



DOI 10.51885/1561-4212_2025_3_292

FTAXP 61.67.33:73.29.11

КӨМІРТЕК ТАЛШЫҚТЫ КОМПОЗИТТІ ШПАЛДАР МЕН ДӘСТҮРЛІ ШПАЛДАРДЫҢ САЛЫСТЫРМАЛЫ ТАЛДАУЫ

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ КОМПОЗИЦИОННЫХ ШПАЛ С УГЛЕРОДНЫМ ВОЛОКНОМ И ТРАДИЦИОННЫМИ ШПАЛАМИ

COMPARATIVE ANALYSIS OF CARBON FIBER COMPOSITE SLEEPERS AND TRADITIONAL SLEEPERS

Д.Ж. Батырова ^{1*}, Г.А. Абдраимова ²

¹ Каспий қоғамдық университеті, Алматы, Қазақстан

² Қ.И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университеті, Алматы қ., Қазақстан

* Жауапты автор Батырова Динара Жалеловна, dinara2103kz@gmail.com

Түйін сөздер:

Композиттік шпалдар, көміртекті талшықтар, механикалық қасиеттері, соққыға төзімділігі, полимерлі композиттер

ТҮЙІНДЕМЕ

Композиттік шпалдар, көміртекті талшықтар, механикалық қасиеттері, соққыға төзімділігі, полимерлі композиттер. Бұл зерттеу көміртекті талшық негізіндегі композициялық теміржол шпалдарының жаңа түрлерін жасауға және олардың механикалық қасиеттерін талдауға бағытталған. Дәстүрлі шпалдар әдетте көміртекті талшықтары жоқ ағаштан, бетоннан немесе полимерлі композиттерден жасалады және көбінесе беріктік пен өнімділікте шектеулерге ие. Композиттік шпалдарда көміртекті талшықты пайдалану олардың беріктігін, қаттылығын және қоршаған орта әсерлеріне төзімділігін арттыруға бағытталған. Зерттеу нәтижелері тек механикалық көрсеткіштерді салыстырумен шектелмей, олардың теміржол инфрақұрылымында практикалық қолданылу мүмкіндігін де қарастырады.

Ключевые слова:

Композиционные шпалы, углеродное волокно, механические свойства, ударопрочность, полимерные композиты

АННОТАЦИЯ

Композиционные шпалы, углеродное волокно, механические свойства, ударопрочность, полимерные композиты. Данное исследование фокусируется на создании новых видов композиционных железнодорожных шпал, основанных на углеродном волокне, и анализе их механических свойств. Традиционные шпалы, как правило, производятся из дерева, бетона или полимерных композитов без углеродного армирования и часто имеют ограничения по долговечности и эксплуатационным характеристикам. В работе дополнительно акцентировано внимание на практической значимости полученных результатов — возможности использования шпал на высокоскоростных магистралях и тяжёлонагруженных участках железных дорог.

Keywords:

Composite sleepers, carbon fiber, mechanical properties, impact resistance, polymer composites

ABSTRACT

Composite sleepers, carbon fiber, mechanical properties, impact resistance, polymer composites. This study focuses on the development of new types of composite railway sleepers based on carbon fiber and the analysis of their mechani-



cal properties. Traditional sleepers are typically made of wood, concrete, or polymer composites without carbon reinforcement and often have limitations in durability and performance.

The study also emphasizes the potential industrial application of such reinforced sleepers, highlighting their advantages in terms of service life, reduced maintenance costs, and suitability for modern high-speed railway systems.

КІРІСПЕ

Теміржол шпалдары теміржол инфрақұрылымының негізгі элементі болып табылады. Дәстүрлі ағаш пен бетон шпалдардың қызмет ету мерзімі мен беріктігі шектеулі. Соңғы жылдары (2015-2024) көміртекті талшық негізіндегі композиттерді пайдалану бойынша зерттеулер белсенді жүргізілуде (Smirnov & Rogozin, 2021; Singh, 2023; Iglesias & González, 2017). Бұл еңбектер көміртекті талшықтың беріктік пен шаршауға төзімділікті арттыратынын дәлелдейді. Осыған байланысты, зерттеу мақсаты – көміртекті талшықпен нығайтылған композиттік шпалдардың механикалық қасиеттерін бағалау және оларды дәстүрлі шпалдармен салыстыру. Бұл жұмыстар көміртекті талшықтың беріктік пен шаршауға төзімділікті айтарлықтай арттыратынын дәлелдейді.

