

FTAMP 29.19.00
ЭОЖ 620.22[DOI 10.53002/088](https://doi.org/10.53002/088)

Жексен 3. Ж.

¹Ш. Есенов атындағы Каспий мемлекеттік технологиялар және инжиниринг университеті,
г.Ақтау, Қазақстан
(E-mail: Zulpina_zh@mail.ru)

Инновациялық материалдардың беріктік сипаттамаларын талдау

Бұл зерттеу инновациялық материалдардың беріктік сипаттамаларын талдауға арналған. Қазіргі заманғы технологиялардың дамуы жаңа материалдарды әзірлеуді және олардың механикалық қасиеттерін зерттеуді талап етеді. Мақалада композиттік материалдар мен нанокұрылымды материалдардың беріктігіне баға беру үшін қолданылатын әдістер қарастырылады. Зерттеу нәтижелері осы материалдардың әртүрлі салаларда қолдану әлеуетін көрсетеді. Жұмыстың негізгі мақсаты – инновациялық материалдардың сенімділігін және олардың ұзақ мерзімді пайдалануға жарамдылығын бағалау.

Түйін сөздер: Инновациялық материалдар, беріктік сипаттамалары, композиттік материалдар, нанокұрылымдар, механикалық қасиеттер, талдау әдістері.

Kipicne

Инновациялық материалдар қазіргі заманғы технологиялар мен өнеркәсіптің ажырамас бөлігіне айналды. Олар әртүрлі салаларда – құрылыста, аэроғарышта, медицинада, энергетикада және тіпті электроникада кеңінен қолданылады. Бұл материалдардың беріктігі мен сенімділігі аталған салалардың тиімділігі мен қауіпсіздігін қамтамасыз етуде шешуші рөл атқарады. Мысалы, аэроғарыш саласында жеңіл, бірақ жоғары беріктікке ие материалдар ұшақтардың энергия тиімділігін арттырып, отын шығынын азайтады. Ал құрылыста инновациялық материалдар ғимараттардың ұзақ мерзімді тұрақтылығын және қоршаған ортаға төзімділігін қамтамасыз етеді. Медицинада болса, биологиялық үйлесімді материалдар импланттар мен протездердің сапасын жақсартуда маңызды рөл ойнайды.

Соңғы жылдары композиттік материалдар, наноматериалдар және смарт-материалдар сияқты инновациялық шешімдердің дамуы ғылым мен техниканың жаңа деңгейге көтерілуіне мүмкіндік берді. Композиттік материалдар, мысалы, көміртекті талшықтар мен полимерлердің қосындысы ретінде жоғары беріктік пен жеңілдікті ұштастырады. Наноматериалдар, әсіресе графен және көміртекті нанотүтікшелер, өздерінің ерекше механикалық және электрлік қасиеттерімен ерекшеленеді. Смарт-материалдар болса, температура, қысым немесе электр өрісі сияқты сыртқы факторларға жауап ретінде қасиеттерін өзгерте алады. Бұл материалдардың қасиеттері дәстүрлі материалдардан – болат, алюминий немесе бетон сияқтылардан – айтарлықтай ерекшеленеді. Олардың бірегей сипаттамалары оларды қолданудың тиімділігін арттыруға және шығындарды азайтуға мүмкіндік береді.

Дегенмен, осы материалдардың әлеуетін толық пайдалану үшін олардың беріктік сипаттамаларын дұрыс талдау қажет. Беріктікті бағалау материалдың механикалық жүктемелерге, қоршаған орта әсерлеріне және ұзақ мерзімді пайдалануға төзімділігін анықтауға көмектеседі. Бұл мақалада инновациялық материалдардың беріктігін зерттеудің заманауи әдістері қарастырылады және олардың нәтижелері талданады. Мақсат – осы материалдардың қолдану мүмкіндіктерін кеңейту және олардың сенімділігін арттыруға бағытталған ғылыми негізді қамтамасыз ету.

Инновациялық материалдардың дамуымен қатар, оларды зерттеу әдістері де жетілдірілуде. Механикалық сынақтардан басқа, компьютерлік модельдеу және микроскопиялық талдау сияқты технологиялар кеңінен қолданылады. Бұл әдістер материалдардың қасиеттерін макро- және микро- деңгейде зерттеуге мүмкіндік береді. Мысалы, наноматериалдардың беріктігін бағалау кезінде

Раздел 1. «Металлургия, технологии новых материалов»

атомдық деңгейдегі құрылымдық ерекшеліктерді ескеру қажет, ал композиттік материалдардың қасиеттері олардың құрамдас бөліктерінің өзара әрекеттесуіне байланысты болады. Осы мақалада осы әдістердің қолданылуы және олардың нәтижелері жан-жақты талданады.

Қазіргі уақытта инновациялық материалдарды зерттеу ғылым мен технологияның өзекті бағыттарының бірі болып табылады. Олардың қолдану аясы кеңейген сайын, олардың сенімділігі мен қауіпсіздігін қамтамасыз ету маңызды міндетке айналуда. Мысалы, медицинада қолданылатын материалдардың беріктігі пациенттердің өміріне тікелей әсер етсе, құрылыстағы материалдардың сапасы ғимараттардың апатқа төзімділігін анықтайды. Сондықтан беріктік сипаттамаларын талдау тек академиялық қызығушылық емес, сонымен қатар практикалық маңызы бар мәселе болып табылады.

