

Л.К. Тастанова¹, А.З. Бекешев¹, А.С. Мостовой², Р.О. Орынбасар^{1*}

¹Қ. Жұбанов атындағы Ақтөбе өңірлік университеті,

030000, Қазақстан республикасы, Ақтөбе қ., Молдагулова көшесі, 34

²Ю. Гагарин атындағы Саратов мемлекеттік техникалық университеті,

410054, Ресей, Саратов қ., Политехническая көшесі, 77.

*e-mail: raihan_06_79@mail.ru

НАНОТОЛТЫРҒЫШТАРДЫ ФУНКЦИОНАЛДАУДЫҢ ЭПОКСИДТІ КОМПОЗИТТЕРДІҢ ҚАСИЕТТЕРІНЕ ӘСЕРІН ЗЕРТТЕУ

Аңдатпа: Зерттеудің мақсаты – эпоксидті полимерлі композиттердің құрылымы мен физикалық-химиялық қасиеттеріне нанотолтырғыштардың (алюминий нитриды мен наноалмаздар) әсерін зерттеу. Сонымен қатар аталған нанобөлшектердің амин сірке қышқылымен беттік функционалдау әсері де зерттелді. Зерттеу барысында полимерлі матрицада наноалмаз (НА) бен алюминий нитриді (AlN) бөлшектерінің біркелкі таралуын қамтамасыз ету үшін амин сірке қышқылының оңтайлы концентрациялары сәйкесінше 5% және 7,5% екендігі анықталды. Бұл концентрациялар композиттердің механикалық қасиеттерінде арттыруға септігін тигізеді. Функционалданған нанобөлшектермен толтырылған эпоксидті композиттердің иілу беріктігінің, серпімділік модулінің, созылу беріктігінің, созылуға төзімділігінің және эпоксидті композиттердің ыстыққа төзімділігінің жоғарылауы байқалады. Ең жоғары механикалық және термиялық көрсеткіштер композиттерге 0,1% наноалмаз және 0,05% AlN енгізгенде алынды: механикалық қасиеттердің өсуі 6-50% құрады, ыстыққа төзімділік 100-110°C-тан 132-168°C-қа дейін артты. Өңделмеген және функционалданған нанобөлшектер композиттердің салмақ жоғалтуын азайту және оттегі индексін жоғарылату арқылы олардың отқа төзімділігін арттырды. Жалпы алғанда, бұл нанокомпозиттік материалдар ерекше механикалық, термиялық және отқа төзімді қасиеттерге ие, сондықтан олар қазіргі заманғы беріктік пен отқа төзімділігі жоғары бұйымдар алу үшін жарамды.

Түйін сөздер: композит, эпоксидті олигомер, функционалдау, нанотолтырғыш, амин сірке қышқылы, модификация.

Кіріспе

Қазіргі уақытта полимерлі композиттер ерекше қасиеттерді, фтфп айтқанда жоғары беріктік пен деформацияға сипаттамаларын көрсете отырып, сонымен қатар меншікті салмақтары төмен болғандықтан, әртүрлі салаларда барған сайын көп қолданылуда. Өнеркәсіптік байланыстырғыштардың арасында әртүрлі эпоксидті олигомерлер ең көп таралған. Эпоксидті шайырлар мен олардың негізінде алынатын композиттер қазіргі уақытта қарқынды даму кезеңін бастан кешуде. Өңделген эпоксидті шайырлардың металдарға, толтырғыштарға, шыныға, құрылыстық және басқа материалдарға тамаша адгезиясы олардың қолданылуының кең ауқымын анықтады. Мұндай жақсы адгезияның, жоғары физикалық, механикалық және электрлік қасиеттерінің, сондай-ақ коррозияға қарсы тұрақтылығы мен су және химиялық реагенттердің әсеріне төзімділігінің сәтті үйлесуі қазіргі уақытта эпоксидті шайырлардың белсенді дамуына және өндірісі мен тұтынылуының артуына әкелді [1, 2].

Әртүрлі артықшылықтарына қарамастан, эпоксидті шайырдан алынған материалдардың ең маңызды кемшілігі олардың сынғыштығы болып табылады. Бұл мәселені шешу үшін оларды әртүрлі әдістерді қолдана отырып жүйелі түрде модификациялау қажет.

Эпоксидті полимерлердің артықшылықтарының бірі химиялық құрылымында реактивті гидроксил және эпоксидті топтардың болуына байланысты олардың кең модификациялық потенциалы болып табылады [3-5]. Эпоксидті композиттердің құрылымын пластификаторларды, беттік-белсенді заттарды, толтырғыштарды және басқа модификаторларды қосу арқылы реттеу, олардың пайдалану сипаттамаларын жақсартады. Бұл қажетті қасиеттер жиынтығы бар материалдарды өндіруге әкеледі, яғни оларды ұқсас материалдардың басқа түрлерінің ішінде ең маңызды етеді [6-10].

Эпоксидті олигомерлерге әртүрлі нанотолтырғыштарды еңгізу арнайы және жоғары қасиеттері бар полимерлі композиттерді алуға мүмкіндік береді. Бұл жетістіктер заманауи өнеркәсіптік талаптарға сәйкес келетін және талаптардан да жоғары қасиеттері бар материалдарды жасауға мүмкіндік береді. Осы саладағы үздіксіз зерттеулер мен зерттеу нәтижелері әртүрлі күрделі жағдайларда полимерлі композиттердің пайдалылығын кеңейту арқылы жаңа мүмкіндіктер ашуға және инновацияларды ынталандыруға ықпал етеді.

Алайда, полимерлі нанокомпозиттердің қасиеттерін едәуір жақсартуға негізгі кедергі полимер матрицасындағы нанобөлшектердің толық таралуын қамтамасыз етуінің қиындығы болып табылады. Бұл мәселе фазалар шекарасында нанобөлшектердің біркелкі таралуын қиындататын үлкен фазааралық аймақтың пайда болуына байланысты туындайды. Матрица ішіндегі нанобөлшектердің агрегациясы композиттік материалдың қасиеттерінің біркелкі емес болуына және сипаттамаларының төмендеуіне әкелуі мүмкін. Сондықтан нанобөлшектердің біртекті таралуына қол жеткізу нанокомпозиттік материалдардың толық мүмкіндігін жүзеге асыру үшін өте маңызды.

Агрегат түзуге бейімділікті төмендету және наноматериалдардың адгезиялануға қабілетін арттыру үшін оларды функционалдау [11, 12] және композиттерді модификациялаудың тиімді әдістерін қолдану қажет, мысалы, плазмалық өңдеу [13, 14], микротолқынды модификациялау [15, 16], магниттік және электр өрістерінің әсері [17, 18] және т.б. Беттік функционалдау әдісі ең кең таралған болып табылады, өйткені ол бөлшектердің орташа үлкендіктерін азайтуға, фаза аралық химиялық әрекеттесулерді орнатуға мүмкіндік береді, бұл олардың негізінде алынған композиттердің деформациялық және беріктік сипаттамаларын жақсартады [11, 12, 19]. Сонымен қатар, байланыстырушы агенттер мен беттік белсенді заттарды қолдану нанобөлшектердің агрегациясының алдын алу және олардың полимер матрицасымен жақсы байланысуына ықпал ету арқылы нанобөлшектердің біркелкі таралуын одан әрі күшейтеді. Полимер матрицасында нанотолтырғыштардың тиімді таралуын ұйымдастыру нәтижесінде толтырғыштардың концентрациясы төмен (1%-дан аз) болған жағдайда да полимер байланыстырғыштың едәуір бөлігінің шекаралық қабатқа өтуін қамтамасыз етуге мүмкіндік береді.

Мысалы, эпоксидті матрицаға аммиак суымен функционалданған графен оксидінің тек 1% қосу композиттің созылу және иілу беріктіктерінің екі есе артуына әкеледі. Сонымен қатар, композиттің созылу модулі толтырылмаған эпоксидті полимермен салыстырғанда 1,5 есе артады, бұл нанотолтырғыштардың механикалық өнімділікке терең әсерін көрсетеді [20]. Бұл мысал жақсы дисперсияланған нанобөлшектердің аз мөлшерінің өзі материалдың механикалық қасиеттерінің айтарлықтай жақсаруына әкелетінін көрсетеді.

