды тікелей электроспинациялауды қамтиды, бірақ арна өлшемі кемінде 1 мм болуы керек.

Үшінші әдісте талшықтар алдымен электрмен иіріледі, содан кейін тірек кесіледі және ұяшықтар 3D басып шығарылған микрофлюидтік құрылғыға енгізілмес бұрын себіледі. Бұл процесс ең қолайлы болып көрінеді, себебі оған егілген жасушалары бар тіректерді алып тастауға және зерттеуге болады, ал микрофлюидтік құрылғыны қалауыңызша жобалауға болады.

Жақында Guida және т.б. адам маммосферасынан алынған маммосфералардың люминальды жасушаларға дифференциациялануын зерттеу үшін ашық микрофлюидтік камерада электроиірінді PCL талшықтарының тіректерін ұсынды [29]. Микрофлюидика микроорта факторларын бақылауға және биоактивті молекулалардың алмасуына мүмкіндік берді, ал наноталшықтар дифференциацияны, пролиферацияны және миграцияны қолдау үшін ЕСМ-ге еліктейді. Электроспиннинг пен микрофлюидиктердің комбинациясы *in vitro* процесіне жақындай отырып, *in vitro* зерттеулеріне үлкен үміт береді.

3 НӘТИЖЕЛЕР ЖӘНЕ ОЛАРДЫ ТАЛДАУ

3.1 Алынған нәтижелердің сипаттамасы және талшықтардың негізгі сипаттамалары

Талшықтарды алу тәртібі. Электроспиннинг талшықтарын өндіру процедурасы өлшемдері мен қасиеттері бақыланатын микро және наноталшықтарды қалыптастырудағы тиімділігіне байланысты таңдалды. Процесті бастау үшін полимер ерітіндісінің қоспасы дайындалды, бұл соңғы талшықтардың сапасы мен өнімділігін қамтамасыз етудегі негізгі қадам.

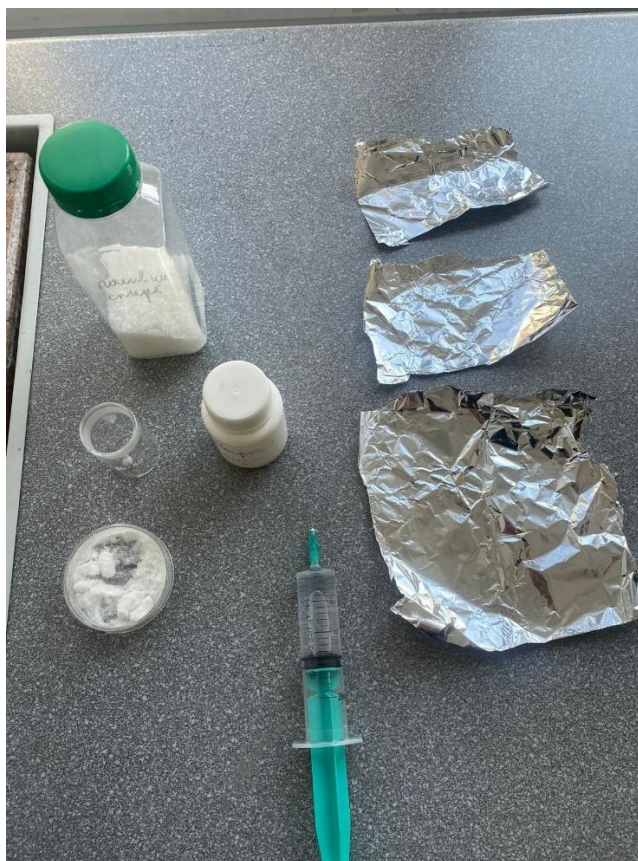
Ерітінді дайындау. Электроспиннинг үшін бастапқы ерітінді 20% поливинил және 1,25 г мырыш ацетаты қосылған 10 мл суды араластыру арқылы дайындалды. Поливинил талшықтарды қалыптастыру үшін полимер негізі ретінде қызмет етеді, ал талшықтарға микробқа қарсы қасиеттер беру үшін мырыш ацетаты қосылады.

1. Компоненттерді еріту: Компоненттер шыны колбада араластырылады, онда олар толығымен ерігенше мұқият араластырылады. Бұл ерітіндідегі барлық ингредиенттердің біркелкі таралуын қамтамасыз етеді.
2. Қыздыру: ерітіндіні одан әрі араластыру және гомогенизациялау үшін қоспаны CVD пешінде қыздырады. Қыздыру ерітіндінің тұтқырлығын төмендетуге көмектеседі, бұл кейінгі электроспиннинг процесі үшін маңызды.