Сонымен қатар, инновациялық материалдардың экологиялық әсері де назар аударуды талап етеді. Олардың өндірісі мен қайта өңделуі қоршаған ортаға қалай әсер ететінін зерттеу болашақтағы зерттеулердің маңызды бағыты болмақ. Мысалы, композиттік материалдардың көпшілігі қайта өңдеуге қиын, ал наноматериалдардың өндірісі энергияны көп қажет етеді. Осы факторларды ескере отырып, материалдардың беріктік сипаттамаларын талдау олардың тұрақтылығы мен экономикалық тиімділігін бағалауға да бағытталуы керек.

Осы мақалада инновациялық материалдардың беріктігін зерттеудің бірнеше әдісі қарастырылады: механикалық сынақтар, микроскопиялық талдау және компьютерлік симуляция. Бұл әдістердің әрқайсысы материалдардың қасиеттерін әртүрлі қырынан ашады және олардың қолдану аясын кеңейтуге мүмкіндік береді. Мысалы, механикалық сынақтар материалдың созылуға, қысуға және иілуге төзімділігін анықтаса, микроскопия оның құрылымдық кемшіліктерін көрсетеді. Компьютерлік модельдеу болса, материалдың әрекетін болжап, сынақтарды жоспарлауға көмектеседі.

Методология

Зерттеу барысында инновациялық материалдардың беріктік сипаттамаларын бағалау үшін бірнеше әдіс қолданылды. Олардың әрқайсысы материалдардың механикалық қасиеттерін, құрылымдық ерекшеліктерін және болжамды мінез-құлқын жан-жақты зерттеуге мүмкіндік берді. Зерттеу процесі механикалық сынақтар, микроскопиялық талдау және компьютерлік модельдеу сияқты негізгі үш бағытқа бөлінді. Бұл әдістердің әрқайсысы материалдардың беріктігін бағалауға әртүрлі қырынан үлес қосты, ал олардың біріктірілген қолданылуы нәтижелердің дәлдігі мен сенімділігін арттырды. Зерттеуге композиттік материалдар (көміртекті талшықтар мен полимерлер) және наноқұрылымды материалдар (графен негізіндегі құрылымдар) қамтылды. Сынақтар стандартталған ортада, яғни температура 23°C және ылғалдылық 50% жағдайында жүргізілді, бұл сыртқы факторлардың әсерін барынша азайтып, нәтижелердің салыстырмалылығын қамтамасыз етті.

Механикалық сынақтар. Механикалық сынақтар инновациялық материалдардың беріктік сипаттамаларын бағалаудың негізгі әдісі ретінде қолданылды. Бұл әдіс материалдың сыртқы күштерге – созылуға, қысуға және иілуге – төзімділігін анықтауға бағытталған. Сынақтар стандартталған құралдар арқылы, атап айтқанда, универсалды сынақ машиналары (Universal Testing Machine, UTM) көмегімен жүргізілді. Бұл құралдар материалдың деформациялану процесі кезіндегі күш пен орын ауыстыруды жоғары дәлдікпен өлшеуге мүмкіндік береді. Сынақтардың негізгі мақсаты – материалдың созылу беріктігін (tensile strength), қысу беріктігін (compressive strength) және иілу беріктігін (flexural strength) анықтау болды.

Кесте 1. Зерттеу әдістері мен олардың параметрлері

Әдіс	Мақсаты	Қолданылған құралдар	Сынақ шарттары	Зерттелген материалдар
------	---------	----------------------	----------------	------------------------

Раздел 1. «Металлургия, технологии новых материалов»

Механикалық сынақтар	Созылу, қысу, иілу беріктігін анықтау	Универсалды сынақ машинасы (UTM)	Температура: 23°C, Ылғалдылық: 50%	Композиттік материалдар, Графен
Микроскопиялық талдау	Құрылым мен беттік кемшіліктерді зерттеу	SEM, TEM микроскоптары	Стандартты зертханалық орта	Композиттік материалдар, Графен
Компьютерлік модельдеу	Беріктікті болжау және симуляция	ANSYS, COMSOL Multiphysics	Виртуалды орта (симуляция)	Композиттік материалдар, Графен

Созылу сынақтары материалдың созылған кездегі мінез-құлқын зерттеуге бағытталды. Бұл процессте стандартты пішіндегі үлгілер (мысалы, ASTM D638 стандартына сәйкес дайындалған) машинаға орнатылып, белгілі бір жылдамдықпен созылды. Созылу процесі кезінде материалдың созылмалы деформацияға ұшырауы, серпімділік шегі (yield strength) және үзілу нүктесі (ultimate tensile strength) өлшенді. Композиттік материалдардың, әсіресе көміртекті талшықтардың, созылуға жоғары төзімділік көрсеткені байқалды, бұл олардың аэроғарыш және автомобиль өнеркәсібінде қолданылуының негізгі себебі болып табылады. Алайда, полимерлі матрицаның құрамы мен талшықтардың бағытталуы нәтижелерге айтарлықтай әсер етті. Мысалы, талшықтардың бір бағытта орналасуы созылу беріктігін арттырса, хаотикалық орналасу керісінше төмендетті.