Зерттеу авторлары [21] эпоксидті матрицаның беріктігіне SiO_2 мен бор нитридінің (BN) әсерін қарастырған. 2% дейін нанотолтырғыштар қосқанда, бор нитридімен толтырылған жүйе ең жақсы механикалық қасиеттерді көрсетті. SiO_2 бөлшектері өздігінен майлану құбылысына және бөлшектер арасындағы ван-дер-Ваальс күштерінің төмендеу болуына байланысты агрегацияға азырақ бейім, бұл толтырғыштың мөлшері жоғарылаған кезде де жоғары беріктік мәндеріне қол жеткізуге мүмкіндік береді. Серпімділік модулі толтырғыш мөлшерінің ұлғаюымен артады.

Ли Санчестің тобы [22] электрондық құрылғыларға арналған қорғаныш эпоксидті жабынды алу үшін алюминий нитридінен (AlN) және BN-ден тұратын гибридті толтырғышты қолданған. 75% гибридті толықтырғыш қосу нәтижесінде композиттің термиялық ұлғаю коэффициенті төмен болып, жылу өткізгіштігі 10,18 Вт/(м·К) жетті, бұл бастапқы матрицаның жылуөткізгіштігінен 46 есе жоғары.

Наноалмаздардың (НА) ерекше қасиеттеріне, әсіресе жоғары беріктігіне, жылу өткізгіштігіне, оңтайлы оптикалық қасиеттеріне және биоүйлесімділігіне байланысты композициялық материалдардағы матрицаны модификациялайтын компонент ретінде

айтарлықтай назар аударды. Сонымен қатар, НА құнының салыстырмалы төмендігі және үлкен көлемде қол жетімділігі полимерлі матрицалардың, әсіресе эпоксидті шайырлардың қасиеттерін арттыруға қызығушылық тудырды [23]. Осы қасиеттердің бірегей үйлесімі наноалмаздарды жаңа композициялық материалдарды дайындауда, әсіресе жоғары термиялық тұрақтылықты, механикалық беріктікті және биологиялық жүйелермен үйлесімділікті қажет ететін қолданбаларда әмбебап және құнды қоспаға айналдырады.

Нейтцель және т.б. [24] эпоксидті матрицаға 25 көп. % - ға дейін наноалмаздарды (НА) қосу перспективаларын зерттеді. Олар 25 % НА енгізу арқылы эпоксидті композиттердің бастапқы матрицамен салыстырғанда серпімділік модулі мен қаттылығы сәйкесінше 470% және 300% артатынын анықтады. Үйкеліс коэффициентінің 40%-ға төмендеуі және жылу өткізгіштіктің жоғарылауы байқалды. Жылу өткізгіштіктің жоғарылауы полимер матрицасында дамыған құрылымдық желінің пайда болуымен және НА бөлшектердің полимермен байланыс орнатумен анықталады.

Ким және т.б. жүргізген зерттеуде [25], НА тетраэтиленпентаминмен функционалдандырылды, бұл композиттік материалдың жылу өткізгіштігінің және сынуға төзімділігінің айтарлықтай жақсаруына әкелді. Атап айтқанда, жылу өткізгіштік 34%-ға өсті, ал сынуға төзімділік 121%-ға жоғарылады. Композиттің қасиеттерінің соншама артуы наноқұрылымдардың агрегациясын болдырмау арқылы эпоксидті матрицада НА таралуын жақсартуға байланысты болды. Функционалдау процесі матрица ішінде жылу өткізгіш үш өлшемді желінің пайда болуын жеңілдетіп, жылуды тиімдірек таратуға және композиттің жалпы механикалық сипаттамаларын жақсартуға мүмкіндік берді. Бұл өзара байланысқан құрылымды құру жылу қасиеттерін жақсартып қана қоймай, сонымен қатар материалдың жарықтың таралуына қарсы тұру қабілетіне ықпал етті, яғни оның беріктігін жақсартты.

Наноалмаздар көмегімен композициялық материалдардың қасиеттерін жақсартудың тағы бір тәсілі зерттелді [26], мұнда наноалмаздардың бетін функционалдау үшін күкірт және азот қышқылдарының ерітіндісі қолданылған. Мұндай қышқылмен өңдеу НА агрегаттарының орташа мөлшерін 300 нм-ден 100 нм-ге дейін, ал бөлшектердің жеке өлшемдерін 6 нм-ден 4 нм-ге дейін азайтты. Функционалдау процесі сонымен қатар бөлшек бетінен sp^2 -көміртекті алып тастауды қамтыды, нәтижесінде карбоксил және гидроксил топтары пайда болды. Толықтырғыш осы функционалды топтар арқылы эпоксидті матрицамен байланысады, яғни НА пен полимер арасындағы фазааралық байланыстың жақсаруына алып келеді. Нәтижесінде НА концентрациясы небәрі 1% болған жағдайда композиттік материалдың созылу беріктігі 1,5% есе өсті. Созылу беріктігінің айтарлықтай артуы толтырғыштың төмен концентрациясында да оны беттік-функционалдау полимерлі матрицаларды тиімді күшейту үшін маңызды болатындығын көрсетеді, нәтижесінде материалдың аз салмағы сақталып отырып, сонымен бірге механикалық қасиеттері айтарлықтай артады.

Ван және т.б. [27] аммоний полифосфаты (АПФ) бар эпоксидті композиттің отқа төзімділігі мен беріктігіне сатылы функционалданған наноалмаздардың әсерін зерттеді. Олар НА қасиеттерін жақсарту мақсатында фосфорды (P), мысты (Cu) және (2,2,6,6-тетраметилпиперидин-1-ил) оксиді (ТЕМПО) қолданды. Құрамында 8% АПФ бар эпоксидті полимердің бастапқы шектеулі оттегі индексінің (LOI) мәні 24,3% болды, яғни бұл материал UL-94 V1 өрт қауіпсіздігі сынағынан өте алмады. Дегенмен, модификацияланған НА қосу композиттің отқа төзімділігін айтарлықтай жақсартады. НА-дың жоғары жылу өткізгіштігі композиттің бетінен жылуды жақсырақ таратуға ықпал етті, тұтану қаупін азайтты және жалынның таралуын бәсеңдетті. Сонымен қатар, наноматериалдардың белгілі тосқауыл әсері, бетінде кокс қабатының пайда болуымен бірге ұшпа жанғыш заттардың бөлінуін барынша азайтып, материалдың отқа төзімділігін одан әрі арттырды. Нәтижесінде LOI мәні 28,1%-ға дейін өсті, бұл UL-94 V0 өрт қауіпсіздігі классификациясына сәйкес келеді, бұл отқа төзімділік бойынша ең жоғары деңгей болып табылады. Осы зерттеу нәтижелері өртке бейім ортада композиттік материалдардың қауіпсіздігі мен беріктігін арттыру үшін функционалданған НА пайдаланудың тиімділігін көрсетеді.

Аталған зерттеулерде көрсетілген жақсы нәтижелерге қарамастан, бірнеше шектеулер де бар. Негізгі кемшіліктердің бірі – қасиеттердің артуына қол жеткізу үшін қажетті нанотолтырғыштардың салыстырмалы түрде жоғары мөлшері, концентрациясы 1%-дан 20%-ға дейін болуы керек. Толтырғыштың жоғары мөлшері шығындардың артуына, өңдеуді қиындатуға және икемділік немесе өңдеуге бейімділік сияқты материалдың басқа

қасиеттерінің төмендеуіне әкелуі мүмкін. Сонымен қатар, шығындарға сезімтал салаларда немесе мұндай материалдарға қол жетімділігі шектеулі аймақтарда шетелде өндірілетін қымбат нанотолтырғыштарды пайдалану бұл технологияларды кеңінен қолдануды шектеуі мүмкін. Бұл мәселелер НА және басқа нанотолтырғыштарды композиттік материалдарда пайдалануды оңтайландыруды көздейтін қосымша зерттеулер жүргізу қажеттілігін көрсетеді, толтырғыштардың төмен концентрациясы және жергілікті көздерден алынған арзан материалдарды қолдану арқылы композиттердің негізгі қасиеттерін жақсартуға қол жеткізуге бағытталған.