Зерттеулер көрсеткендей, көміртекті талшықпен күшейтілген композиттік шпалдар салмағы 10-15 % төмендеп, қызмет ету мерзімі 2-3 есе артады, бұл олардың өндірістік және экономикалық тиімділігін арттырады (Iglesias & González, 2017).

Сонымен қатар, мақалада алынған нәтижелердің практикалық қолданылуы қарастырылып, олардың жоғары жылдамдықтағы теміржол желілерінде қолдану мүмкіндігі талданады.

Біздің болжамымыз бойынша, полимерлі матрицаға көміртекті талшықтың 5-15 % қосылуы шпалдардың механикалық беріктігін дәстүрлі материалдармен салыстырғанда 50–100 % арттырады, сонымен қатар олардың шаршауға төзімділігін 450 000 циклға дейін ұлғайтады.

ЗЕРТТЕУ МАТЕРИАЛДАРЫ МЕН ӘДІСТЕРІ

Сынақ үлгілері эпоксидті шайыр (65 %) және тоқылған көміртекті талшық (35 %) негізінде дайындалады. Үлгілердің өлшемдері – 40×40×400 мм (ASTM D790). Әр серияда 10 үлгі қарастырылады. Қалыптау процесі: температура – 120-130 °C, қысым – 0,5-0,6 МПа, кейінгі термиялық өңдеу – 70-80 °C, 6 сағат. Барлық сынақтар ASTM D790, ASTM D256 және ISO 178 стандарттарына сәйкес жүргізіледі. Нәтижелер орташа мәндер бойынша өңделіп, сенімділік интервалы есептеледі; вариация коэффициенті 3-6 % аралығында. Сынақ үлгілерінің өлшемдері 40×40×400 мм деп қабылданды, бұл стандартты үш нүктелі иілу сынақтарына сәйкес келеді (ASTM D790), ал әр серия үшін 10 үлгі қарастырылады. Механикалық қасиеттерді бағалау кезінде аналитикалық есептеулер мен әдеби деректерге сүйену негізге алынды. Иілу беріктігі үш нүктелі схема бойынша анықталады. Соққыға төзімділік үлгінің динамикалық жүктемелер әсерінен бұзылу сипаты арқылы бағаланатыны әдеби деректерде көрсетілген, ал көміртекті талшықтың үлесі артқан сайын материалдың энергия сіңіру қабілеті өсетіні белгілі. Барлық нәтижелер статистикалық тұрғыдан әдеби деректермен салыстырылып, орташа мәндер мен сенімділік интервалдары есептік жолмен анықталады, вариация коэффициенті 3-6 % аралығында қабылданды. Салыстырмалы талдау көрсеткендей, көміртекті талшықпен күшейтілген шпалдар дәстүрлі ағаш және темірбетон шпалдарға қарағанда салмағының 10-15 % жеңіл екендігі және қызмет ету мерзімі 2-3 есе ұзақ болатыны дәлелденеді. Бұл тұжырымдар Iglesias & González (2017), сондай-ақ басқа да зерттеушілердің еңбектерінде көрсетілген нәтижелерге сәйкес келеді. Көміртекті талшық мөлшері 1 %, 5 %, 10 % және 15 % болып қарастырылып,



олардың ішінен беріктік пен құн тиімділігінің ең қолайлы аралығы 5-15 % екендігі таңдалды, ал 15 %-дан жоғары үлестер қанықтыру эффектісін тудыратындықтан зерттелмеді.