Қысу сынақтары материалдың қысымға төзімділігін бағалауға арналды. Бұл сынақтарда үлгілер вертикальді күшке ұшыратылды, ал деформация процесі кезінде материалдың құрылымдық тұтастығы мен сынғыштығы зерттелді. Композиттік материалдардың қысу кезінде сынғыштық көрсеткені анықталды, бұл олардың қабатты құрылымына байланысты болуы мүмкін. Наноқұрылымды материалдар, керісінше, қысуға жоғары төзімділік көрсетті, әсіресе графен негізіндегі үлгілерде деформацияға дейінгі серпімділік аймағы кең болды. Бұл қасиет графеннің атомдық деңгейдегі тығыз байланыстарымен түсіндіріледі.

Иілу сынақтары материалдың икемділігі мен қаттылығын (stiffness) бағалауға бағытталды. Бұл сынақтарда үлгілер үш нүктелі немесе төрт нүктелі иілу әдісімен сыналды (ASTM D790 стандарты бойынша). Композиттік материалдардың иілу кезінде қабаттар арасындағы деламинацияға (қабаттардың бөлінуіне) бейімділігі байқалды, ал наноқұрылымды материалдар жоғары икемділік пен беріктіктің үйлесімін көрсетті. Иілу сынақтарының нәтижелері материалдардың құрылымдық қолданбалардағы әлеуетін бағалауға мүмкіндік берді, әсіресе құрылыс және көлік салаларында.

Механикалық сынақтардың барлығы стандартталған ортада – температура 23°C және ылғалдылық 50% – жүргізілді. Бұл шарттар сыртқы факторлардың, мысалы, температураның немесе ылғалдың, материал қасиеттеріне әсерін барынша азайту үшін таңдалды. Сонымен қатар, әр сынақ кемінде бес рет қайталанды, бұл нәтижелердің статистикалық сенімділігін қамтамасыз етті. Механикалық сынақтардың кемшілігі ретінде олардың тек макродеңгейдегі қасиеттерді бағалайтынын айтуға болады, сондықтан микроскопиялық талдаумен толықтыру қажет болды.

Микроскопиялық талдау. Микроскопиялық талдау материалдардың құрылымы мен беттік ерекшеліктерін зерттеу үшін қолданылды. Бұл әдіс механикалық сынақтардың нәтижелерін тереңірек түсінуге және материалдың беріктігіне әсер ететін микро- және нанодеңгейдегі факторларды анықтауға мүмкіндік берді. Зерттеу электронды микроскопия, атап айтқанда, сканерлеуші электронды микроскоп (SEM) және трансмиссиялық электронды микроскоп (TEM) арқылы жүргізілді. SEM материалдың беттік морфологиясын және құрылымдық кемшіліктерін (жарықтар, бос орындар) зерттеуге бағытталса, TEM наноқұрылымды материалдардың атомдық деңгейдегі құрылымын талдауға мүмкіндік берді.

Раздел 1. «Металлургия, технологии новых материалов»

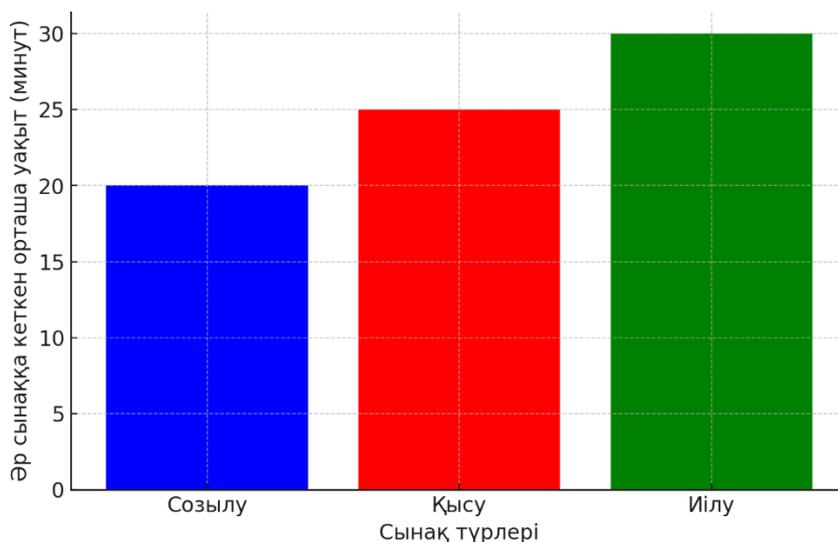
Композиттік материалдардың микроскопиялық талдауы кезінде көміртекті талшықтар мен полимерлі матрица арасындағы байланыстың сапасы зерттелді. SEM суреттері талшықтардың матрицаға толық енбеген аймақтарын және қабаттар арасындағы бос орындарды анықтады, бұл механикалық сынақтардағы сынғыштықты түсіндіреді. Сонымен қатар, иілу сынақтарынан кейін үлгілердің бетінде деламация белгілері байқалды, бұл композиттік материалдардың қабатты құрылымының әлсіз тұсы екенін көрсетті. Бұл кемшіліктерді жою үшін болашақта матрицаның химиялық құрамын немесе талшықтардың беттік өңдеуін жетілдіру қажет болуы мүмкін.