Осы жұмыстың зерттеу бағыттарының бірі амин сірке қышқылымен химиялық модификацияланған нанотолтырғыштардың аз мөлшерін енгізу арқылы эпоксидті шайыр негізіндегі полимерлі матрицаның айтарлықтай нығаюына қол жеткізуді қамтамасыз ету. Амин сірке қышқылын функционалдаушы агент ретінде пайдалану бірнеше артықшылықтарды ұсынады, соның ішінде нанотолтырғыштар мен эпоксидті матрица арасындағы үйлесімділікті, дисперсияны және алынатын композиттердің қасиеттерін жақсарту мүмкіндігі. Нанотолтырғыштардың нақты модификациясын қамтамасыз етіп және олардың полимер матрицасымен өзара әрекеттесуін түсіне отырып, бұл зерттеу алдыңғы зерттеулердің шектеулерін ескеріп, жоғары өнімділікті үнемділікпен және өңдеудің қарапайымдылығымен үйлестіретін композициялық материалдарды әзірлеуге бағытталған. Ұсынылып отырған тәсіл берік, қауіпсіз, экологиялық таза озық материалдарды жасауға мүмкіндік береді.

Материалдар мен зерттеу әдістері.

ЭД-20 эпоксидті шайыры Chimex Limited (Санкт-Петербург, Ресей) компаниясынан алынды. Амин түріндегі қатайтқышты да – полиэтилен полиамин (ПЭПА) Chimex Limited компаниясы шығарған.

Пластификатор ретінде тазалығы 95-99% трихлоропропилфосфат (ТХПФ) таңдалды. Бұл қосылыс Xuancheng City Trooyawn Refined Chemical Industry Co., Ltd (Қытай) Компаниясынан алынған. Трихлоропропилфосфат (ТХПФ) тек пластификаторлар ғана емес, сонымен бірге полимерлі материалдардың, әсіресе эпоксидті шайырлардың отқа төзімді қасиеттерін арттыруға ықпал ететін қоспа ретінде де шешуші рөл атқарады.

Полимер матрицасы ретінде ЭД-20 (салмағы бойынша 100 бөлік), полиэтилен полиамин (салмағы бойынша 15 бөлік) және ТХПФ тен (салмағы бойынша 40 бөлік) тұратын бұрын әзірленген композиция пайдаланылды [28].

Наноалмаздар (НА) және алюминий нитриді (AlN) эпоксидті композиттердің қасиеттерін одан әрі жақсарту үшін құрылымдық қоспалар ретінде енгізілді. Бұл нанотолтырғыштар құрылымды өзгертетін бірегей әсерлерін пайдалану үшін салмағы бойынша 1%-ға дейін аз мөлшерде қосылды.

Толтырғыш нанобөлшектерінің беті амин сірке қышқылының («Витареактив» ЖШҚ, Дзержинск, Ресей) көмегімен функционалдандырылды. Тиісті толтырғыштың 0,25 г ультрадыбыстық гомогенизатордың көмегімен 15 минут ішінде 50 мл H₂O-амин сірке қышқылының ерітіндісінде таратылды; амин сірке қышқылының концентрациясы 2,5%, 5,0%, 7,5% және 10,0% құрады. Содан кейін суспензия 12 сағат бойы 80°C температурада тұрақты төмен жылдамдықпен (100 айн/мин) араластырылды. Нанотолтырғыш бөлшектерінің айналасындағы артық амин сірке қышқылын бөлу үшін суспензия центрифугаланып, тазартылған сумен екі рет жуылды. Содан кейін алынған өнім 5 сағат бойы 80°C температурада кептірілді.

Толтырғыштардың таңдалған мөлшері эпоксидті шайырда 22±2 кгц жиілікте және қуаты 400 Вт ультрадыбыс көмегімен 60 минут бойы біркелкі таратылды. Содан соң алынған композицияны қатайту үшін салмағы бойынша 15 бөлік ПЭПА қосылды. Қоспа қатаю алдында 25±5°C температурада 30 минут бойы вакуумда газсыздандырылды. Барлық үлгілер 24±1 сағ бойы 25±2°C температурада қатайтылды, содан кейін 90±5°C және 120±5°C температурада 2 сағ бойы термиялық өңделді.

НА және AlN бөлшектерінің морфологиясы Tescan Vega 3 SBH сканерлеуші электронды микроскопының (Брно, Чехия) көмегімен зерттелді. Бөлшектердің өлшемдерінің таралуы Zetasizer Nano S (Малверн, Вустершир, Ұлы Британия) аспабында лазерлік дифракция әдісімен анықталды.

Time Group Inc компаниясы шығарған WDW-5е сынақ машинасы (Пекин, Қытай) созылу және иілу күштерін анықтау үшін пайдаланылды. Үлгілер сәйкесінше созылу және иілу күштерін анықтау үшін 5 және 50 мм/мин жылдамдығымен сыналды. Иілудің беріктігі мен иілу модулін анықтау үшін қалыңдығы 4 мм, ені 10 мм және ұзындығы 80 мм блоктар түріндегі үлгілерде сынақтар жүргізілді. Созылу беріктігі мен созылу модулін анықтау үшін қалыңдығы 4 мм, ені 10 мм және жұмыс бөлігінің ұзындығы 50 мм шпатель түріндегі үлгілерде сынақтар жүргізілді. LCT-50D соққы сынағы (Beijing United Test Co., Ltd., Пекин, Қытай) әсердің соққыға қарсы тұрақтығын анықтау үшін пайдаланылды.

Вика бойынша ыстыққа төзімділік B50 әдісі бойынша анықталды - жүктеме 50Н; температураның көтерілу жылдамдығы 50°/сағ. Үлгілерді қыздыру кезінде массаның өзгеруі, массаның өзгеру жылдамдығы және жылу эффектілерінің мәндері термогравиметриялық талдау әдісін қолдана отырып, «Paulik-Paulik-Erdey» жүйесінің Q-1500D маркалы дериватографын қолдана отырып зерттелді. Талдау шарттары: үлгілердің салмағы – 100 мг, орта – ауа, қыздыру аралығы – 800°С дейін, қыздыру жылдамдығы – 10°С/мин, салыстырмалы қателік 1%-дан аспайды.

Жылу өткізгіштік пен жылу кедергісін анықтау ITP-MG4 «100» құрылғысында жүргізілді.

Нәтижелер және оларды талқылау

Эпоксидті композиттерді модификациялау үшін қолданылатын екі түрлі наноматериалдардың бөлшектерінің орташа мөлшері сулы ерітіндіде лазерлік дифракция әдісімен анықталды. Зерттеу нәтижелері 1-ші кестеде келтірілген.

Кесте 1 – НА және AlN бөлшектерінің фракциялық құрамы

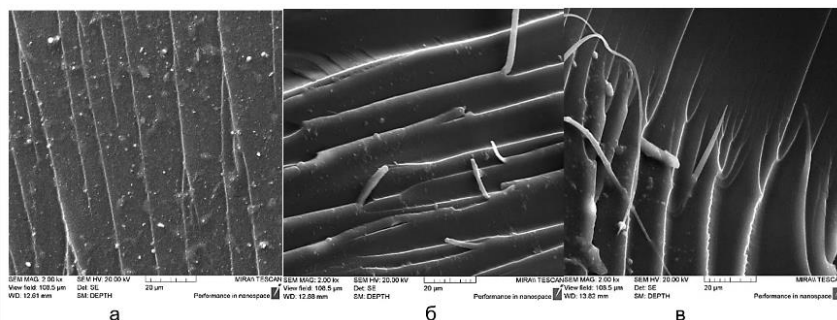
Материал	Бөлшектер өлшемдерінің таралуы	Бөлшектердің басым өлшемі	Бөлшектердің басым өлшемінің пайызы
Наноалмаз	300-500 нм	400 нм	>70%
Алюминий нитриді	400-680 нм	470 нм	>90%

Наноалмаз бөлшектерінің өлшемдері 300-ден 500 нм-ге дейін мономодальды таралған, бөлшектердің 70%-дан астамы 400 нм-ге шоғырланған, ал AlN фракциясы 400-ден 680 нм-ге дейінгі диапазонда таралуды көрсетті, 470 нм өлшемді бөлшектердің айтарлықтай басым болуы байқалды.