Электроспиннинг процесін бастау үшін келесі компоненттерден тұратын ерітінді дайындалды:

- 4 г спирт,
- 1 г поливинил,
- 1,25 г мырыш ацетаты.

Бұл компоненттер өлшеніп, біртекті консистенция алынғанша шыны колбада мұқият араластырылды 7-суретте көрсетілгендей. Электроспиннинг процесін бастау үшін компоненттерді дәл өлшеу үшін OHAUS Pioneer PR224 аналитикалық таразысының көмегімен ерітінді дайындалды 8-суретте көрсетілген.



7 сурет – Ерітінді дайындау процесі

Содан кейін ерітіндісі бар колбаны магнитті араластырғышқа салып, 40 градус Цельсий температураға дейін қыздырды 9-суретте көрсетілген. Компоненттердің ерігіштігін жақсарту және ерітіндідегі бөлшектердің біркелкі таралуын қамтамасыз ету үшін қыздыру жүргізілді.

Бұл компоненттер олардың арасындағы дәл арақатынасты қамтамасыз ету үшін аналитикалық таразы арқылы жоғары дәлдікпен өлшенді. Өлшеуден кейін компоненттер біртекті консистенция алынғанша шыны колбада мұқият араластырылды.



a)



b)

8 сурет – а) 4гр спирт б) поливинил 1 гр ОHAUS Pioneer электронды таразыдан өлшеу процесі



9 сурет – FOUR E'S SCIENTIFIC ыстық пластиналы магниттік араластырғыш қыздыру процесі

Алынған талшық үлгілері Spectrum NT-MDT Spectrum оптикалық микроскопында мұқият зерттелді. Зерттеу талшықтардың морфологиясын,

құрылымын және өлшемін бағалауды қамтиды. Талшықтың диаметрін өлшеу және олардың таралуын бағалау жүргізілді. Бұл алынған талшық құрылымдарының пішіні, өлшемі және сипаттамалары туралы толық ақпарат алуға мүмкіндік берді. Алынған мәліметтерді одан әрі талдау және электроспиннинг процесін оңтайландыру үшін, сондай-ақ ғылым мен техниканың әртүрлі салаларында практикалық қолдану үшін пайдалануға болады.



10 сурет – Spectrum NT-MDT Spectrum оптикалық микроскоп

Электроспиннинг процесі. Электроспиннинг процесі дайындалған ерітіндіні жұқа инемен жабдықталған шприцке салудан басталады. Шприц ине мен коллектор арасында қажетті электр өрісін жасайтын электроспиндік құрылғыға орнатылады 7-суретте электроспиннинг әдісі негізіндегі құрылғы көрсетілген.

1. Ерітінді жеткізу: ерітінді бақыланатын қысыммен ине арқылы жеткізіледі. Бұл эмиссия нүктесіне ерітіндінің біркелкі және тұрақты жеткізілуін қамтамасыз етеді.
2. Кернеуді қолдану: Жүйеге шамамен 30 кВ жоғары кернеу қолданылады. Электр өрісі ерітінді тамшыларының жұқа талшықтарға созылуын тудырады, содан кейін олар коллекторға ұшады.
3. Талшықтың түзілуі: ерітінді тартылып, коллекторға қарай жылжыған кезде еріткіш тез буланып, пайда болған талшықтарды қалдырады.

Дайындалған ерітінді шприцке салынды, ол электроспиндік процесс кезінде материалды жеткізу үшін пайдаланылды. Шприц жоғары кернеу көзіне қосылып, 20 киловольт электр өрісін құрады.

Осы электр өрісінің әсерінен ерітінді шприцтен жұқа талшықтар түрінде шығарылды, олар коллектордың бетіне пленка немесе тор түрінде шөгінді. Процесс коллектордың барлық қол жетімді беті талшықтармен жабылғанша жалғасты.