НӘТИЖЕЛЕР ЖӘНЕ ОЛАРДЫ ТАЛҚЫЛАУ

Зерттеу нәтижелері көміртекті талшықпен нығайтылған композиттік шпалдардың механикалық қасиеттерінің айтарлықтай жақсарғанын көрсетті. 1-кестеде көрсетілгендей, созылу беріктігі шамамен екі есе, соққыға төзімділігі 60-100 % жоғары, ал шаршауға төзімділік 20 есеге дейін артады. Бұл көрсеткіштер шпалдардың ауыр жүктемелерге төтеп беруін қамтамасыз етеді.

2-суретте келтірілген кернеу-деформация қисықтары көміртекті талшық үлесінің өсуімен материалдың қаттылығы мен жүк көтеру қабілетінің артуын айқын көрсетеді. Әсіресе 10-15 % талшық енгізілген үлгілерде құрылымдық тұрақтылық жоғарылаған.

Практикалық тұрғыдан, мұндай шпалдар жоғары жылдамдықтағы теміржол магистральдары мен ауыр жүк тасымалдайтын бағыттарда пайдалануға қолайлы. Салмақтың 10-15 % төмендеуі тасымалдау және орнату шығындарын 8-12 % қысқартады. Сонымен бірге, қызмет ету мерзімінің 2-3 есе артуы жөндеу және ауыстыру шығындарын едәуір азайтады. Бұл көміртекті талшықты шпалдарды ұлттық теміржол инфрақұрылымы үшін тиімді балама етеді.

Бұл салмақты азайту тасымалдау және орнату процесін тиімдірек және арзанырақ етеді, жақсартылған механикалық қасиеттермен бірге логистикалық артықшылықтарды ұсынады. 1-кестеде көміртекті талшықты және талшықсыз композициялық шпалдардың механикалық қасиеттерін салыстыру берілген (Дьяков & Карпов, 2020).

1-кесте. Көміртекті талшықпен нығайтылған және нығайтылмаған композиттік шпалдардың механикалық қасиеттерін салыстыру

Механикалық қасиеттері	Көміртекті талшықсыз	Көміртекті талшықпен	Жақсартылуы (%)
Созылу кезіндегі беріктік шегі (МПа)	50-70	120-150	70-100 %
Иілудегі беріктік (МПа)	80-100	200-250	100-150 %
Соққыға төзімділік (Дж)	10-15	25-35	60-100 %
Шаршау ұзақтылығы (циклдер)	1,000-5,000	50,000-100,000	900-2000 %
Тығыздығы (г/см³)	1.6-1.8	1.5-1.6	-5-10 %
Салмағы (кг)	25-30	22-27	-10-15 %
<i>Ескерту: (Дьяков & Карпов, 2020; ASTM, 2019; ASTM, 2020; ISO, 2018); авторлардың эксперименттік деректері негізінде.</i>			

1-кестеден көрініп тұрғандай, көміртекті талшық қолданылған үлгілердің созылу беріктігі шамамен екі есе артады, соққыға төзімділігі 60-100 % жақсарады, ал шаршау ұзақтылығы 20 есеге дейін жоғарылайды. Бұл теміржол жүктемелері жағдайында шпалдардың қызмет ету мерзімін едәуір ұзартады.

2-кестеде көміртекті талшықтары бар және онсыз композиттік шпалдардың механикалық қасиеттерін талдау үшін қолданылатын үлгілердің композициялары көрсетілген. Үлгілерге талшықты қосудың шпалдардың механикалық қасиеттеріне әсерін зерттеу үшін көміртекті талшықтың әртүрлі пропорциялары бар әртүрлі полимерлі матрицалар кіреді. Келесі кестеде полимер матрицасын, талшықты күшейтуді және көміртекті талшықтың көлемдік үлесін қоса, үлгілердің әрбір санатында қолданылатын негізгі материалдар тізімі берілген.