Эпоксидті композиттердің құрылымын зерттеу наноалмаздар (НА) және алюминий нитриді (AlN) сияқты нанобөлшектері жоқ бастапқы эпоксидті полимердің сыну беті салыстырмалы түрде тегіс құрылымды анықтады (Сурет 1а), бұл жарылуға төзімділіктің төмендігін көрсетеді. Алайда, жоғарыда аталған нанобөлшектерді эпоксидті матрицаға енгізу оның морфологиясын түбегейлі өзгертеді. НА және AlN қосылуы сыну бетіндегі ақаулардың көбеюіне әкеледі (Сурет 1б, в), полимер матрицасын сындыру үшін қажет жоғары энергияның айқын көрсеткіші. Осы нанобөлшектердің бетіндегі функционалдық топтар сыну бетінде тереңірек және ұзартылған ақауларды тудырады, бұл композиттік жүйенің сыну энергиясының шекті мәнінің айтарлықтай жоғарылауын көрсетеді. Матрица мен функционалданған нанобөлшектер арасындағы фазааралық әрекеттесу нанобөлшектердің жоғары беттік энергиясымен қоса, сыну заңдылықтарын күрт өзгертеді. Әдеттегі морт сынғыштықтан басқа, эпоксидті композиттің сынуы кезінде материал ағынының локализацияланған аймақтарын көрсетеді. Сонымен қатар, пластикалық деформацияның кейбір аймақтарында полимер матрицасының едәуір созылуына байланысты пайда болған айқын талшықты құрылымдар көрінеді. Бұл құбылыс эпоксидті матрица-нанобөлшек фазаларының арасында шекаралық қабаттың пайда болуының нәтижесі болуы мүмкін, мұнда нанобөлшектер жүктемені тиімді көтереді және механикалық кернеу кезінде эпоксидті қабаттарда ығысуды тудырады.

Байқалған пластикалық деформациялар, әсіресе сыну жоталарында, аминсірке қышқылымен өңделген НА және AlN нанобөлшектері қатты фазалы қатайтқыш ретінде жұмыс істей алады деген гипотезаны қолдайды. Нанобөлшектердің беттерін функционалдау композиттік құрылымды нығайта отырып, толтырғышты олигомердің эпоксидті топтарымен тығыз байланыстыруға ықпал етеді.

Осы факторлардың толық әсері эпоксидті композиттік жүйенің беріктігінің жоғарылауы, ең алдымен, микрожарықтардың пайда болуы мен таралуына қажетті энергияның жоғарылауымен байланысты екенін көрсетеді.



Сурет 1 – Эпоксидті композиттік үлгілердің СЭМ бейнелері

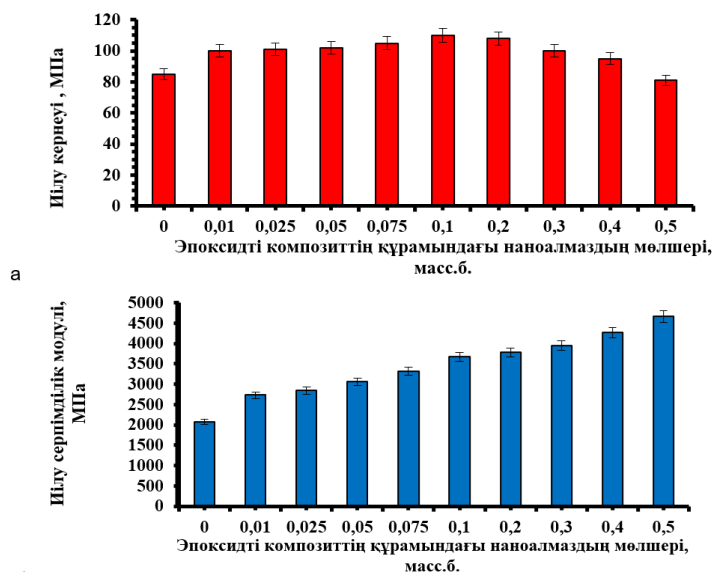
а – толтырғыш нанобөлшектері қосылмаған эпоксидті композиция;

б – амин сірке қышқылымен функционалданған наноалмазбен модификацияланған эпоксидті композит;

в – амин сірке қышқылымен функционалданған алюминий нитридімен модификацияланған эпоксидті композит

Максималды механикалық қасиеттерді қамтамасыз ететін нанотолтырғыштың оңтайлы мөлшері мен қажетті функционалдаушы агенттің (амин сірке қышқылы) оңтайлы концентрациясын анықтау үшін кешенді зерттеу жүргізілді.

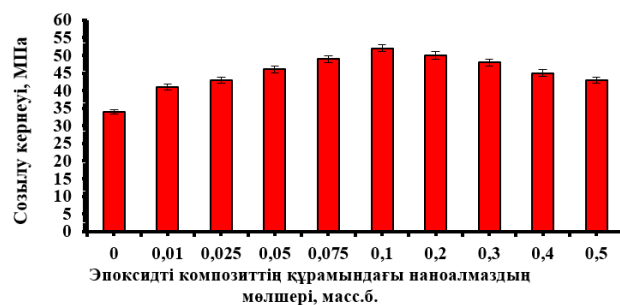
Бірінші кезекте максималды күшейтуді қамтамасыз ету үшін бастапқы нано-дисперсті толтырғыштардың (НА және AlN) оңтайлы концентрациясы анықталды. Наноалмаздар эпоксидті матрицаға келесі мөлшерлерде енгізілді: 0,01; 0,025; 0,05; 0,075; 0,1; 0,2; 0,3; 0,4 және 0,5 массалық бөлік (масс.б.). 2-4 – суреттерде келтірілген қисықтарды талдау НА мөлшерін 0-ден 0,1 масс.б-ке дейін арттыру беріктіктің барлық параметрлерінің жоғарылауын (иілу кернеуі, иілу серпімділік модулі, созылу кернеуі, созылу серпімділік модулі, соққыға қарсы беріктігі) қамтамасыз ететіндігін көрсетті, алайда НА мөлшерін 0,1-ден 0,5 масс.б-ке дейін арттырған кезде, зерттелген параметрлердің шамалы төмендеуі байқалады.



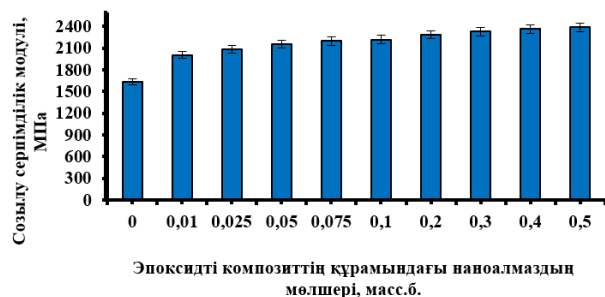
Сурет 2 – Эпоксидті композиттің иілу кернеуінің (а) және иілу серпімділік модулінің (б) НА мөлшеріне тәуелділігі

Алынған нәтижелерге сәйкес, эпоксидті композитті максималды күшейтуді қамтамасыз ететін НА-дың оңтайлы мөлшері 0,1 масс.б-ке тең болды. НА жоқ эпоксидті композициямен салыстырғанда НА-дың аталған мөлшері қосылған композиттің сыну кернеуі 30%-ға және иілу модулі 77%-ға, сыну кернеуі 53%-ға және созылу модулі 36%-ға, соққы беріктігі 55%-ға жоғарылайды (Сурет 2-4).

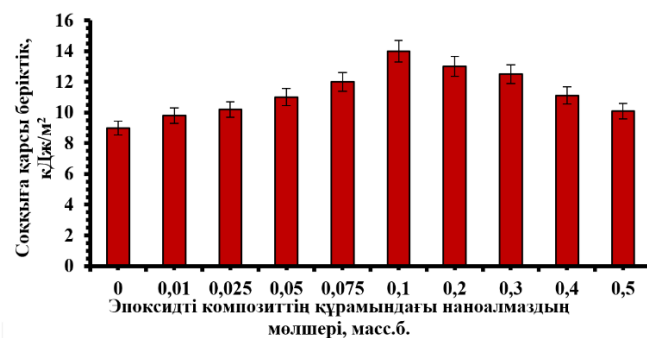
AlN эпоксидті құрамға келесі мөлшерде енгізілді: 0.01; 0.025; 0.05; 0.075; 0.1; 0.2; 0.3; 0.4 және 0.5 масс.б. 5-7 Суреттерде келтірілген қисықтарды талдау нәтижесінде, AlN мөлшері 0-ден 0,05 масс.б-ке дейін артқан кезде барлық беріктік параметрлерінің (иілу беріктігі мен серпімділік модулі, созылу беріктігі мен серпімділік модулі, соққы беріктігі) жоғарылауы қамтамасыз етілетіндігі, бірақ AlN мөлшерін 0,05-тен 5,0 масс.б-ке дейін арттыру кезінде, зерттелген параметрлердің сәл төмендеуі байқалады.



