

Металлургия, жаңа материалдар технологиясы

DOI: <https://doi.org/10.53002/088>

ANALYSIS OF STRENGTH CHARACTERISTICS OF INNOVATIVE MATERIALS

Zheksen Z. Zh.

Yessenov university, Aktau, Kazakhstan

**Corresponding author e-mail: zulpina_zh@mail.ru*

Author information:

Zheksen Zulpina Zheksenovna, Yessenov University, Aktau, Kazakhstan, e-mail: zulpina_zh@mail.ru

Abstract — This article provides an overview of the design features and electric drive of existing hot rolling flying shears, which is the basis of the doctoral thesis “Automation of the rolling cutting process on hot rolling flying shears”. The article presents the main task of rolling production, the purpose and technical requirements for the design and electric drive of flying shears. The designs and electric drive of existing flying shears are considered. There are the following main types of flying shears: drum, crank, swing, pendulum, and planetary. Three types of motors are also considered: asynchronous motor, synchronous motor, and DC motor, which would meet the technical requirements for this technological mechanism. A study of the design and electric drive of flying shears has shown a number of advantages and disadvantages. An analysis of the results of the study showed that the best choice is a pair of drum shears. Since the drums rotate evenly at a constant speed and the rotating masses are fully balanced, they allow cutting at significantly higher speeds than other types of shears. An independently actuated DC motor was chosen as the electric drive of the flying shears, as it has a large control range, smoothness, efficiency, speed stability, load tolerance at various speeds, and rigidity of the mechanical characteristics that meet the technical and technological requirements for the electric drive.

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

ИННОВАЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ИХ СВОЙСТВА

Жексен З. Ж.

«Ш. Есенов атындағы Каспий мемлекеттік технологиялар және инженеринг университеті» КеАҚ, Ақтау, Қазақстан

**Автор-корреспондент e-mail: zulpina_zh@mail.ru*

Автор туралы ақпарат:

Жексен Зүлфина Жексенқызы, «Ш. Есенов атындағы Каспий мемлекеттік технологиялар және инженеринг университеті», Ақтау, Қазақстан, e-mail: zulpina_zh@mail.ru

Аңдатпа — Бұл мақалада ыстықтай илемдеу өндірісінде қолданылатын қолданыстағы ұшқыш қайшылардың (летучие ножницы) конструкциялық ерекшеліктері мен электр жетегіне шолу жасалған. Аталған зерттеу «Ыстықтай илемдеу өндірісіндегі ұшқыш қайшыларда кесу процесін автоматтандыру» тақырыбындағы докторлық диссертацияның негізін құрайды. Мақалада илемдеу өндірісінің негізгі міндеттері, ұшқыш қайшылардың тағайындалуы, олардың конструкциясы мен электр жетегіне қойылатын техникалық талаптар қарастырылған. Сондай-ақ қолданыстағы ұшқыш қайшылардың конструкциялары мен электр жетектеріне талдау жүргізілген. Ұшқыш қайшылардың негізгі түрлері ретінде барабанды, иінді-бұлғақты, тербелмелі, маятникті және планетарлық қайшылар қарастырылған. Сонымен қатар осы технологиялық механизмнің техникалық талаптарына сәйкес келетін үш түрлі қозғалтқыш – асинхронды қозғалтқыш, синхронды қозғалтқыш және тұрақты ток қозғалтқышы талданған. Ұшқыш қайшылардың конструкциясы мен электр жетегін зерттеу олардың бірқатар артықшылықтары мен кемшіліктерін анықтауға мүмкіндік берді. Зерттеу нәтижелерін талдау көрсеткендей, ең тиімді шешім ретінде жұп барабанды қайшылар таңдалды. Себебі барабандар тұрақты жылдамдықпен бірқалыпты айналады және айналмалы массалар толық теңгерілген, бұл басқа қайшы түрлерімен салыстырғанда айтарлықтай жоғары жылдамдықта кесу операциясын орындауға мүмкіндік береді. Ұшқыш қайшылардың электр жетегі ретінде тәуелсіз қоздыруы бар тұрақты ток қозғалтқышы таңдалды, өйткені ол кең ауқымды жылдамдықты реттеу мүмкіндігімен, бірқалыпты жұмысымен, жоғары тиімділігімен, айналу

жылдамдығының тұрақтылығымен, әртүрлі жылдамдықтардағы жүктемелерге төзімділігімен және механикалық сипаттамаларының жоғары қатаңдығымен ерекшеленеді. Бұл қасиеттер электр жетегіне қойылатын техникалық және технологиялық талаптарға толық сәйкес келеді.