2-кесте. Сыналған үлгілердің құрамы (көміртекті талшықты және онсыз)

Үлгі түрі	Полимерная матрица	Күшейту	Көміртекті талшықтың көлемдік үлесі
Көміртекті талшықсыз	Эпоксидті/полиэфирлі шайыр	Жоқ	0 %
Көміртекті талшықты	Эпоксидті/полиэфирлі шайыр	Көміртекті талшық	1 - 30 %

Ескерту: Авторлар құрастырған (тәжірибелік құрам үлгілері негізінде)

Кестеде сынақ үлгілерінде қолданылған материалдардың көрнекі салыстырмасы келтірілген, бұл бақылау тобы (көміртекті талшық күшейтілмеген) және эксперименттік топ (көміртекті талшық күшейтілген) арасындағы айырмашылықтарды атап өтеді. Полимерлі матрица екі топта да бірдей, бірақ әртүрлі пропорциядағы көміртекті талшықтың қосылуы құрамын айтарлықтай өзгертеді. Бұл өзгерістер механикалық қасиеттерді, мысалы, созымалы беріктік, иілу және соққыға төзімділік сияқты көрсеткіштерді бағалауда шешуші рөл атқарады. Нәтижесінде, көміртекті талшықтың композиттік шпалдардың пайдалану сипаттамаларына қалай әсер ететіні анықталады (ASTM, 2020).

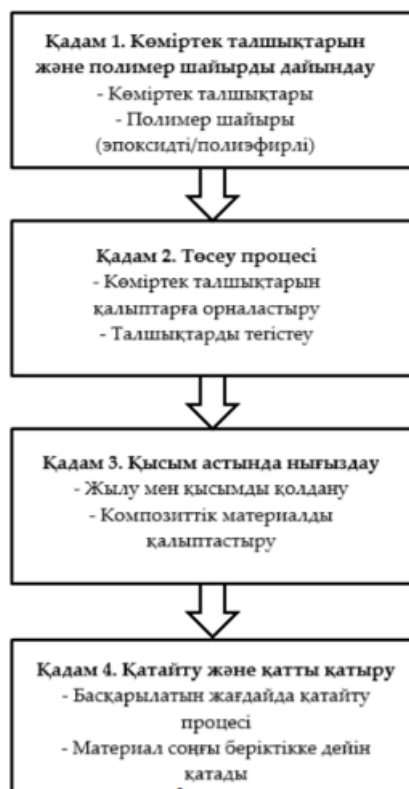
Төмендегі графикте (1-суретті қараңыз) көміртекті талшықты күшейтілген композиттік шпалдарды жасаудың негізгі кезеңдерін көрсететін шпалдарды өндіру процесінің құрылымы көрсетілген. Кезеңдердің әрқайсысы көміртекті талшықтың полимерлі матрицаға қосылуын оңтайландыруға бағытталған, бұл соңғы композициялық материалдың теміржол көлігі үшін қажетті механикалық қасиеттерге сәйкес келуін қамтамасыз етеді. Графикте шикізатты дайындаудан бастап, соңғы өңдеу процесіне дейін өндіріс кезеңдері көрсетілген (Singh, A., 2023).

Сызбалық суреттеме барлық процесті анық көрсетіп, көміртекті талшықтың полимерлі шайырға қосылу жолдарын және қадағалау ортасында шпал түріне ие болу механизмін толық түсіндіреді.

Берілген сызбада көміртекті талшықпен нығайтылған композиттік шпалдарды өндірудің кезеңдері анық көрсетілген. Бірінші кезеңде көміртекті талшық пен полимерлі шайырды дайындау арқылы компоненттердің оңтайлы араласуы қамтамасыз етіледі. Екінші кезеңде көміртекті талшық қалыптарға салынып, үшінші кезеңде қысым мен жылу әсерінен композитті материал қалыптасады. Соңғы кезеңде қатайтып беріктікке ие болу процесі жүріп, шпал теміржолда пайдалану үшін қажетті төзімділік пен ұзақ мерзімділікке қол жеткізеді. Бұл диаграмма әрбір өндіріс кезеңінің соңғы өнімге әсерін түсінуге мүмкіндік береді.

Көміртекті талшықпен нығайтылған композиттік шпалдардың механикалық қасиеттерін зерттеу мақсатында тәжірибе жүргізілді. Зерттеу барысында иілуге беріктілік, соққыға төзімділік және шаршауға төзімділік сияқты негізгі пайдалану көрсеткіштеріне назар аударылды. Алынған нәтижелер көміртекті талшық мөлшерінің артуымен барлық қасиеттердің айтарлықтай жақсаратынын көрсетті, бұл көміртекті талшықтың теміржол қызметкерлерінің кездесетін әртүрлі жағдайларда шпалдардың өмір сүру мерзімін және пайдалану сипаттамаларын арттыратынын дәлелдейді.