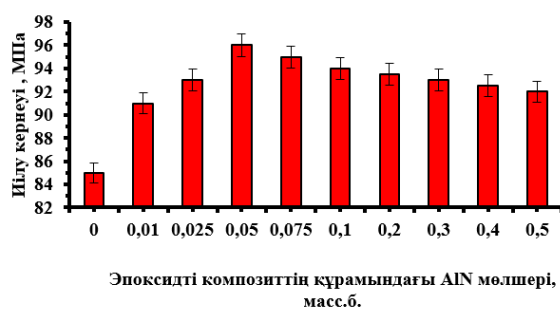
а



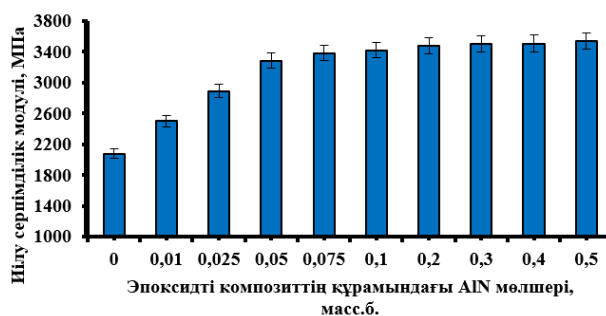
Сурет 3 – Эпоксидті композиттің созылу кернеуінің (а) және созылу серпімділік модулінің (б) құрамындағы НА мөлшеріне тәуелділігі



Сурет 4 – Эпоксидті композиттің соққыға қарсы беріктігінің құрамындағы НА мөлшеріне тәуелділігі



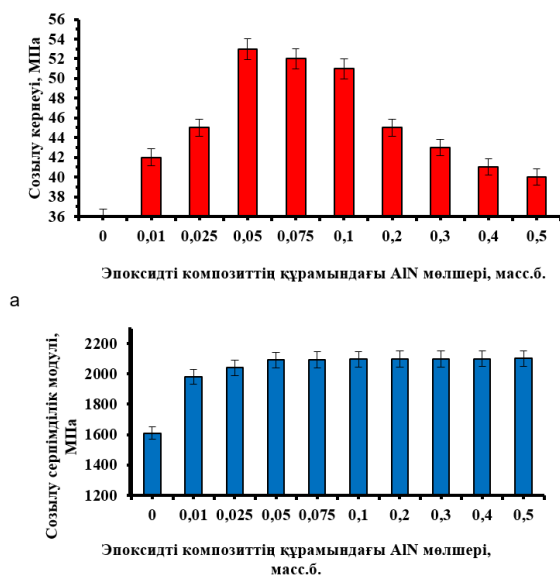
а



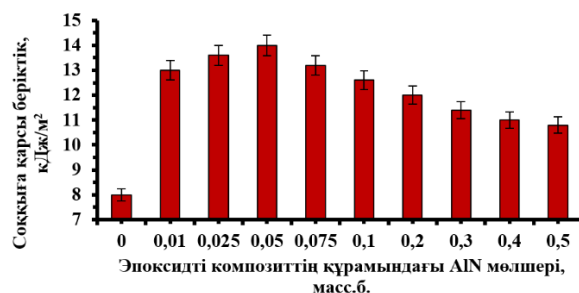
Сурет 5 – Эпоксидті композиттің иілу кернеуінің (1) және иілу серпімділік модулінің (2) композициядағы AlN құрамына тәуелділігі

Алынған нәтижелерге байланысты эпоксидті композитті максималды күшейтуді қамтамасыз ететін AlN оңтайлы мөлшері 0,05 масс.б. екендігі туралы қорытынды жасауға болады. Құрамында AlN жоқ бастапқы эпоксидті композициямен салыстырғанда AlN аталған мөлшері қосылған композиттің сыну кернеуі 13%-ға және иілу модулі 58%-ға, сыну кернеуі 56%-ға және созылу модулі 30%-ға, соққы беріктігі 56%-ға жоғарылайды (сурет 5-7).

Нанотолтырғыштың мөлшері оңтайлы шамадан төмен немесе жоғары болғанда композиттің беріктігінің төмендеуі полимер матрицасы мен нанотолтырғыш бөлшектерінің тиімсіз әрекеттесуінің нәтижесі болып табылады. Толтырудың төмен дәрежелерінде композит көлеміндегі бөлшектер бір-бірінен салыстырмалы түрде алшақ орналасады, сондықтан жарықшақты кешіктіру әсері айтарлықтай төмендейді. Толтырудың жоғары дәрежелерінде бөлшектер тығыз орналасады жарықшақтың алдыңғы жағының жеке бөлшектермен әрекеттесуі тоқтайды.

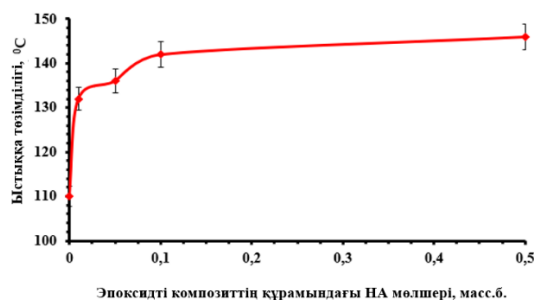


Сурет 6 - Эпоксидті композиттің созылу кернеуінің (а) және созылу серпімділік модулінің (б) құрамындағы AlN мөлшеріне тәуелділігі



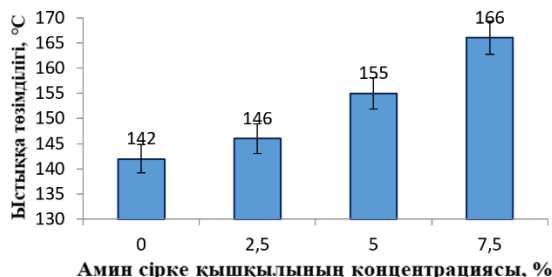
Сурет 7 – Эпоксидті композиттің соққыға қарсы беріктігінің құрамындағы AlN мөлшеріне тәуелділігі

Эпоксидті композитке наноалмаздарды 0,01-ден 0,5 масс.б-ке дейінгі мөлшерде енгізу композиттің ыстыққа төзімділігін сәйкесінше 110°C-тан 132-146°C-қа дейін арттыруды қамтамасыз етеді (сурет 8).



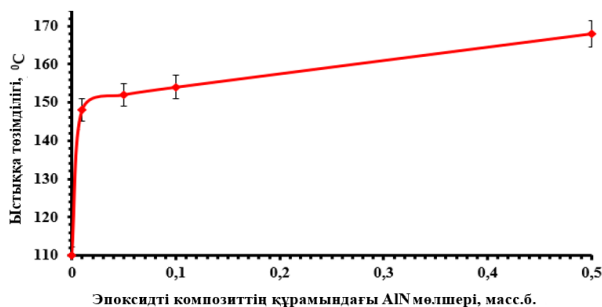
Сурет 8 – Эпоксидті композиттің ыстыққа төзімділігінің НА мөлшеріне тәуелділігі

Сонымен қатар, амин сірке қышқылымен өңделген наноалмаздарды енгізу эпоксидті композиттің ыстыққа төзімділігін арттыруды қамтамасыз етеді. Наноалмаздарды өңдеу үшін қолданылатын аминсірке қышқылының концентрациясы неғұрлым жоғары болса, эпоксидті нанокомпозиттің ыстыққа төзімділігі соғұрлым жоғары болатыны анықталды. Осылайша, аминсірке қышқылының концентрациясын 2,5%-дан 7,5%-ға дейін арттыру құрамына 0,1 масс.б. НА кіретін эпоксидті композиттің ыстыққа төзімділігін 142°C-тан 146-166°C-қа дейін арттыруды қамтамасыз етеді (сурет 9).



Сурет 9 – Құрамында 0,1 масс.б. наноалмаздар бар эпоксидті композиттің ыстыққа төзімділігінің амин сірке қышқылының концентрациясына тәуелділігі

Эпоксидті композитке 0,01-ден 0,5 масс.б-ке дейінгі мөлшерде өңделмеген AlN енгізу композиттің ыстыққа төзімділігін 110°C-тан 148-168°C-қа дейін арттырады (сурет 10).



Сурет 10 – Эпоксидті композиттің ыстыққа төзімділігінің AlN мөлшеріне тәуелділігі

Амин сірке қышқылымен өңделген AlN енгізу эпоксидті композиттің ыстыққа төзімділігін тиімдірек арттыруды қамтамасыз етеді, және де AlN өңдеу үшін қолданылатын амин сірке қышқылының концентрациясы неғұрлым жоғары болса, эпоксидті нанокомпозиттің ыстыққа төзімділігі соғұрлым жоғары болады. Осылайша, амин сірке қышқылының концентрациясын 2,5%-дан 7,5%-ға дейін арттыру құрамында 0,05 масс.б. AlN бар эпоксидті композиттің ыстыққа төзімділігін 152°C-тан 160-182°C-қа дейін арттыруды қамтамасыз етеді (сурет 11).