11 сурет – Электроспиннинг әдісіне негізделген құрылғы

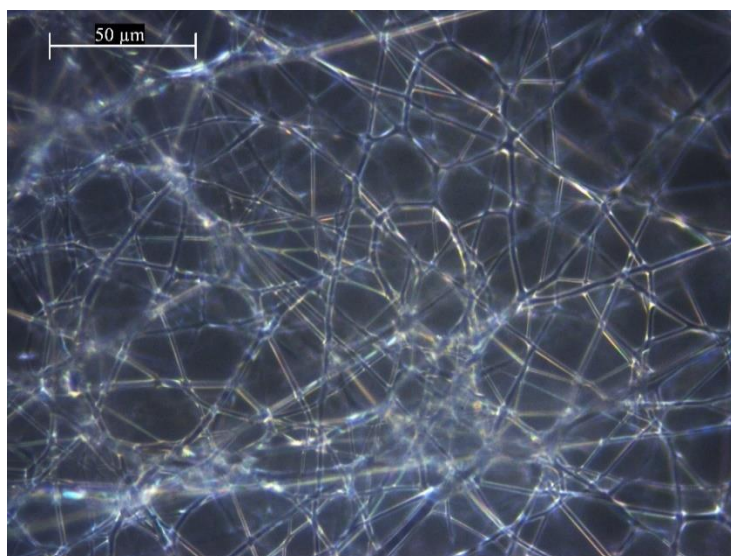
Талшық жинағы. Түзілген талшықтар коллекторға, әдетте металл фольгаға түседі, онда олар үздіксіз материал ретінде жиналады.

1. Талшықтарды алу: процесс аяқталғаннан кейін талшықтар коллектордан мұқият алынып тасталады.
2. Кейінгі өңдеу: Талшықтар қасиеттерін жақсарту немесе жаңа функцияларды беру үшін термиялық өңдеуді немесе химиялық модификацияны қоса, қосымша өңдеуден өтуі мүмкін. Бұл процесс жоғары дәлдік пен біркелкі талшықтарды шығарады, бұл оларды кейіннен медицинадан тоқыма өнеркәсібіне дейін әртүрлі салаларда пайдалану үшін өте маңызды.

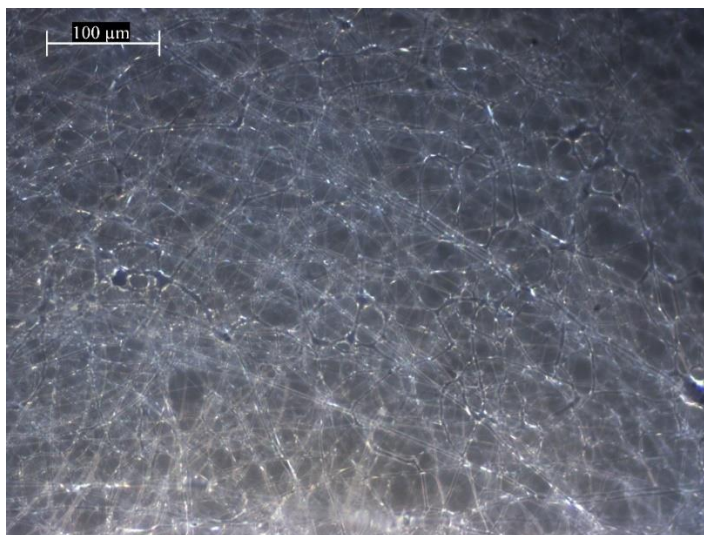


12 сурет – Электр өрістен алынған үлгілер

Бұл электроспиннинг процесі дәл бақыланатын өлшемдері мен қасиеттері бар талшықтарды шығарады, бұл оларды медициналықтан бастап техникалыққа дейін әртүрлі қолданбаларда қолдануға өте ыңғайлы етеді.



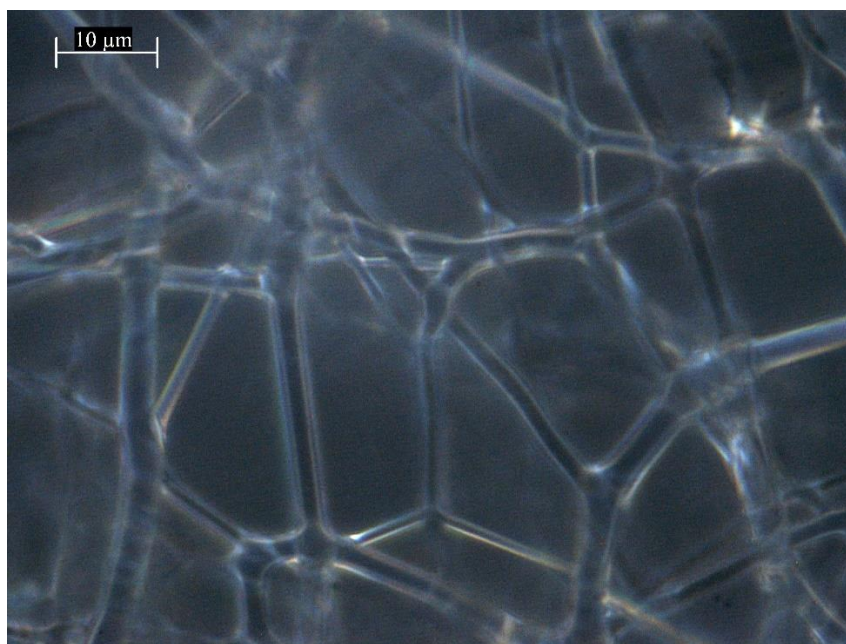
13 сурет – 50 микрометр көріністегі мырыш ацетатымен алынған талшықтар