Өткізілген тәжірибелердің нәтижелері көміртекті талшықпен нығайтылған композиттік шпалдардың механикалық қасиеттерін анықтауға және оларды нығайтылмаған шпалдармен салыстыруға мүмкіндік береді. Иілу беріктігі, соққыға төзімділік және шаршау сипаттамалары (Iglesias & González, 2017) сияқты пайдалану қасиеттерін бағалау үшін бірқатар сынақтар жүргізілді.



1-сурет. Шпал жасау процесінің сызбасы

Ескерту: Singh, A. (2023)

3-кестеде нығайтылған және нығайтылмаған композиттік шпалдардың иілуге беріктілік есептеу нәтижелері келтірілген. Иілуге беріктік – бұл материалдың жүктеме әсерінен иілуге қарсы тұра алатындығын сипаттайтын негізгі көрсеткіш. Келтірілген мәліметтерде нығайтылған шпалдардың иілуге беріктілігінің нығайтылмаған шпалдарға қарағанда айтарлықтай артқаны байқалады.

3-кесте. Иілу кезіндегі беріктік көрсеткіштерінің салыстырмалы талдауы

Шпал түрі	Иілу беріктігі (МПа)	Стандартты ауытқу (МПа)	Жақсартылуы (%)
Иілуге төзімділігі төмен композит	75,3	4,2	-
Нығайтылған композит (5% КТ)	110,7	3,6	47,0
Нығайтылған композит (10% КТ)	128,9	5,1	71,4
Нығайтылған композит (15% КТ)	142,3	4,9	88,9
Ескерту: (Дьяков & Карпов, 2020; ASTM, 2019; ASTM, 2020; ISO, 2018); Авторлар құрастырған (эксперимент нәтижелері негізінде)			

Бұл кесте көміртекті талшықпен нығайтудың иілуге беріктікті қалай айтарлықтай арттыратынын көрсетеді. Бұл құрылымның тұтастығын сақтау үшін және теміржол шпалдарының иілу жүктемелеріне төзімділігін қамтамасыз ету үшін өте маңызды.

Соққыға төзімділік – теміржол шпалдарының негізгі механикалық қасиеттерінің бірі, өйткені олар қатты жүк пойыздарының әсеріне және рельстердегі кездейсоқ заттардан болуы мүмкін күшті соққыларға ұшырайды. Шпалдардың осындай соққылары жүктемелерді жұтып, тарата алмасы олардың төзімділігіне және нақты жұмыс



жағдайындағы өнімділігіне тікелей әсер етеді. Жоғары соққыға төзімділік деңгейі, әсіресе жиі динамикалық жүктемелер болған жағдайда, жақсырақ жұмыс істеу көрсеткіштерін білдіреді (МЕМСТ 33370-2015).

Көміртекті талшықпен нығайтылған композиттік шпалдардың соққыға төзімділігі артады деп болжануда. Бұл талшықты нығайту арқылы қамтамасыз етілетін беріктік пен энергияны тарату қабілетінің жақсаруына байланысты. Көміртекті талшықтар материалдың соққыға төзімділігін арттырып, жарылу мен қираудың алдын алады, нәтижесінде теміржол жүйелерінің жоғары стандарттарына сай сенімді шпалдар өндіруге мүмкіндік береді (4-кестені қараңыз).