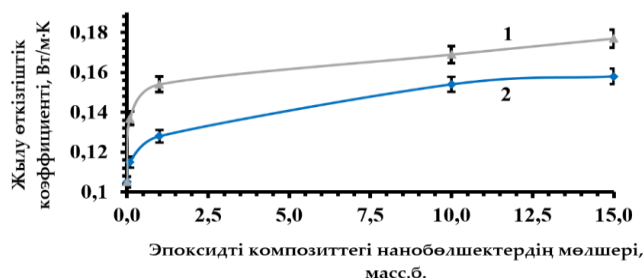


Сурет 11 – Құрамында 0,05 масс.б. AlN бар эпоксидті композиттің ыстыққа төзімділігінің амин сірке қышқылының концентрациясына тәуелділігі

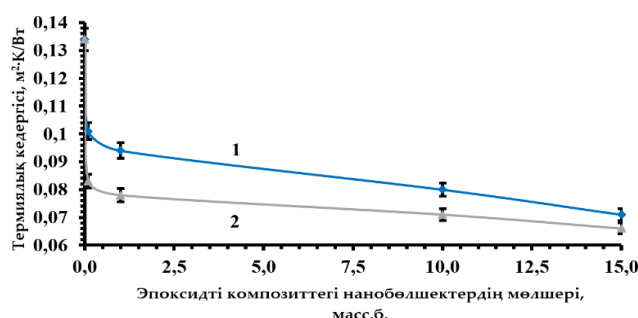
Электрлік және электронды жабдықтарда қолданылатын қосылыстардың жылу өткізгіштігі маңызды сипаттама болып табылады. Көп жағдайда эпоксидті шайырлардың жылу өткізгіштігі салыстырмалы түрде төмен ~0,1 Вт/м·К. Демек, жергілікті қызу кезінде эпоксидті материалдар жылу оқшаулау ретінде жұмыс істейді, бұл жоғары жылу кедергісі бар

компоненттерді пайдалануды немесе жылуды сыртқа шығаратын арнайы жабдықтарды пайдалануды қажет етеді, әйтпесе композиттің қызып кетуі және термиялық ыдырауы мүмкін.

Осыған байланысты эпоксидті композиттерге нанобөлшектердің (НА және АІN) әртүрлі мөлшерін енгізудің эпоксидті нанокомпозиттердің жылу өткізгіштігіне және термиялық кедергісіне әсері зерттелді. Зерттеулер нәтижесінде эпоксидті құрамға наноалмаздарды 0,1-ден 15 масс.б-ке дейінгі мөлшерде енгізу жылу өткізгіштік коэффициентінің 0,105-тен 0,115-0,158 Вт/м·к-ге дейін жоғарылауын қамтамасыз ететендігі анықталды, бұл бастапқы эпоксидті композицияға қарағанда 10-50% жоғары (сурет 12, қисық 1). Термиялық кедергісінің 0,134-тен 0,071-0,101 м²·К/Вт-қа дейін төмендеуі байқалды (сурет 13, қисық 1).



Сурет 12 – Эпоксидті композиттің жылу өткізгіштік коэффициентінің нанобөлшектердің мөлшерлеріне тәуелділігі: 1-НА; 2-АІN



Сурет 13 – Эпоксидті композиттің термиялық кедергісінің нанобөлшектердің мөлшерлеріне тәуелділігі: 1-НА; 2-АІN

Эпоксидті композитке 0,1-ден 15 масс.б-ке дейінгі мөлшерде АІN енгізу жылу өткізгіштік коэффициентінің 0,105-тен 0,137-0,177 Вт/м·к-ге дейін жоғарылауын қамтамасыз етеді, бұл бастапқы эпоксидті композицияға қарағанда 30-69% жоғары (сурет 12, қисық 2), ал термиялық кедергісі 0,134-тен 0,066-0,083 м²·К/Вт-қа дейін төмендейді (сурет 13, қисық 2).

Эпоксидті композитке бастапқы және функционалданған нанобөлшектерді (НА және АІN) енгізу композиттің отқа төзімділігінің жоғарылауын қамтамасыз етеді, бұл ауада тұтанған кезде массаның жоғалуының 2,3-тен 1,9-2,1%-ға дейін төмендеуімен және композиттің жанғыштық индексінің (оттегі индексі) 31-ден 31,5-34 %-ға дейін жоғарылауымен дәлелденеді. Нанобөлшектермен модификацияланған композиттер ауадағы жануды қолдамайды және жанбайтын материалдар класына жатады (кесте 2).

Кесте 2 – Эпоксидті композиттердің физика-химиялық қасиеттері

Композиттың құрамы, 15 масс.б. ПЭПА-мен қатайтылған	Δm , %	ОІ, көлемдік %
100ЭД-20 + 40ТХПФ	2,3	31,0
100ЭД-20 + 40ТХПФ + 0,1НА	2,1	31,5
100ЭД-20 + 40ТХПФ + 0,1НА _(амин сірке қышқылы)	1,9	34,0
100ЭД-20 + 40ТХПФ + 0,05АІN	2,2	31,5
100ЭД-20 + 40ТХПФ + 0,05АІN _(амин сірке қышқылы)	2,1	32,0

Ескертпе: Δm – ауада тұтану кезіндегі массаның жоғалуы; ОІ – оттегі индексі.

Осылайша, жүргізілген зерттеулердің нәтижелері өңделмеген және амин сірке қышқылымен модификацияланған НА және АІN нанобөлшектерін енгізу эпоксидті композиттердің ыстыққа төзімділігінің жоғарылауын қамтамасыз ететінін және нанобөлшектерді өңдеу үшін қолданылатын амин сірке қышқылының концентрациясы неғұрлым жоғары болса, ыстыққа төзімділік соғұрлым жоғары болатынын көрсетті.

Сонымен қатар, эпоксидті композицияға өңделмеген және функционалданған нанобөлшектерді (НА және AlN) енгізу эпоксидті композиттің отқа төзімділігінің жоғарылауын қамтамасыз етеді.

Қорытынды

Модификацияланған және модификацияланбаған нанотолтырғыштардың (наноалмаздар және алюминий нитриді) эпоксидті полимердің құрылымдық түзілу процестеріне әсері зерттелді. Амин сірке қышқылының, эпоксидті олигомердің және нанотолтырғыштардың функционалдық топтарын химиялық байланыстыруын қамтамасыз ететін функционалдаушы агенттің (амин сірке қышқылы) оңтайлы концентрациясы анықталды, бұл бөлшектердің (НА және AlN) мөлшерлері мен таралуына жақсы әсер етеді (сәйкесінше 5% және 7,5%). Сонымен қатар құрамында амин сірке қышқылымен өңделген толтырғыштардың нанобөлшектері бар эпоксидті композиттердің максималды беріктік сипаттамаларын қамтамасыз етеді, яғни барлық зерттелген қасиеттердің 6-50%-ға артуы байқалды.

Эпоксидті композиттердің құрылымына және олардаң нығаюына өңделмеген және функционалданған нанобөлшектердің әсері анықталды. Модификацияланбаған және модификацияланған нанотолтырғыштары бар эпоксидті композиттердің физикалық-механикалық қасиеттері (иілу беріктігі және иілу серпімділігі модулі, созылу беріктігі және созылу серпімділігі модулі, соққыға төзімділігі) зерттелді.

Эпоксидті композиттердегі нанобөлшектердің оңтайлы мөлшері таңдалды. Наномодификациялаушы қоспа ретінде НА-дың ең ұтымды мөлшері 0,1 масс.б. құрады, осы мөлшерде толтырғыш қосылғанда физикалық-механикалық қасиеттердің максималды мәндері байқалды: иілудің сыну кернеуі 30%-ға, иілу модулі 77%-ға, созылудың сыну кернеуі 53%-ға және созылу модулі 36%-ға, соққыға төзімділік 55%-ға артты.

Наномодификациялаушы қоспа ретінде AlN оңтайлы мөлшері 0,05 масс.б. құрайды. Физикалық-механикалық қасиеттердің максималды мәндеріне осы AlN мөлшері қол жеткізеді: иілудің сыну кернеуі 13%-ға және иілу модулі 58%-ға, созылу үзілу кернеуі 56%-ға және созылу модулі 30%-ға, соққыға төзімділік 56%-ға артты.