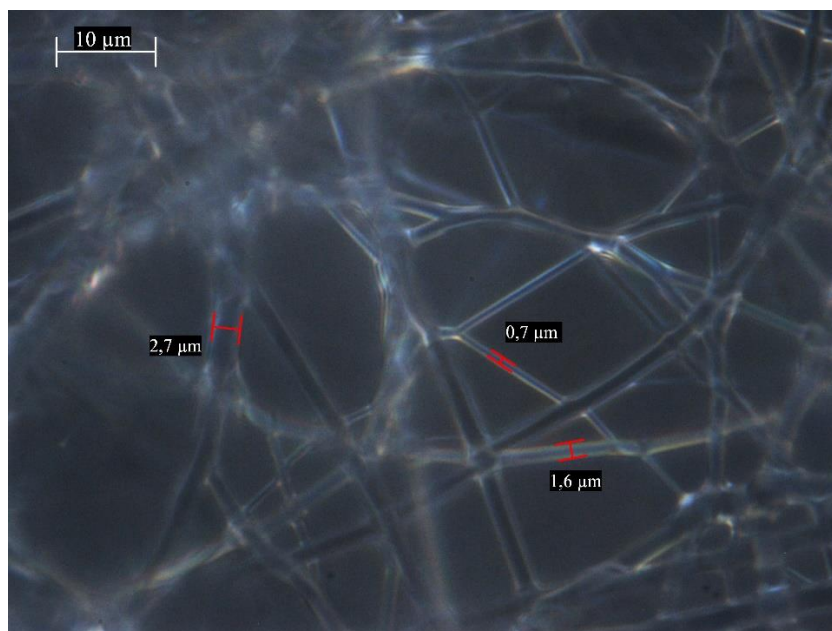
14 сурет – 100 микромметр көріністегі талшықтар

Бұл микроскоптың маңызды артықшылығы оның талшықтың диаметрі мен ұзындығын дәл өлшеу мүмкіндігі болып табылады, бұл өндірілетін материалдардың сапасы мен біркелкілігін бағалау үшін өте маңызды.

Талшықтардың морфологиясына сипаттама. Зерттеу нәтижесінде талшықтардың қалыңдығы мен ұзындығы бойынша біркелкі таралатыны анықталды. Бұл электроспиндік процестің тұрақтылығы мен тиімділігін көрсетеді. Түйіндер немесе жыртылу сияқты көрінетін ақаулардың болмауы алынған өнімнің жоғары сапасына және өндіріс процесін мұқият бақылауға баса назар аударады.