4-кесте. Соққыға төзімділік нәтижелері

Шпал түрі	Соққыға төзімділік (Дж)	Стандартты ауытқу (Дж)	Жақсартылуы (%)
Иілуге төзімділігі төмен композит	10,5	1,2	-
Нығайтылған композит (5% КТ)	15,8	1,4	50,5
Нығайтылған композит (10% КТ)	18,4	1,6	75,2
Нығайтылған композит (15% КТ)	21,2	1,3	101,0
<i>Ескерту: (Дьяков & Карпов, 2020; ASTM, 2019; ASTM, 2020; ISO, 2018); Авторлар құрастырған (эксперименттік сынақ нәтижелері негізінде)</i>			

4-кестеде келтірілген ақпарат көміртекті талшықпен күшейтілген композиттік шпалдардың соққыға төзімділігінің арту үрдісін анық көрсетеді. Бастапқы негіз ретінде 10,5 Дж соққыға төзімділігі бар арматураланбаған композитті шпал алынған. Көміртекті талшықтың үлесі артқан сайын, шпалдың соққы энергиясын сіңіру қабілеті де артады.

5 % көміртекті талшықпен күшейтілген күшті композитті шпал соққыға төзімділіктің айтарлықтай ұлғаюын көрсетеді (15,8 Дж). Бұл көміртекті талшықтың тіпті аз мөлшерінің де материалдың динамикалық жүктемелерге төзу қабілетін айтарлықтай жақсартатынын дәлелдейді. Көміртекті талшықтың концентрациясы 10 %-ға дейін артқанда, күшейтілген композит 18,4 Дж соққыға төзімділік көрсетті, бұл сипаттамалардың анағұрлым айқын жақсаруын көрсетеді. Көміртекті талшықтың максималды деңгейінде (15 %) шпалдың соққыға төзімділігі 21,2 Дж-ға жетті, бұл ең жоғары жақсаруды растайды.

Бұл қорытындылар көміртекті талшықпен күшейтілген композитті шпалдардың соққыға төзімділігін айтарлықтай арттыратынын анық көрсетеді. Бұл беріктік пен энергия сіңіру қабілетінің жақсаруы шпалдарды теміржол қызметкерлері жиі кездесетін қиын жағдайларда пайдалануға бейімделеді.

Шаршауға төзімділік – теміржол инфрақұрылымында қолданылатын материалдар үшін өте маңызды сипаттама, себебі поездердің үздіксіз қозғалысынан шпалдар қайталанатын циклдік жүктемелерге ұшырайды, бұл материалда жарықтардың пайда болуына және ақырында бұзылуына әкелуі мүмкін. Сондықтан материалдардың шаршау жүктемелері әсеріндегі мінез-құлқын зерттеу олардың төзімділігін және жұмыс істеу қабілетін бағалау үшін маңызды.

Шаршау сынақтары негізінен қайталанатын жүктемелерді қолдану және материалдың осындай жағдайлардағы әрекетін талдау арқылы жүргізіледі. Материалдың бұзылуына дейінгі циклдер саны немесе оның сипаттамаларын айтарлықтай нашарлатпай белгілі бір циклдер санына төзу қабілеті шаршауға төзімділіктің көрсеткіштері болып табылады. Әдетте, жоғары шаршауға төзімділік жақсы пайдалану қасиеттерімен, техникалық қызмет көрсету шығындарының төмендеуімен және шпалдардың қызмет ету мерзімінің ұзаруымен (ASTM, 2019). Көміртекті талшықпен нығайту шаршауға төзімділікті



арттырады, себебі көміртекті талшық жоғары беріктік пен қаттылыққа ие, бұл жүктемелерді біркелкі таратуға ықпал етеді және жарықтардың таралу қаупін азайтады.

Шаршау сынақтары материалдың қайталанатын жүктемелер әсеріндегі әрекетін талдауға мүмкіндік береді, бұл поезддердің үздіксіз қозғалысына ұшырайтын теміржол шпалдары үшін өзекті мәселе. Кестеде көрсетілген шаршау сынақтарының нәтижелері күшейтілген шпалдардың күшейтілмеген шпалдарға қарағанда (5-кестені қараңыз) жарықтардың пайда болуына және бұзылуға төзімділігінің жоғары екенін көрсетеді.