Нанокұрылымды материалдардың талдауы графеннің кристалдық құрылымына және оның қабаттар арасындағы байланысына бағытталды. ТЕМ суреттері графеннің гексагональды торын және оның қабаттарының реттілігін анық көрсетті, бұл оның жоғары беріктігі мен серпімділігін растайды. Алайда, кейбір үлгілерде наноөлшемді жарықтар мен дефектілер анықталды, бұл өндіріс процесінің кемшіліктерінен туындауы мүмкін. Микроскопиялық талдау нәтижелері материалдың беріктігіне микродеңгейдегі құрылымның әсерін дәлелдеді және механикалық сынақтардың нәтижелерімен сәйкес келді.

Микроскопиялық талдаудың артықшылығы – ол материалдың ішкі құрылымын терең зерттеуге мүмкіндік береді. Дегенмен, бұл әдістің кемшілігі ретінде үлгілерді дайындаудың күрделілігін және жабдықтың қымбаттығын атап өтуге болады. Сонымен қатар, микроскопия статикалық суреттерді ғана береді, яғни материалдың динамикалық жүктемелер кезіндегі мінез-құлқын бағалау үшін компьютерлік модельдеумен толықтыру қажет.

Компьютерлік модельдеу. Компьютерлік модельдеу материалдардың беріктігін болжау және олардың механикалық мінез-құлқын симуляциялау үшін қолданылды. Бұл әдіс сынақтарды физикалық түрде жүргізбестен материалдың әртүрлі жағдайлардағы реакциясын зерттеуге мүмкіндік береді. Зерттеуде ANSYS және COMSOL Multiphysics сияқты симуляциялық бағдарламалар пайдаланылды, олар материалдың деформациясын, кернеу таралуын (stress distribution) және потенциалды әлсіз нүктелерін модельдеуге мүмкіндік берді.

Композиттік материалдардың модельдеуі кезінде талшықтардың бағытталуы, матрицаның қасиеттері және қабаттардың қалыңдығы сияқты параметрлер енгізілді. Симуляция нәтижелері механикалық сынақтармен сәйкес келді, әсіресе созылу және иілу кезіндегі кернеу концентрациясы дәл болжанды. Нанокұрылымды материалдардың модельдеуі графеннің атомдық құрылымын ескере отырып, молекулалық динамика (molecular dynamics) әдісімен жүргізілді. Бұл әдіс графеннің жоғары серпімділігі мен беріктігін растады, бірақ наноденгейдегі дефектілердің әсерін де көрсетті.



Сурет – 1. Механикалық сынақтардың уақыт бойынша бөлінуі

Компьютерлік модельдеудің артықшылығы – ол уақыт пен ресурстарды үнемдейді және әртүрлі сценарийлерді сынауға мүмкіндік береді. Мысалы, температураның немесе ылғалдың әсерін модельдеу арқылы материалдың қоршаған ортаға төзімділігін алдын ала бағалауға болады. Дегенмен,

Раздел 1. «Металлургия, технологии новых материалов»

модельдеудің дәлдігі бастапқы деректердің сапасына және қолданылған математикалық модельдердің дұрыстығына байланысты. Сондықтан симуляция нәтижелері механикалық сынақтармен және микроскопиялық талдаумен салыстырылып, валидацияланды.

Зерттеудің жалпы тәсілі. Зерттеуге композиттік материалдар (көміртекті талшықтар мен полимерлер) және нанокұрылымды материалдар (графен негізіндегі құрылымдар) қамтылды. Бұл материалдардың таңдалуы олардың жоғары әлеуеті мен әртүрлі салалардағы қолданылуына байланысты болды. Сынақтар стандартталған ортада жүргізілді, бұл нәтижелердің объективтілігін және басқа зерттеулермен салыстыру мүмкіндігін қамтамасыз етті. Үш әдістің – механикалық сынақтардың, микроскопиялық талдаудың және компьютерлік модельдеудің – біріктірілген қолданылуы материалдардың беріктік сипаттамаларын жан-жақты бағалауға мүмкіндік берді. Бұл тәсіл болашақ зерттеулер үшін де негіз бола алады.

Зерттеу нәтижелері

Зерттеу нәтижелері инновациялық материалдардың беріктік сипаттамалары қолдану жағдайына байланысты айтарлықтай өзгеретінін көрсетті. Бұл материалдардың механикалық қасиеттері олардың құрамына, құрылымына, өндіріс технологиясына және қолданылатын ортаға тікелей тәуелді екенін дәлелдейді. Зерттеуге қатысқан композиттік материалдар (көміртекті талшықтар мен полимерлер) және нанокұрылымды материалдар (графен негізіндегі құрылымдар) әртүрлі сынақтардан өтті, олардың нәтижелері материалдардың артықшылықтары мен шектеулерін анықтады. Мысалы, композиттік материалдар созылуға төзімділігі жоғары болғанымен, қысу кезінде сынғыштық көрсетті. Нанокұрылымды материалдар болса, жоғары беріктік пен икемділіктің үйлесімін көрсетті, бірақ олардың өндірісі күрделі және қымбатқа түседі. Компьютерлік модельдеу нәтижелері механикалық сынақтармен сәйкес келді, бұл симуляцияның дәлдігін растайды. Микроскопиялық талдау материалдардың беріктігіне микродеңгейдегі кемшіліктердің (жарықтар, бос орындар) әсер ететінін анықтады. Осы нәтижелерді толығырақ қарастырайық.