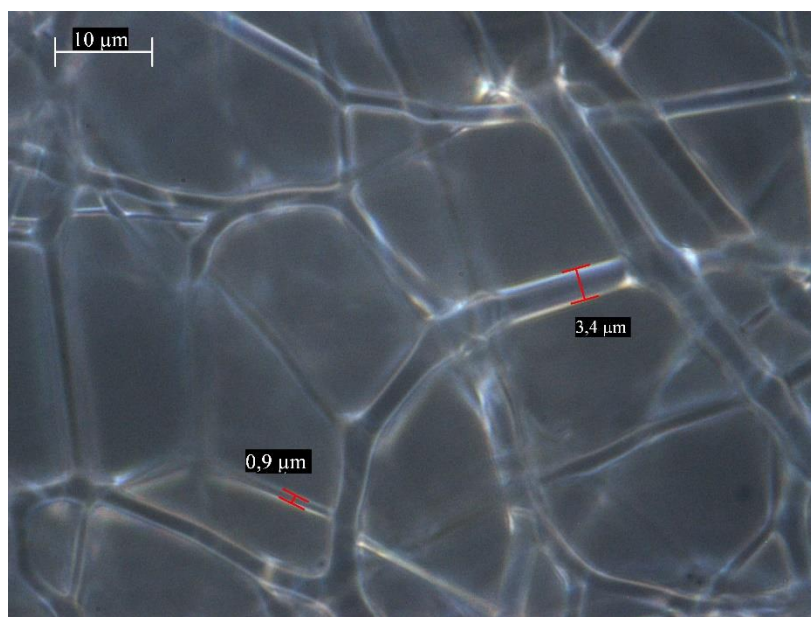


15 сурет – 10 микромметр көріністегі талшықтар

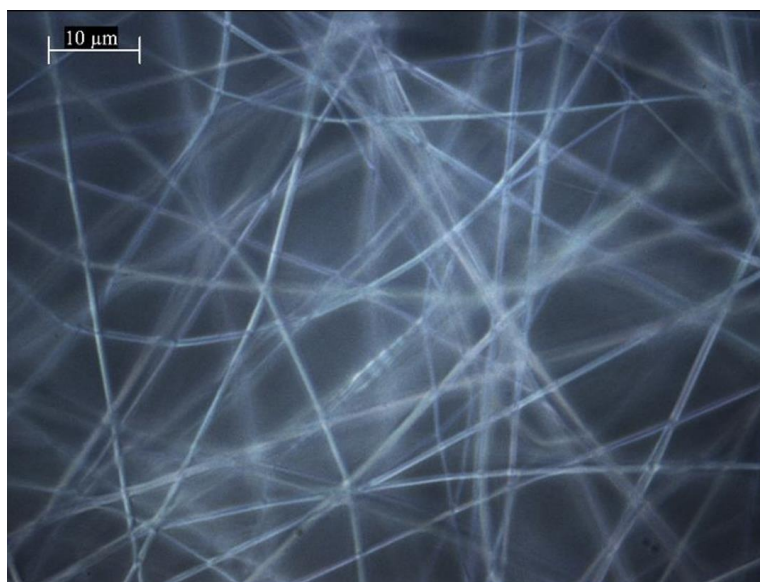


16 сурет – 10 микрометр көріністегі талшықтар

Талшық мөлшерін талдау. Талшықтардың диаметрі 5-100 нанометр аралығында екені анықталды. Бұл өлшемдердің әртүрлілігі талшықтарды әртүрлі қолданбаларға, соның ішінде биологиялық тіндермен біріктіру үшін шағын өлшемдер қажет болатын биомедициналық импланттарға және үлкен өлшемдер беріктік пен беріктікке ықпал ететін тоқыма қолданбаларына бейімделуге мүмкіндік береді.



17 сурет – 10 микрометр көріністегі талшықтар



18 сурет – 10 микрометр көріністегі поливинил алынған талшықтар

Талшықтардың бүкіл ұзындығы бойындағы диаметрдің біркелкілігі де материалдардың механикалық қасиеттерін, мысалы, созуға беріктігі мен серпімділігін жақсартуға көмектеседі.

Морфологиялық талдаудан қорытындылар. Морфологиялық талдау нәтижелері қолданылатын электроспиннинг техникасының жоғары дәлдігі мен тиімділігін көрсетеді. Өлшем тұрақтылығы және құрылымдық ақаулардың болмауы бұл талшықтарды материалдардың жоғары дәлдігі мен сенімділігін талап ететін әртүрлі қолданбаларда пайдалану үшін тамаша үміткерлер етеді. Мұндай нәтижелер қажетті сипаттамалары бар талшықтарды жасау үшін өндірістік процестерді одан әрі дамытуға және оңтайландыруға жол ашады, бұл ғылыми және өнеркәсіптік қолдануларға айтарлықтай әсер ететіні сөзсіз.

Талшықтардың қолданылуы және потенциалы. Зерттеу талшықтардың әртүрлі қолданбалы салаларда, соның ішінде микробқа қарсы таңғыштар үшін медициналық қолданбаларда, тозуға төзімді материалдар үшін тоқыма өнеркәсібінде және жоғары сүзу қабілетіне байланысты су мен ауаны тазарту технологияларында пайдалану мүмкіндігі бар екенін көрсетті. Талшықтардың микрометриялық өлшемі, құрылымдық біркелкілігі және химиялық төзімділігі сияқты бірегей сипаттамалары оларды осы қолданбалар үшін өте қолайлы етеді.

Алынған нәтижелер көрсетілген сипаттамалары бар наноталшықтарды жасау үшін электроспиннинг әдісінің жоғары тиімділігін растайды. Бұл зерттеу өндіріс процестерін одан әрі дамыту және оңтайландыру үшін жаңа мүмкіндіктер ашады, сонымен қатар синтезделген талшықтарды қолдану аясын кеңейтеді.

3.2 Зерттеудің жетістіктерін мен нәтижелерді талдау

Қолданыстағы технологиялармен салыстыру. Жетістіктер мен зерттеу нәтижелерін талдау үшін алынған талшықтардың морфологиялық және физика-химиялық қасиеттерін дәстүрлі әдістермен алынған талшықтармен салыстыру жүргізілді.