Эпоксидті композитке амин сірке қышқылымен өңделген нанотолтырғыштарды енгізу өңделмеген нанотолтырғыштары бар композиттік материалдың сипаттамаларымен салыстырғанда барлық зерттелген физикалық және механикалық сипаттамалардың айтарлықтай жақсарғанын көрсетті.

НА және AlN нанобөлшектерін енгізу эпоксидті композиттердің ыстыққа төзімділігін сәйкесінше 110°C-тан 148-168°C-қа және 152°C-тан 160-182°C-қа дейін артатыны анықталды. Сонымен қатар, нанобөлшектерді амин сірке қышқылымен өңдеу эпоксидті композиттердің ыстыққа төзімділігін тиімдірек арттыруды қамтамасыз ететіні және нанобөлшектерді өңдеу үшін қолданылатын амин сірке қышқылының концентрациясы неғұрлым жоғары болса, эпоксидті нанокомпозиттің ыстыққа төзімділігі соғұрлым жоғары болатыны көрсетілді.

Эпоксидті композитке өңделмеген және функционалданған нанобөлшектерді (НА және AlN) енгізу композиттің отқа төзімділігінің жоғарылауын қамтамасыз етеді, бұл ауада тұтанған кезде массаның жоғалуының 2,3-тен 1,9-2,1%-ға дейін төмендеуімен және композиттің жанғыштық индексінің (оттегі индексі) 31-ден 31,5-34 %-ға дейін жоғарылауымен сипатталады. Алынған нанокомпозиттер жанғыш емес және оларды тұтануы қиын материалдар класына жатқызуға болады.

Әдебиеттер тізімі

1. Necar M. Mechanical and Moisture Barrier Properties of Epoxy–Nanoclay and Hybrid Epoxy–Nanoclay Glass Fibre Composites: A Review / M. Necar, A. Farhan, M.S. Mian // *Polymers*. – 2022. – № 14. – P. 1620.
2. Review article: Polymer-matrix nanocomposites, processing, manufacturing and application: An overview / F. Hussain et al // *Journal of Composite Materials*. – 2006. – № 40(17). – P. 1511-1575.
3. Mihajlin YU.A. Konstrukcionnye polimernye kompozicionnye materialy / YU.A. Mihajlin. – 2-e izd. – SPb.: Nauchnye osnovy i tekhnologii. – 2010. – 822 s.
4. Kislova YU. Rossijskij rynek epoksidnyh smol / YU. Kislova // *Kompozitnyj mir*. – 2009. – № 12. – С. 20-21.

5. Kadykova YU.A. Razrabotka bazal'tonapolnennyh epoksidnyh kompozitov s povyshennym kompleksom svoystv / YU.A. Kadykova // Dizajn. Materialy. Tekhnologiya. – 2012. – № 5(25). – С. 124-128.
6. Advances and Future Outlook in Epoxy / J.S. George et al // Graphene Composites for Anticorrosive Applications. Prog. Org. Coat. – 2022. – № 162. – P. 106571.
7. Wear of Epoxy Composites with Sludge Filler by Means of Cutting Tool Grinding under a Shock-Abrasive Impact / A.M. Mikhailchenkov et al // J. Mach. Manuf. Reliab. – 2022. – № 51. – P. 126-131.
8. Xiang Q. Applications of Epoxy Materials in Pavement Engineering / Q. Xiang, F. Xiao // Constr. Build. Mater. – 2020. – № 235. – P. 117529.
9. A Review on the Self-Healing Ability of Epoxy Polymers / F. Zhang et al // J. Appl. Polym. Sci. – 2021. – № 138. – P. 50260.
10. Mikhail'chenkov A.M. Influence of the Concentration and Particle Size of the Filler in Epoxy – Gravel Composite on the Resistance to Contact Deformation When Introducing a Solid Sphere / A.M. Mikhail'chenkov, S.A. Fes'kov, I.V. Kozarez // Russ. Eng. Res. – 2023. – № 43. – P. 972-975.
11. Malekshahinezhad K. Amine-Functionalized TiO₂ Nanoparticles Covalently Loaded into Epoxy Networks via Thermal and Microwave Curing Processes / K. Malekshahinezhad, A. Ahmadi-khaneghah, H. Behniafar // Macromol. Res. – 2020. – № 28. – P. 567-572.
12. Mozaffarinasab H. Surface Modification of Carbon Nanotubes by a Bifunctional Amine Silane; Effects on Physical / Mechanical / Thermal Properties of Epoxy Nanocomposite / H. Mozaffarinasab, M. Jamshidi // Prog. Org. Coat. – 2023. – № 179. – P. 107521.
13. Enhancement of Thermo-Mechanical Stability for Nanocomposites Containing Plasma Treated Carbon Nanotubes with an Experimental Study and Molecular Dynamics Simulations / H. Jung et al // J. Sci. Rep. – 2020. – № 10. – P. 405.
14. Engineering the Interfacial Adhesion in Basalt / M.C. Seghini et al // Epoxy Composites by Plasma Polymerization. Compos. Part A Appl. Sci. Manuf. – 2019. – № 122. – P. 67-76.
15. A Review on Microwave Irradiation to the Properties of Geopolymers: Mechanisms and Challenges / Y. Sun et al // Constr. Build. Mater. – 2021. – № 294. – P. 123491.
16. Effect of Microwave Irradiation at Different Stages of Manufacturing Unsaturated Polyester Nanocomposite / A. Shcherbakov et al // Polymers. – 2022. – № 14. – P. 4594.
17. Domingues D. The Use of an Electric Field in the Preparation of Glass Fibre/ D. Domingues, E. Logakis, A.A. Skordos // Epoxy Composites Containing Carbon Nanotubes. Carbon. – 2012. – № 50. – P. 2493-2503.
18. Tests of Physicochemical and Mechanical Strength Properties of Polymer Composites on an Epoxy Resin Matrix / E. Miekos et al // Modified by a Constant Magnetic Field. Materials. – 2022. – № 15. – P. 6730.
19. Hetemi D. Surface Functionalisation of Polymers / D. Hetemi, J. Pinson // Chem. Soc. Rev. – 2017. – № 46. – P. 5701-5713.
20. Reinforcement of Epoxy Resin by Additives of Amine-Functionalized Graphene Nanosheets / T.Y. Yung et al // Coatings. – 2021. – № 11. – P. 35.
21. Study on the Mechanical and Toughness Behavior of Epoxy Nano-Composites with Zero-Dimensional and Two-Dimensional Nano-Fillers / X. Li et al // Polymers. – 2022. – № 14. – P. 3618.
22. Highly Thermally Conductive Epoxy Composites with AlN/BN Hybrid Filler as Underfill Encapsulation Material for Electronic Packaging / W.A. Lee Sanchez et al // Polymers. – 2022. – № 14. – P. 2950.
23. Schrand A.M. Nanodiamond Particles: Properties and Perspectives for Bioapplications / A.M. Schrand, S.A.C. Hens, O.A. Shenderova // Crit. Rev. Solid State Mater. Sci. – 2009. – № 34. – P. 18-74.
24. Mechanical Properties of Epoxy Composites with High Contents of Nanodiamond / I. Neitzel et al // Compos. Sci. Technol. – 2011. – № 71. – P. 710-716.
25. Kim S.-H. Amine-Terminated Chain-Grafted Nanodiamond/ S.-H. Kim, K.Y. Rhee, S.-J. Park // Epoxy Nanocomposites as Interfacial Materials: Thermal Conductivity and Fracture Resistance. Compos. Part B Eng. – 2020. – № 192. – P. 107983.
26. Surface Functionalization and Structure Characterizations of Nanodiamond and Its Epoxy Based Nanocomposites / Y.A. Haleem et al // Compos. Part B Eng. – 2015. – № 78. – P. 480-487.

27. Coordinating Mechanical Performance and Fire Safety of Epoxy Resin via Functionalized Nanodiamond / Q. Wang et al // Diam. Relat. Mater. – 2020. – № 108. – P. 107964.
28. Effect of Phosphorus and Chlorine Containing Plasticizers on the Physicochemical and Mechanical Properties of Epoxy Composites / A. Bekeshev et al // J. Compos. Sci. – 2023. – № 7. – P. 178.