Түйін сөздер — инновациялық материалдар, беріктік сипаттамалары, композиттік материалдар, нанокұрылымдар, механикалық қасиеттер, талдау әдістері.

АНАЛИЗ ПРОЧНОСТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ИННОВАЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

Жексен З. Ж.

НАО «Каспийский университет технологий и инжиниринга имени Ш.Есенова», Актау, Казахстан

*Автор-корреспондент e-mail: zulpina_zh@mail.ru

Информация об авторе:

Жексен Зүлфина Жексенқызы, НАО «Каспийский университет технологий и инжиниринга имени Ш.Есенова», Актау, Казахстан, e-mail: zulpina_zh@mail.ru

Аннотация — В данной статье представлен обзор конструктивных особенностей и электропривода существующих летучих ножниц горячей прокатки, который является основой докторской диссертации “Автоматизация процесса резки прокаткой на летучих ножницах горячей прокатки”. В статье представлены основные задачи прокатного производства, назначение и технические требования к конструкции и электроприводу летучих ножниц. Рассмотрены конструкции и электропривод существующих летучих ножниц. Существуют следующие основные типы летающих ножниц: барабанные, кривошипно-шатунные, качающиеся, маятниковые и планетарные. Также рассматриваются три типа двигателей: асинхронный двигатель, синхронный двигатель и двигатель постоянного тока, которые удовлетворяли бы техническим требованиям к этому технологическому механизму. Исследование конструкции и электропривода летающих ножниц показало ряд преимуществ и недостатков. Анализ результатов исследования показал, что лучшим выбором является пара барабанных ножниц. Поскольку барабаны вращаются равномерно с постоянной скоростью, а вращающиеся массы полностью сбалансированы, они позволяют выполнять резку на значительно более высоких скоростях, чем другие типы ножниц. В качестве электропривода летающих ножниц был выбран двигатель постоянного тока с независимым приводом, поскольку он обладает большим диапазоном регулирования, плавностью хода, эффективностью, стабильностью скорости, устойчивостью к нагрузкам на различных скоростях и жесткостью механических характеристик, которые отвечают техническим и технологическим требованиям, предъявляемым к электроприводу.

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

НЕГІЗГІ ЕРЕЖЕЛЕР

Зерттеу барысында композиттік материалдардың созылу кезіндегі жоғары беріктігімен қатар, қысу және иілу жүктемелері әсерінен деламацияға бейімділігі анықталды. Графен негізіндегі нанокұрылымды материалдардың жоғары беріктік пен серпімділік қасиеттерін бір мезгілде қамтамасыз ететіні эксперименттік түрде дәлелденді. Материалдардың механикалық қасиеттерін бағалауда механикалық сынақтарды, микроскопиялық талдауды және компьютерлік модельдеуді кешенді қолдану нәтижелердің сенімділігін арттырды. Компьютерлік модельдеу нәтижелерінің эксперименттік деректермен жоғары сәйкестігі ұсынылған зерттеу әдісінің тиімділігі мен қолданбалы әлеуетін растады.

КІРІСПЕ

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 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 айналууда.

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 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.

Зерттеудің маңыздылығы. Қазіргі уақытта жоғары беріктігі, жеңілдігі және ұзақ пайдалану мерзімімен ерекшеленетін инновациялық материалдарға сұраныс қарқынды өсуде. Осыған байланысты олардың механикалық қасиеттерін дәл бағалау және сенімді пайдалану шарттарын анықтау маңызды ғылыми және практикалық міндеттердің бірі болып табылады. Ұсынылған зерттеу нәтижелері композиттік және наноқұрылымды материалдарды аэроғарыш, машина жасау, құрылыс, энергетика және медицина салаларында тиімді пайдалануға ғылыми негіз қалыптастырады. Зерттеу барысында қолданылған кешенді бағалау әдістемесі материалдардың сенімділігін арттыруға, олардың конструкциялық мүмкіндіктерін кеңейтуге және жаңа буындағы жоғары беріктікті материалдарды әзірлеуге негіз бола алады. Сонымен қатар алынған нәтижелер инновациялық материалдардың құрылымын жетілдіру, пайдалану мерзімін ұлғайту және өндірістік шығындарды төмендетуге бағытталған кейінгі ғылыми зерттеулер үшін маңызды

теориялық және тәжірибелік база болып табылады.