Нәтижелер мынаны көрсетті:

2 кесте – Зерттеу нәтижелері мен жетістіктерінің талдауы

Санат	Электроспиннинг арқылы алынған наноталшықтар	Дәстүрлі әдістер	Пікірлер мен артықшылықтар
Өлшемдердің және сапаның бірдейлігі	Диаметрі мен ұзындығы бойынша жоғары бірдейлік	Төмен бірдейлік	Дәлдікті талап ететін қолданыстар үшін маңызды.
Функционалдық қасиеттері	Цинк ацетаты арқасында антимикробтық қасиеттері бар	Шектеулі функциялары бар	Медицина және сүзгілеу салаларында қолдану мүмкіндіктерін ашады.
Өлшемдерді басқару	100-ден 300 нанометрге дейін	Аз басқарылатын	Нақты қолданыстарға бейімдеу мүмкіндігін береді.
Жылдамдық пен көлемдік мүмкіндіктері	Жоғары жылдамдық пен тиімді өндіріс	Баяу және аз көлемді	Өнеркәсіптік көлемде экономикалық тиімді.
Термиялық тұрақтылық	250°C дейінгі жоғары температураларда құламайды	Төмен термиялық тұрақтылық	Жоғары температураны талап ететін қолданыстар үшін қолайлы.
Механикалық беріктік	Жоғары механикалық жүктемеге ие	Әдетте төмен	Құрылымдық материалдар мен тоқыма өнеркәсібі үшін идеалды.
Ғылыми және коммерциялық үлес	Мақалалар, патенттер, жаңа қолданыстар	Шектеулі инновациялар	Жаңа технологиялар мен өнімдерді

			дамытудағы прогресс.
Коммерциялық әлеует	Арнайы салалар үшін жоғары	Дәстүрлі нарықтар	Жаңа нарықтық ойықтар мен мүмкіндіктерді ашады.

Қарсылық пен төзімділікті талдау. Талшықтардың беріктігі мен беріктігіне қосымша сынақтар мынаны көрсетті:

1. Термиялық тұрақтылық: талшықтар ыдыраусыз 250°C дейін жоғары температураға төтеп бере алады, бұл жоғары ыстыққа төзімділікті қажет ететін қолданбалар үшін маңызды.
2. Механикалық беріктік: Беріктік пен серпімділік зерттеулері талшықтардың механикалық жүктемесі жоғары екенін растады, бұл оларды құрылыс материалдары мен тоқыма бұйымдарында қолдануға жарамды етеді.

Ғылыми қауымдастыққа және өнеркәсіптік қолданбаларға қосқан үлестері. Зерттеу нәтижелері талшықты өндіру технологияларын одан әрі дамыту үшін, сондай-ақ бірегей қасиеттері бар жаңа өнімдерді жасау үшін пайдаланылуы мүмкін маңызды ғылыми деректер берді:

1. Жарияланымдар мен патенттер: Зерттеу нәтижелері ғылыми журналдарда жарияланды және технологияның білімі мен коммерциялық қолданылуына ықпал ететін патент ретінде шығарылды.
2. Коммерциялық әлеует: Бірегей сипаттамалары бар талшықтар биомедицина, фильтрация және қорғаныс киімдері сияқты ерекше қасиеттері бар материалдарды қажет ететін салаларда жаңа коммерциялық мүмкіндіктер ашады.

Қорытындылай келе, жетістіктер мен зерттеу нәтижелерін талдау ғылыми прогреске ықпал ететін және жаңа өнеркәсіптік қосымшаларды ашатын инновациялық талшықты материалдарды жасауда электроспиннинг әдісінің маңыздылығы мен тиімділігін көрсетеді.

ҚОРЫТЫНДЫ

Бұл дипломдық жұмыста электроспининг әдісі, оның принциптері, қолданылуы және алынған талшықты материалдардың сипаттамалары бойынша зерттеулер жүргізілді. Жұмыс осы әдісті жан-жақты талдауды және оның өнеркәсіп пен ғылымның әртүрлі салаларындағы әлеуетін білдіреді.

Зерттеудің негізгі қорытындылары мен нәтижелері:

Теориялық негіздер: Жұмыстың бір бөлігі ретінде оның кезеңдерін, алынған талшықтардың сипаттамаларын және талшық өнімдерін талдау әдістерін қамтитын электроспининг әдісінің негізгі принциптері зерттелді. Процесті жақсырақ түсіну үшін зерттеу тақырыбы бойынша әдебиеттерге шолу жасалды.