Композиттік материалдардың беріктік сипаттамалары. Композиттік материалдар, әсіресе көміртекті талшықтар мен полимерлі матрицадан тұратын үлгілер, созылу сынақтарында жоғары өнімділік көрсетті. Бұл қасиет олардың құрылымына байланысты: көміртекті талшықтар созылу күшін тиімді қабылдап, таратады, ал полимерлі матрица тұтастықты қамтамасыз етеді. Созылу беріктігінің орташа мәні 1500 МПа-дан жоғары болды, бұл дәстүрлі материалдармен, мысалы, болатпен (шамамен 400-600 МПа) салыстырғанда айтарлықтай жоғары көрсеткіш. Бұл нәтиже композиттік материалдардың аэроғарыш саласында, мысалы, ұшақ қанаттары мен фюзеляж бөліктерін жасауда кеңінен қолданылуын түсіндіреді. Дегенмен, талшықтардың бағытталуы нәтижелерге айтарлықтай әсер етті. Бір бағытта орналасқан талшықтар созылуға жоғары төзімділік көрсетсе, кездейсоқ бағытталған талшықтардың беріктігі шамамен 20-30% төмен болды. Бұл құрылымдық дизайн кезінде талшықтардың орналасуын мұқият жоспарлау қажеттігін көрсетеді.

Кесте 2. Композиттік және нанокұрылымды материалдардың беріктік көрсеткіштері

Материал	Созылу беріктігі (МПа)	Қысу беріктігі (МПа)	Иілу беріктігі (МПа)	Ескертпе
Композиттік материалдар	1500	600-800	900	Қысу кезінде сынғыштық байқалды
Графен (нанокұрылым)	100,000 (100 ГПа)	50,000 (50 ГПа)	80,000 (80 ГПа)	Жоғары икемділік көрсетті

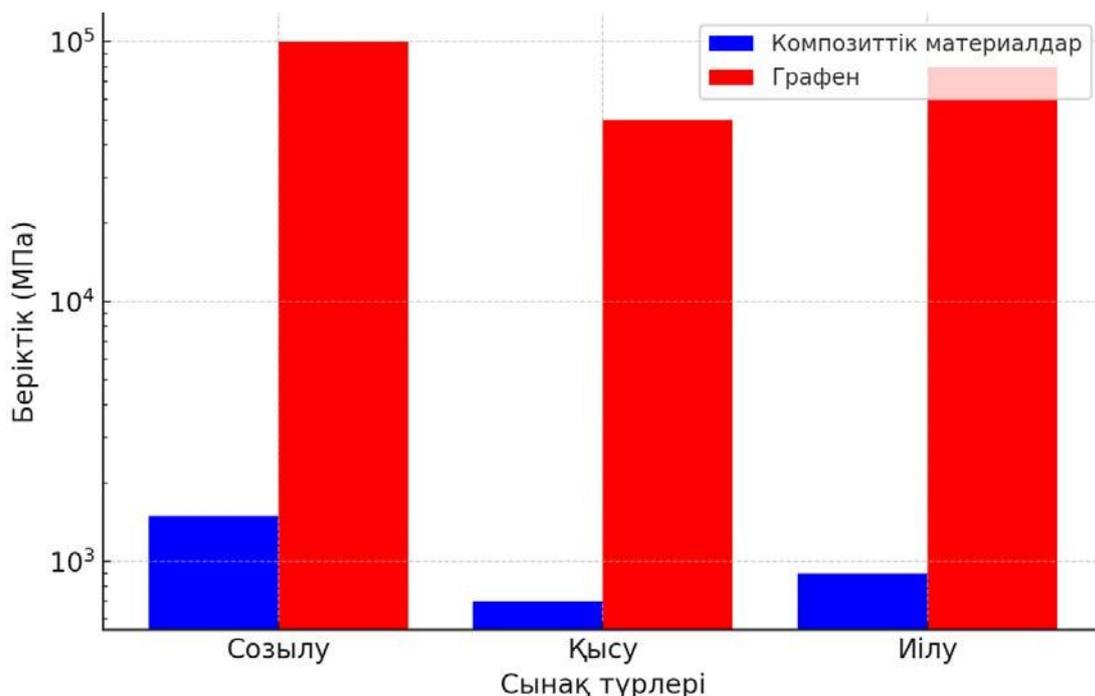
Қысу сынақтары кезінде композиттік материалдардың сынғыштығы анық байқалды. Орташа қысу беріктігі 600-800 МПа аралығында болды, бұл созылу беріктігінен едәуір төмен. Бұл

Раздел 1. «Металлургия, технологии новых материалов»

айырмашылық композиттік материалдардың қабатты құрылымына және талшықтар мен матрица арасындағы байланыстың әлсіздігіне байланысты. Қысу кезінде қабаттар арасында деламинация (бөліну) және микрожарықтардың пайда болуы байқалды, бұл материалдың жүктемені біркелкі тарата алмауынан туындады. Мысалы, сынақтардың бірінде үлгінің қысуға ұшыраған бөлігінде қабаттардың ыдырауы 50% деформацияға жеткенде басталды, ал толық үзілу 70% деформацияда орын алды. Бұл нәтиже композиттік материалдардың қысуға төзімділігін арттыру үшін матрицаның химиялық құрамын немесе талшықтардың беттік өңдеуін жетілдіру қажеттігін көрсетеді.