Зерттеудің жаңалығы. Зерттеудің ғылыми жаңалығы инновациялық материалдардың беріктік сипаттамаларын бағалауда эксперименттік және сандық модельдеу әдістерінің кешенді түрде қолданылуында. Композиттік және наноқұрылымды материалдардың механикалық қасиеттері өзара салыстырылып, олардың құрылымдық ерекшеліктерінің беріктікке әсері анықталды. Микроскопиялық талдау нәтижелері механикалық сынақтар және компьютерлік модельдеу нәтижелерімен салыстырылып, материалдардың бұзылу механизмдері ғылыми тұрғыдан негізделді. Сонымен қатар графен негізіндегі материалдардың жоғары серпімділігі мен беріктігі олардың болашақ инженерлік құрылымдарда қолдану мүмкіндігін кеңейтетіні көрсетілді.

ӘДІСТЕР МЕН МАТЕРИАЛДАР

Зерттеу барысында инновациялық материалдардың беріктік сипаттамаларын бағалау үшін бірнеше әдіс қолданылды (кесте 1). 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 (сурет 1). 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.

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.

Кесте 1 – Зерттеу әдістері мен олардың параметрлері

Әдіс	Мақса-ты	Қолданылған құралдар	Сынақ шарттары	Зерттелген материалдар
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	Multiphysics	Виртуалды орта (симуляция)	Композиттік материалдар, Графен

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 деламацияға (қабаттардың бөлінуіне) бейімділігі байқалды, ал нанокұрылымды 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 нанодоңғейдегі 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 нанокұрылымды материалдардың атомдық деңгейдегі құрылымын талдауға мүмкіндік берді.

Композиттік материалдардың микроскопиялық талдауы кезінде көміртекті талшықтар мен полимерлі матрица арасындағы байланыстың сапасы зерттелді. SEM суреттері талшықтардың матрицаға толық еңбеген 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

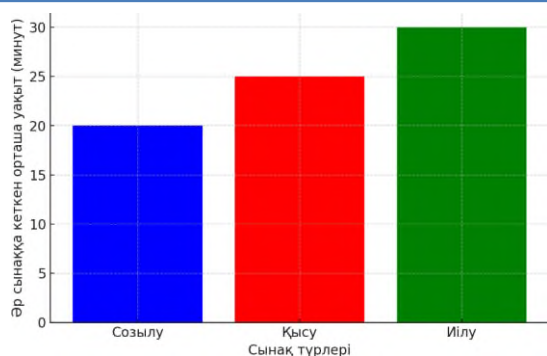
матрицаның химиялық құрамын немесе талшықтардың беттік өңдеуін жетілдіру қажет болуы мүмкін.

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 нанодоңғейдегі 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, 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 наноқұрылымды 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.

НӘТИЖЕЛЕР ЖӘНЕ ТАЛҚЫЛАУ

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 наноқұрылымды 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. Наноқұрылымды 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).

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

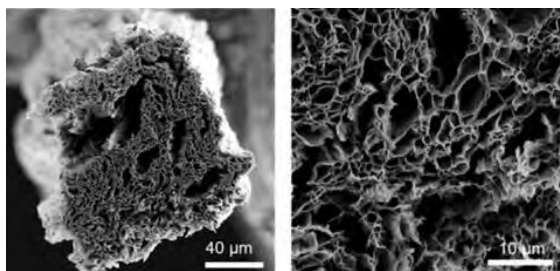
Іілу сынақтары композиттік материалдардың қаттылығы мен икемділігін

бағалауға мүмкіндік берді. Орташа иілу беріктігі 900 МПа шамасында болды, бірақ деламацияға 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.

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

Нанокұрылымды материалдардың беріктік сипаттамалары. Нанокұрылымды 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).