Зерттеу әдістемесі: Эксперименттік қондырғының сипаттамасы және электроспининг процесін жүргізу әдістемесі, үлгіні дайындаудың егжей-тегжейлері, процесс параметрлері және эксперименттің негізгі кезеңдері берілген.

Нәтижелер және талдау: Зерттеу барысында әртүрлі электроспининг әдістерін қолдану арқылы талшық үлгілері алынды. Талдау нәтижесінде алынған талшықтардың морфологиясын, құрылымын, химиялық құрамын және қасиеттерін бағалау кірді. Талшықты материалдарға арналған перспективалы қосымшалар әртүрлі салаларда, соның ішінде медицина, электроника, тоқыма және энергетикада ашылды.

Перспективалар және одан әрі зерттеулер: Электроспининг саласындағы зерттеулерді одан әрі дамыту талшық түзілу процесін тереңдетіп зерттеуді, процесс параметрлерін оңтайландыруды және алынған материалдарды қолданудың әлеуетті салаларын одан әрі зерттеуді қамтиды.

Жалпы алғанда, зерттеу нәтижелері бірегей қасиеттері бар талшықты материалдарды алу үшін электроспининг әдісінің тиімділігі мен болашағын растайды. Бұл әдісті одан әрі дамыту ғылым мен өндірістің әртүрлі салаларында қолданылатын жаңа инновациялық материалдар мен технологияларды жасауға әкелуі мүмкін.

Бұл жұмыс талшықты материалдар және оларды дайындау әдістері саласындағы зерттеулерді дамытуға ықпал етеді, сонымен қатар осы саладағы зерттеулер мен әзірлемелер үшін негіз болады.

БЕЛГІЛЕУЛЕР МЕН ҚЫСҚАРТУЛАР

- ЭМ** - Электронды микроскоп
ПВА - Поливинил спирті
АЦ - Ацетат цинк
кВ - Киловольт
°С - Градус Цельсия
мл - Миллилитр
г - Грамм
мкм - Микромметр
ОМ - Оптикалық микроскоп
СVD - Парлық фазадан химиялық түсіру
НТ-МДТ - Нанотехнологиялық микроскоп
СП - Спектралдық бақылау
ВОЛ - Жүн
ПР - Процесс
МДМ - Магниттік көлем микроскопы
ЕСМ - Экстрацеллюлярлық матрица
РОМ - Полиоксиметилен
РАN - Полиакрилонитрил
DMSO - Диметил сульфоксид
СЭМ SEM - Сканерлеуші электронды микроскоп(Scanning electron microscope)

ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. Cherry, R.H. History of Sericulture. *Bull. Entomol. Soc. Am.* **1987**, *33*, 83–85.
2. Vollrath, F.; Knight, D.P. Liquid Crystalline Spinning of Spider Silk. *Nature* **2001**, *410*, 541–548.
3. Luo, C.J.; Stoyanov, S.D.; Stride, E.; Pelan, E.; Edirisinghe, M. Electrospinning versus Fibre Production Methods: From Specifics to Technological Convergence. *Chem. Soc. Rev.* **2012**, *41*, 4708.
4. Sirelkhatim, N.; LaJeunesse, D.; Kelkar, A.D.; Zhang, L. Antifungal Activity of Amidoxime Surface Functionalized Electrospun Polyacrylonitrile Nanofibers. *Mater. Lett.* **2015**, *141*, 217–220.
5. Sabantina L. et al. Comparative study of *Pleurotus ostreatus* mushroom grown on modified PAN nanofiber mats //Nanomaterials. – 2019. – Vol. 9. – №. 3. – Page. 475.
6. Hameed N. et al. Structural transformation of polyacrylonitrile fibers during stabilization and low temperature carbonization //Polymer Degradation and Stability. – 2016. – Vol. 128. – Page. 39-45.
7. Park D. U. et al. Spectroscopic analyses on chain structure and thermal stabilization behavior of acrylonitrile/methyl acrylate/itaconic acid-based copolymers synthesized by aqueous suspension polymerization //Fibers and Polymers. – 2018. – Vol. 19. – Page. 2007-2015.
8. Gao H. et al. A low filtration resistance three-dimensional composite membrane fabricated via free surface electrospinning for effective PM 2.5 capture //Environmental Science: Nano. – 2017. – Vol. 4. – №. 4. – Page. 864-875.
9. Xue J. et al. Electrospinning and electrospun nanofibers: Methods, materials, and applications //Chemical reviews. – 2019. – Vol. 119. – №. 8. – Page. 5298-5415.
10. Haider A., Haider S., Kang I. K. A comprehensive review summarizing the effect of electrospinning parameters and potential applications of nanofibers in biomedical and biotechnology //Arabian Journal of Chemistry. – 2018. – Vol. 11. – №. 8. – Page. 1165-1188.
11. SalehHudin H. S. et al. Multiple-jet electrospinning methods for nanofiber processing: A review //Materials and Manufacturing Processes. – 2018. – Vol. 33. – №. 5. – Page. 479-498.
12. Sirelkhatim N. et al. Antifungal activity of amidoxime surface functionalized electrospun polyacrylonitrile nanofibers //Materials Letters. – 2015. – Vol. 141. – Page. 217-220.