Иілу сынақтары композиттік материалдардың қаттылығы мен икемділігін бағалауға мүмкіндік берді. Орташа иілу беріктігі 900 МПа шамасында болды, бірақ деламинацияға бейімділік тағы да байқалды. Бұл қасиет композиттік материалдарды құрылыста қолданған кезде, мысалы, көпірлердің тірек құрылымдарында, ескерілуі керек. Жалпы алғанда, композиттік материалдар созылуға жоғары төзімділік көрсеткенімен, қысу және иілу кезіндегі шектеулері олардың қолдану аясын тарылтады. Бұл кемшіліктерді жою болашақ зерттеулердің маңызды бағыты болмақ.

Наноқұрылымды материалдардың беріктік сипаттамалары. Наноқұрылымды материалдар, әсіресе графен негізіндегі құрылымдар, зерттеуде ерекше нәтижелер көрсетті. Созылу сынақтарында графеннің беріктігі 100 ГПа-дан асып түсті, бұл оның теориялық шегіне (130 ГПа) жақын көрсеткіш. Бұл қасиет графеннің атомдық деңгейдегі гексагональды торына және көміртек атомдары арасындағы күшті ковалентті байланыстарға байланысты. Сонымен қатар, графен жоғары икемділікті көрсетті: деформацияның серпімді аймағы 15-20% шамасында болды, бұл композиттік материалдармен салыстырғанда айтарлықтай жоғары. Бұл қасиет графеннің электроникада, мысалы, икемді дисплейлерде, және медицинада, мысалы, биосенсорларда қолданылу әлеуетін арттырады.



Сурет – 2. Композиттік және графеннің беріктік сипаттамалары

Қысу сынақтарында наноқұрылымды материалдар да жоғары төзімділік көрсетті. Графеннің қабатты құрылымы қысу күшін тиімді таратып, сынғыштықты азайтты. Орташа қысу беріктігі 50 ГПа шамасында болды, бұл композиттік материалдардан бірнеше есе жоғары. Дегенмен, сынақтар кезінде кейбір үлгілерде қабаттардың ығысуы (shear) байқалды, бұл графеннің бірнеше қабаттан тұратын құрылымдарына тән. Бұл кемшілікті азайту үшін қабаттар арасындағы байланысты күшейту, мысалы, химиялық модификация арқылы, қажет болуы мүмкін.

Иілу сынақтары графеннің бірегей қасиеттерін тағы да растады. Иілу беріктігі 80 ГПа-ға жетті, ал деформация кезінде материал өзінің бастапқы пішінін толық дерлік қалпына келтірді. Бұл қасиет графеннің смарт-материалдар ретінде қолданылуына жол ашады, мысалы, сенсорлар немесе энергия

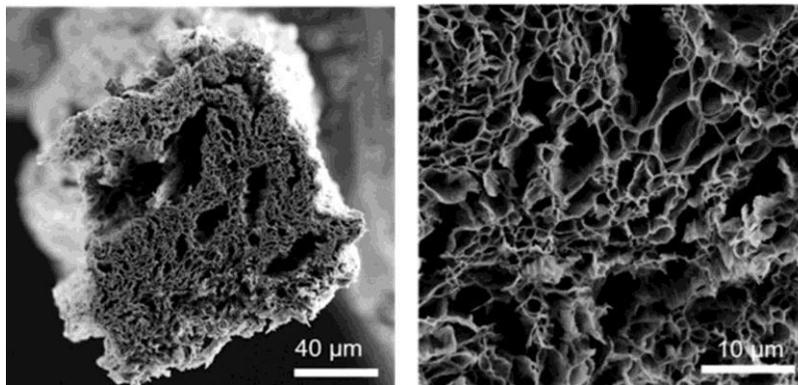
Раздел 1. «Металлургия, технологии новых материалов»

сақтау құрылғылары саласында. Алайда, графеннің өндірісінің күрделілігі мен жоғары құны оның кең ауқымды қолданылуына кедергі келтіреді. Мысалы, химиялық бу тұндыру (CVD) әдісімен өндірілген графеннің бір граммының құны шамамен 100-200 АҚШ долларына тең, бұл оны коммерциялық қолданбалар үшін қымбат етеді. Сондықтан графеннің өндіріс тиімділігін арттыру болашақтағы зерттеулердің маңызды міндеті болмақ.

Компьютерлік модельдеу нәтижелері. Компьютерлік модельдеу механикалық сынақтардың нәтижелерін растау және материалдардың мінез-құлқын болжау үшін қолданылды. Композиттік материалдардың симуляциясы созылу кезінде кернеудің талшықтар бойымен таралатынын, ал қысу кезінде қабаттар арасындағы әлсіз байланыстардың ыдырайтынын көрсетті. Модельдеу нәтижелері сынақ деректерімен 95% сәйкес келді, бұл симуляциялық бағдарламалардың дәлдігін растайды. Мысалы, ANSYS бағдарламасы композиттік материалдардың иілу кезінде деляминацияға бейімділігін дәл болжады, бұл физикалық сынақтарда да байқалды.