Сурет 2 – Композиттік және графеннің беріктік сипаттамалары

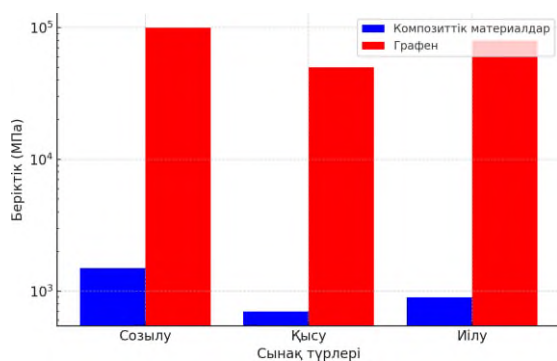
Қысу сынақтарында нанокұрылымды материалдар да жоғары төзімділік көрсетті. Графеннің қабатты құрылымы қысу күшін тиімді таратып, сынғыштықты азайтты. Орташа қысу беріктігі 50 ГПа шамасында болды, бұл композиттік материалдардан бірнеше есе жоғары. Дегенмен, сынақтар кезінде кейбір үлгілерде қабаттардың 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 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 деламацияға бейімділігін дәл болжады, бұл физикалық сынақтарда да байқалды.

Микроскопиялық талдау нәтижелері. Микроскопиялық талдау материалдардың беріктігіне микродеңгейдегі 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 деламацияға бейімділігіне себеп болды. Мысалы, бір үлгіде талшықтардың матрицаға

толық енбеуі байқалды, бұл оның қысу беріктігін 15-20% төмендетті (сурет 3).



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. Нанокұрылымды 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.

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.

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

МҮДДЕЛЕР ҚАҚТЫҒЫСЫ

Автор осы зерттеуді орындау және мақаланы жариялау барысында мүдделер қайшылығы жоқ екенін мәлімдейді.

ҚАРЖЫЛАНДЫРУ

Авторлар осы зерттеуді орындау кезінде сыртқы қаржыландырудың жоқтығын мәлімдейді.

АЛҒЫС

Автор қолжазбаны мұқият қарастырып, мақаланың мазмұны мен сапасын едәуір жақсартуға мүмкіндік берген құнды ескертулері мен ұсынымдары үшін журналдың редакторы мен рецензентіне шынайы алғысын білдіреді.

Авторлық құқық © 2025 автор(лар)ға тиесілі. Бұл мақала Creative Commons Attribution–ShareAlike 4.0 International (CC BY-SA 4.0) лицензиясы бойынша ашық қолжетімді болып табылады. Лицензия түпнұсқа еңбекке тиісті түрде сілтеме жасалған жағдайда, кез келген ортада пайдалануға, таратуға және қайта жариялауға рұқсат береді. Туынды материалдар осы лицензияның дәл осындай шарттарымен таратылуы тиіс.

ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

- [1] S. Kalpakjian and S. R. Schmid, Manufacturing Engineering and Technology, 8th ed. London, U.K.: Pearson, 2023.
- [2] W. D. Callister Jr. and D. G. Rethwisch, Materials Science and Engineering: An Introduction, 10th ed. Hoboken, NJ, USA: Wiley, 2018.
- [3] L. Zhang, “Applications, Challenges and Development of Nanomaterials and Nanotechnology,” Journal of the Chinese Society of Pakistan, vol. 42, no. 5, pp. 658–666, 2020, doi.org/10.52568/000690/JCSP/42.05.2020
- [4] R. F. Gibson, Principles of Composite Material Mechanics, 4th ed. Boca Raton, FL, USA: CRC Press, 2016.

REFERENCES

- [1] S. Kalpakjian and S. R. Schmid, Manufacturing Engineering and Technology, 8th ed. London, U.K.: Pearson, 2023.
- [2] W. D. Callister Jr. and D. G. Rethwisch, Materials Science and Engineering: An Introduction, 10th ed. Hoboken, NJ, USA: Wiley, 2018.
- [3] L. Zhang, “Applications, Challenges and Development of Nanomaterials and Nanotechnology,” Journal of the Chinese Society of Pakistan, vol. 42, no. 5, pp. 658–666, 2020, doi.org/10.52568/000690/JCSP/42.05.2020
- [4] R. F. Gibson, Principles of Composite Material Mechanics, 4th ed. Boca Raton, FL, USA: CRC Press, 2016.