13. Xiao S. et al. Fabrication of water-stable electrospun polyacrylic acid-based nanofibrous mats for removal of copper (II) ions in aqueous solution //Journal of applied polymer science. – 2010. – Vol. 116. – №. 4. – Page. 2409-2417.
14. Son W. K. et al. The effects of solution properties and polyelectrolyte on electrospinning of ultrafine poly (ethylene oxide) fibers //polymer. – 2004. – Vol. 45. – №. 9. – Page. 2959-2966.
15. Tomaszewski W., Szadkowski M. Investigation of electrospinning with the use of a multi-jet electrospinning head //Fibres and Textiles in Eastern Europe. – 2005. – T. 13. – №. 4. – C. 22.
16. Yang Y. et al. Electrospun uniform fibres with a special regular hexagon distributed multi-needles system //Journal of Physics: Conference Series. – IOP Publishing, 2008. – T. 142. – №. 1. – C. 012027.
17. Kapałczyńska M. et al. 2D and 3D cell cultures—a comparison of different types of cancer cell cultures //Archives of Medical Science. – 2018. – T. 14. – №. 4. – C. 910-919.
18. Sośniak J., Opiela J. 3D Cell Culture Technology—A New Insight Into Research—A Review //Annals of Animal Science. – 2021. – T. 21. – №. 4. – C. 1257-1273.
19. Saleh A. et al. A novel 3D nanofibre scaffold conserves the plasticity of glioblastoma stem cell invasion by regulating galectin-3 and integrin- β 1 expression //Scientific reports. – 2019. – T. 9. – №. 1. – C. 14612.
20. Suh T. C., Amanah A. Y., Gluck J. M. Electrospun scaffolds and induced pluripotent stem cell-derived cardiomyocytes for cardiac tissue engineering applications //Bioengineering. – 2020. – T. 7. – №. 3. – C. 105.
21. Nikolova M. P., Chavali M. S. Recent advances in biomaterials for 3D scaffolds: A review //Bioactive materials. – 2019. – T. 4. – C. 271-292.
22. Kasper C., Egger D., Lavrentieva A. (ed.). Basic Concepts on 3D Cell Culture. – Cham, Switzerland : Springer International Publishing, 2021.
23. Nemati S. et al. Current progress in application of polymeric nanofibers to tissue engineering //Nano convergence. – 2019. – T. 6. – №. 1. – C. 36.
24. Cavo M. et al. Electrospun nanofibers in cancer research: from engineering of in vitro 3D cancer models to therapy //Biomaterials Science. – 2020. – T. 8. – №. 18. – C. 4887-4905.
25. Marhuenda E. et al. Glioma stem cells invasive phenotype at optimal stiffness is driven by MGAT5 dependent mechanosensing //Journal of experimental & clinical cancer research. – 2021. – T. 40. – №. 1. – C. 139.
26. Grothe T. et al. Impact of solid content in the electrospinning solution on the physical and chemical properties of polyacrylonitrile (PAN) nanofibrous mats //Tekstilec. – 2020. – T. 63. – №. 3.

27. Gu S. Y., Ren J., Vancso G. J. Process optimization and empirical modeling for electrospun polyacrylonitrile (PAN) nanofiber precursor of carbon nanofibers //European polymer journal. – 2005. – T. 41. – №. 11. – C. 2559-2568.
28. Terrell J. A. et al. From cells-on-a-chip to organs-on-a-chip: scaffolding materials for 3D cell culture in microfluidics //Journal of Materials Chemistry B. – 2020. – T. 8. – №. 31. – C. 6667-6685.
29. Guida P. et al. Integrating Microstructured Electrospun Scaffolds in an Open Microfluidic System for in Vitro Studies of Human Patient-Derived Primary Cells //ACS Biomaterials Science & Engineering. – 2020. – T. 6. – №. 6. – C. 3649-3663.
30. Fromager B. et al. Recent Advances in Electrospun Fibers for Biological Applications //Macromol. – 2023. – T. 3. – №. 3. – C. 569-613.