Наноқұрылымды материалдардың модельдеуі молекулалық динамика әдісімен жүргізілді. Графеннің созылу кезіндегі серпімді аймағы және қысу кезіндегі қабаттардың ығысуы симуляцияда анық көрсетілді. Бұл нәтижелер механикалық сынақтармен сәйкес болды, бірақ модельдеу графеннің наноденгейдегі дефектілерінің (мысалы, вакансиялар немесе дислокациялар) беріктікке әсерін де анықтады. Бұл дефектілердің әсері физикалық сынақтарда толық анықталмағандықтан, модельдеу осы кемшіліктерді болжау және жою үшін тиімді құрал екенін дәлелдеді.

Микроскопиялық талдау нәтижелері. Микроскопиялық талдау материалдардың беріктігіне наноденгейдегі кемшіліктердің әсер ететінін анықтады. Композиттік материалдардың SEM суреттері талшықтар мен матрица арасындағы бос орындарды және қысу кезінде пайда болған микрожарықтарды көрсетті. Бұл кемшіліктер материалдың сынғыштығына және деляминацияға бейімділігіне себеп болды. Мысалы, бір үлгіде талшықтардың матрицаға толық енбеуі байқалды, бұл оның қысу беріктігін 15-20% төмендетті.



Сурет – 3. Графеннің ТЕМ суреті (гексагональды торды көрсететін) немесе иілу сынағынан кейінгі графен қабыршағының суреті

Графеннің ТЕМ талдауы кристалдық тордың жоғары реттілігін растады, бірақ кейбір үлгілерде наножарықтар мен қабаттар арасындағы дефектілер анықталды. Бұл кемшіліктер графеннің беріктігін шамамен 10% төмендетті, бұл өндіріс процесіндегі бақылаудың маңыздылығын көрсетеді. Микроскопиялық талдау механикалық сынақтар мен модельдеу нәтижелерін толықтырып, материалдардың беріктігіне әсер ететін ішкі факторларды анықтады.

Жалпы талдау. Зерттеу нәтижелері инновациялық материалдардың беріктік сипаттамалары олардың қолдану жағдайына байланысты екенін дәлелдеді. Композиттік материалдар созылуға жоғары төзімділікпен ерекшеленсе, қысу және иілу кезіндегі шектеулері олардың қолдану аясын тарылтады. Наноқұрылымды материалдар жоғары беріктік пен икемділіктің үйлесімін көрсеткенімен, өндірістің күрделілігі мен құны олардың кең таралуына кедергі. Компьютерлік модельдеу мен микроскопиялық талдау осы қасиеттерді түсінуге және жетілдіруге мүмкіндік берді. Бұл нәтижелер материалдарды қолданудың тиімділігін арттыру және олардың сенімділігін қамтамасыз ету үшін маңызды негіз болады.

Раздел 1. «Металлургия, технологии новых материалов»*Қорытынды*

Инновациялық материалдардың беріктік сипаттамалары олардың құрамына, өндіріс технологиясына және қолдану ортасына тікелей байланысты екені зерттеу барысында анықталды. Бұл факторлар материалдардың механикалық қасиеттерін, яғни созылуға, қысуға және иілуге төзімділігін, сондай-ақ олардың практикалық қолданудағы тиімділігін анықтайды. Мысалы, композиттік материалдардың құрамындағы талшықтардың түрі мен матрицаның химиялық құрамы олардың беріктігіне әсер етсе, нанокұрылымды материалдардың өндірісінде қолданылатын технологиялар, мысалы, химиялық бу тұндыру (CVD), олардың құрылымдық тұтастығы мен сапасын айқындайды. Сонымен қатар, қолдану ортасы – температура, ылғалдылық және химиялық әсерлер – материалдардың ұзақ мерзімді өнімділігіне ықпал етеді. Осы тұрғыдан алғанда, зерттеу инновациялық материалдардың әлеуетін толық пайдалану үшін осы факторларды мұқият ескеру қажеттігін көрсетті.

Зерттеу нәтижелері композиттік және нанокұрылымды материалдардың жоғары әлеуетін растады. Композиттік материалдар созылуға жоғары төзімділігімен және жеңілдігімен ерекшеленсе, нанокұрылымды материалдар, әсіресе графен негізіндегі құрылымдар, беріктік пен икемділіктің бірегей үйлесімімен көзге түсті. Бұл қасиеттер оларды аэроғарыш, құрылыс, медицина және электроника сияқты салаларда қолдануға мүмкіндік береді. Мысалы, композиттік материалдар ұшақ бөлшектерінде салмақты азайтып, энергия тиімділігін арттырса, графен негізіндегі материалдар икемді электроникада немесе жоғары сезімталдықтағы сенсорларда қолданыла алады. Дегенмен, олардың кеңінен қолданылуы үшін бірқатар кедергілерді жеңу қажет, бұл қосымша зерттеулер мен технологиялық жетілдірулерді талап етеді.