Қаржыландыру: Бұл зерттеуді Қазақстан Республикасы Ғылым және Жоғары Білім Министрлігінің Ғылым Комитеті қаржыландырды (Грант № BR18574094).

Л.К. Тастанова¹, А.З. Бекешев¹, А.С. Мостовой², Р.О. Орынбасар^{1*}, А.К. Жумабекова³

¹ Актюбинский региональный университет имени К. Жубанова,
030000, Республика Казахстан, г. Актобе, улица Молдагулова, 34.

² Саратовский государственный технический университет имени Ю. Гагарина,
410054, Россия, г. Саратов, улица Политехническая, 77

³ Казахский университет технологии и бизнеса им. К. Кулажанова,
Республика Казахстан, г. Астана, ул. К. Мухамедханова 37

*e-mail: raihan_06_79@mail.ru

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ФУНКЦИОНАЛИЗАЦИИ НАНО НАПОЛНИТЕЛЕЙ НА СВОЙСТВА ЭПОКСИДНЫХ КОМПОЗИТОВ

Целью исследования является изучение влияния нанонаполнителей (наноалмазы и нитрид алюминия) и их функционализации аминуксусной кислотой на структуру и физико-химические свойства полимерных композитов на основе эпоксидной смолы. В ходе исследования определены оптимальные концентрации аминуксусной кислоты и, необходимые для обеспечения равномерного распределения частиц наноалмазов (НА) – 5% и нитрида алюминия (AlN) – 7,5% в полимерной матрице. Установлено, что указанные концентрации функционализирующего агента приводят к значительному повышению механических свойств композитов: в результате введения функционализированных нанонаполнителей отмечено повышение прочности на изгиб, модуля упругости, прочности на растяжение, ударопрочности и термостойкости эпоксидных композитов. Максимальное увеличение свойств составило от 6 до 50%. Наивысшие механические и термические характеристики были достигнуты при введении в композиты 0,1 масс.ч. НА и 0,05 масс.ч. AlN, это привело к увеличению термостойкости от 100-110°C до 132-168°C. Как нетронутые, так и функционализированные наночастицы приводят к повышению огнестойкости композитов, снижая потери массы и увеличивая кислородный индекс. Полученные нанокompозитные материалы обладают исключительными механическими, термическими и пожаробезопасными свойствами, что позволяет рекомендовать их для применения в отраслях, где прочность и огнестойкость имеют решающее значение.

Ключевые слова: композит, эпоксидный олигомер, функционализация, нанонаполнитель, аминуксусная кислота, модификация.

L.K. Tastanova¹, A.Z. Bekeshev¹, A.S. Mostovoy², R.O. Orynbasar^{1*}, A.K. Zhumabekova³

¹ Aktobe Regional University named after K. Zhubanov,
030000, Republic of Kazakhstan, Aktobe, Moldagulova street, 34

² Saratov State Technical University named after Y. Gagarin,
410054, Russia, Saratov, Politehnicheskaya Street, 77

³ Kazakh University of Technology and Business named after K. Kulazhanov,
Republic of Kazakhstan, Astana, K. Mukhamedkhanov STR. 37

*e-mail: raihan_06_79@mail.ru

STUDY OF THE INFLUENCE OF THE FUNCTIONALIZATION OF NANO FILLERS ON THE PROPERTIES OF EPOXY COMPOSITES

The purpose of the study is to study the influence of nanofiller (aluminum nitride and nanoalmas) on the structure and physical and chemical properties of epoxy polymer composites and surface functionality of these nanoparticles with amino acetic acid. In the course of the study, the optimal concentrations of 5% and 7.5% of the amino acetic acid required to ensure uniform distribution of nanoalmas (NA) and aluminum nitride (AlN) particles in the polymer matrix. It was found that the listed concentrations of the functionalizing agent lead to a significant increase in the mechanical properties of composites: as a result of the introduction of functionalized nanofillers with nano-fillers, an increase in bending strength, modulus of elasticity, tensile strength, impact resistance and heat resistance of epoxy composites was observed. The maximum increase was 6-50%. 0.1 drunk. HA and 0.05 drunk.H. With the introduction of AlN, the greatest mechanical and thermal

characteristics were achieved, that is, this led to an increase in heat resistance from 100-110°C to 132-168°C. Pure and functional nanoparticles have also increased fire resistance by reducing mass loss and increasing the oxygen index. In general, these nanocomposite materials have exceptional mechanical, thermal and refractory properties, which is very important for modern applications with stable strength and fire resistance.

Key words: Composite, epoxy oligomer, functionalization, nanofiller, amino acetic acid, modification.

Авторлар туралы мәліметтер

Ляззат Кнашевна Тастанова – химия ғылымдарының кандидаты, Мұнай газ ісі кафедрасының профессоры, Қ. Жұбанов атындағы Ақтөбе өңірлік университеті, Қазақстан республикасы, e-mail: lyazzatt@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9236-5909>.

Амирбек Зарлыкович Бекешев – физика-математика ғылымдарының кандидаты, Физика кафедрасының қауымдастырылған профессоры, Қ. Жұбанов атындағы Ақтөбе өңірлік университеті. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7038-4631>.

Антон Станиславович Мостовой – техника ғылымдарының кандидаты, Жаратылыстану-математика ғылымдары кафедрасының меңгерушісі м.а., «Функционалдық материалдар мен жүйелерді зерттеудің заманауи әдістері» зертханасының меңгерушісі, Ю. Гагарин атындағы Саратов мемлекеттік техникалық университеті, Ресей. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2828-9988>.

Райгүл Орынбасарқызы Орынбасар* – химия ғылымдарының кандидаты, Мұнай газ ісі кафедрасының доценті, Қ. Жұбанов атындағы Ақтөбе өңірлік университеті; e-mail: raihan_06_79@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6198-3018>.

Арай Керимакынқызы Жұмабекова – химия ғылымдарының кандидаты, К. Құлажанов атындағы Қазақ технология және бизнес университетінің қауымдастырылған профессоры, Астана қ., Қазақстан; e-mail: zhumabekova_ak@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6743-8953>.

Сведения об авторах

Лаззат Кнашевна Тастанова – кандидат химических наук, профессор кафедры нефтегазовое дело, Актыубинский региональный университет им. К. Жубанова, Республика Казахстан; e-mail: lyazzatt@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9236-5909>.

Амирбек Зарлыкович Бекешев – кандидат физико-математических наук, доцент кафедры физики, Актыубинский региональный университет имени К. Жубанова, Республика Казахстан; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7038-4631>.

Антон Станиславович Мостовой – кандидат технических наук, заведующий кафедрой естественных и математических наук, магистр наук, заведующий лабораторией «Современные методы исследования функциональных материалов и систем», Саратовский государственный технический университет имени Ю. Гагарина, Россия. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2828-9988>.

Райгуль Орынбасаровна Орынбасар* – кандидат химических наук, доцент кафедры Нефтегазовое дело, Актыубинский региональный университет имени К. Жубанова, Республика Казахстан; e-mail: raihan_06_79@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6198-3018>.

Арай Керимакыновна Жұмабекова – Казахский университет технологии и бизнеса им.К.Кулажанова, кандидат химических наук, ассоциированный профессор, Казахстан; e-mail: zhumabekova_ak@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6743-8953>.

Information about authors:

Lazzat Knashevna Tastanova – candidate of chemical sciences, professor of the oil and gas department, Aktobe Regional University named after K. Zhubanova, Republic of Kazakhstan; e-mail: lyazzatt@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9236-5909>.

Amirbek Zarlykovich Bekeshev – Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor of the Department of Physics, Aktobe Regional University named after K. Zhubanova, Republic of Kazakhstan. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7038-4631>.

Anton Stanislavovich Mostovoy – candidate of technical sciences, head of the department of natural and mathematical sciences, master of science, head of the laboratory «Modern methods of research of functional materials and systems», Russia. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2828-9988>.

Raigul Orynbasarovna Orynbasar* – Candidate of Chemical Sciences, Associate Professor of the Oil and Gas Department, Aktobe Regional University named after K. Zhubanova, Republic of Kazakhstan; e-mail: raihan_06_79@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6198-3018>.

Aray Kerimakynovna Zhumabekova – Kazakh University of Technology and Business named after K. Kulazhanov, Candidate of Chemical Sciences, Associate Professor, Kazakhstan; e-mail: zhumabekova_ak@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6743-8953>.

Редакцияға енуі 02.10.2024

Өңдеуден кейін түсуі 19.11.2024

Жариялауға қабылданды 20.11.2024