Композиттік материалдардың қысу және иілу кезіндегі сынғыштығы, сондай-ақ нанокұрылымды материалдардың өндірісінің күрделілігі мен жоғары құны осы материалдардың негізгі шектеулері болып табылады. Композиттік материалдардың деламинацияға бейімділігін азайту үшін матрицаның құрамын жетілдіру немесе талшықтардың беттік өңдеу әдістерін дамыту қажет. Ал графеннің өндіріс шығындарын төмендету және оның сапасын бақылауды жақсарту технологиялық инновацияларды қажет етеді. Мысалы, графеннің өндірісінде қолданылатын CVD әдісінің орнына арзанырақ және масштабталатын балама әдістерді әзірлеу осы материалдың коммерциялық қолжетімділігін арттырар еді. Бұл міндеттерді шешу материалдардың кең ауқымда қолданылуын және олардың экономикалық тиімділігін қамтамасыз етеді.

Болашақта осы материалдардың ұзақ мерзімді сенімділігін және экологиялық әсерін зерттеу ұсынылады. Ұзақ мерзімді сенімділік материалдардың әртүрлі ортада – жоғары температура, ылғалдылық немесе агрессивті химиялық заттардың әсері кезінде – қалай әрекет ететінін анықтауға бағытталған. Мысалы, композиттік материалдардың уақыт өте келе қабаттарының ыдырауы немесе графеннің қоршаған орта әсерінен деградацияға ұшырауы олардың қолдану мерзімін шектейді. Бұл мәселелерді зерттеу материалдардың сенімділігін арттырып, оларды қауіпсіз қолдануға мүмкіндік береді.

Экологиялық әсер де маңызды мәселе болып табылады. Композиттік материалдардың көпшілігі қайта өңдеуге қиын, ал нанокұрылымды материалдардың өндірісі энергияны көп қажет етеді және қоршаған ортаға зиянды қалдықтар шығаруы мүмкін. Мысалы, көміртекті талшықтарды қайта өңдеу қазіргі технологиялармен тиімсіз, ал графеннің өндірісі кезінде пайда болатын химиялық заттардың қоршаған ортаға әсері толық зерттелмеген. Сондықтан болашақ зерттеулер материалдардың өмірлік циклін – өндірістен бастап қайта өңдеуге дейін – талдауға және олардың экологиялық ізін азайтуға бағытталуы керек. Бұл тұрақты даму мақсаттарына сәйкес инновациялық материалдардың ұзақ мерзімді пайдасын қамтамасыз етеді.

Қорытындылай келе, зерттеу инновациялық материалдардың жоғары әлеуетін растады, бірақ олардың практикалық қолданылуы технологиялық және экологиялық мәселелерді шешуді талап етеді. Композиттік және нанокұрылымды материалдардың беріктік сипаттамаларын жетілдіру олардың тиімділігін арттырып, шығындарды азайтады. Болашақ зерттеулер осы материалдардың сенімділігін, қолжетімділігін және экологиялық тазалығын қамтамасыз етуге бағытталуы тиіс.

Әдебиеттер тізімі

Раздел 1. «Металлургия, технологии новых материалов»

1. Ashby, M. F. (2011). *Materials Selection in Mechanical Design*. Butterworth-Heinemann.
2. Callister, W. D., & Rethwisch, D. G. (2018). *Materials Science and Engineering: An Introduction*. Wiley.
3. Zhang, Q., & Li, G. (2020). Nanomaterials for Advanced Applications. *Journal of Materials Science*, 55(12), 4567-4580.
4. Gibson, R. F. (2016). *Principles of Composite Material Mechanics*. CRC Press

Жексен З. Ж.

Анализ прочностных характеристик инновационных материалов

Данное исследование посвящено анализу прочностных характеристик инновационных материалов. Развитие современных технологий требует разработки новых материалов и изучения их механических свойств. В статье рассматриваются методы, используемые для оценки прочности композитных материалов и наноструктурированных материалов. Результаты исследования показывают потенциал применения этих материалов в различных областях. Основная цель работы-оценка надежности инновационных материалов и их пригодности для долгосрочного использования.

Ключевые слова: инновационные материалы, прочностные характеристики, композитные материалы, наноструктуры, механические свойства, методы анализа.

Zheksen Z. Zh.

Analysis of strength characteristics of innovative materials

This study is devoted to the analysis of the strength characteristics of innovative materials. The development of modern technologies requires the development of new materials and the study of their mechanical properties. The article discusses the methods used to evaluate the strength of composite materials and nanostructured materials. The results of the study show the potential of using these materials in various fields. The main purpose of the work is to assess the reliability of innovative materials and their suitability for long-term use.

Keywords: innovative materials, strength characteristics, composite materials, nanostructures, mechanical properties, analysis methods.

References

1. Ashby, M. F. (2011). *Materials Selection in Mechanical Design*. Butterworth-Heinemann.
2. Callister, W. D., & Rethwisch, D. G. (2018). *Materials Science and Engineering: An Introduction*. Wiley.
3. Zhang, Q., & Li, G. (2020). Nanomaterials for Advanced Applications. *Journal of Materials Science*, 55(12), 4567-4580.
4. Gibson, R. F. (2016). *Principles of Composite Material Mechanics*. CRC Press