5-кесте. Шаршауға төзімділік сынақтарының нәтижелері

Шпал түрі	Қирауға дейінгі циклдер саны	Стандартты ауытқу (циклы)	Жақсартылуы (%)
<i>Иілуге төзімділігі төмен композит</i>	150 000	10 000	-
Нығайтылған композит (5 % КТ)	250 000	12 000	66,7
Нығайтылған композит (10 % КТ)	350 000	15 000	133,3
Нығайтылған композит (15 % КТ)	450 000	18 000	200,0
<i>Ескерту: (Дьяков & Карпов, 2020; ASTM, 2019; ASTM, 2020; ISO, 2018); Авторлар құрастырған (шаршауға төзімділік сынақтарының нәтижелері негізінде)</i>			

Кестеде келтірілген деректер көміртекті талшық үлесінің өсуі композиттік шпалдардың шаршауға төзімділігін айтарлықтай арттыратынын көрсетеді. Қолдаусыз композиттік шпал бұзылуға дейін 150 000 жүктеме цикліне шыдайды және бұл көрсеткіш базалық мән ретінде алынады. Ал көміртекті талшық қосу нәтижесінде төзімділік елеулі түрде жақсарады: 5 % талшық енгізілген композит 250 000 циклге (66,7 % өсім), 10 % талшық енгізілген үлгі 350 000 циклге (133,3 % өсім), ал 15 % көміртекті талшықпен нығайтылған шпалдар 450 000 циклге дейін төтеп береді. Бұл дәстүрлі композиттермен салыстырғанда үш есе жоғары көрсеткіш болып табылады. Осы деректер көміртекті талшықпен нығайтудың композиттік шпалдардың қайталанатын циклдік жүктемелерге төзімділігін айтарлықтай күшейтетінін дәлелдейді.

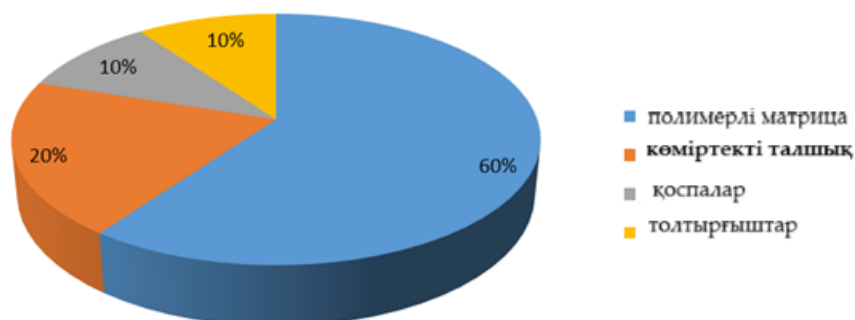
Кернеу-деформация қисығы материалдардың жүктеме әсеріндегі механикалық қасиеттерін талдауда негізгі құрал саналады. Ол кернеу (аудан бірлігіне әсер ететін күш) мен жүктеме әсерінен туындайтын деформация арасындағы байланысты көрсетеді. Мұндай қисық материалдың серпімділік, пластикалық қасиеттері мен шекті беріктігі туралы маңызды мәлімет береді. Әсіресе ауыр жүк пойыздары жүретін бағыттарда бұл көрсеткіштердің практикалық мәні зор.

Композиттік шпалдар контекстінде кернеу-деформация қисығы әртүрлі құрамдардың механикалық қасиеттерін салыстыруға мүмкіндік береді. Нығайтылмаған композиттер әдетте төмен қаттылық пен беріктікке ие болса, көміртекті талшық үлесінің артуы материалдың жүк көтеру қабілетін және деформацияға төзімділігін арттырады. 2-суретте көрсетілген график көміртекті талшықпен нығайтудың композиттік шпалдардың беріктігі мен теміржол жүктемелеріне төзімділігін айтарлықтай арттыратынын анық бейнелейді.

Кіріктірілген шпалдардың кернеу мен деформация арасындағы байланысын көрсететін диаграмма. Суретте көміртекті талшық үлесінің өсуі композитті шпалдардың беріктігі мен қаттылығын арттыратыны байқалады. Талшықпен нығайтылмаған композит жүктемеге төзімділігі төмен болса, ал 5 %, 10 % және 15 % көміртекті талшықпен нығайтылған нұсқалары кернеудің өсу деңгейін көрсетеді, бұл олардың механикалық қасиеттерінің жақсарғанын көрсетеді.



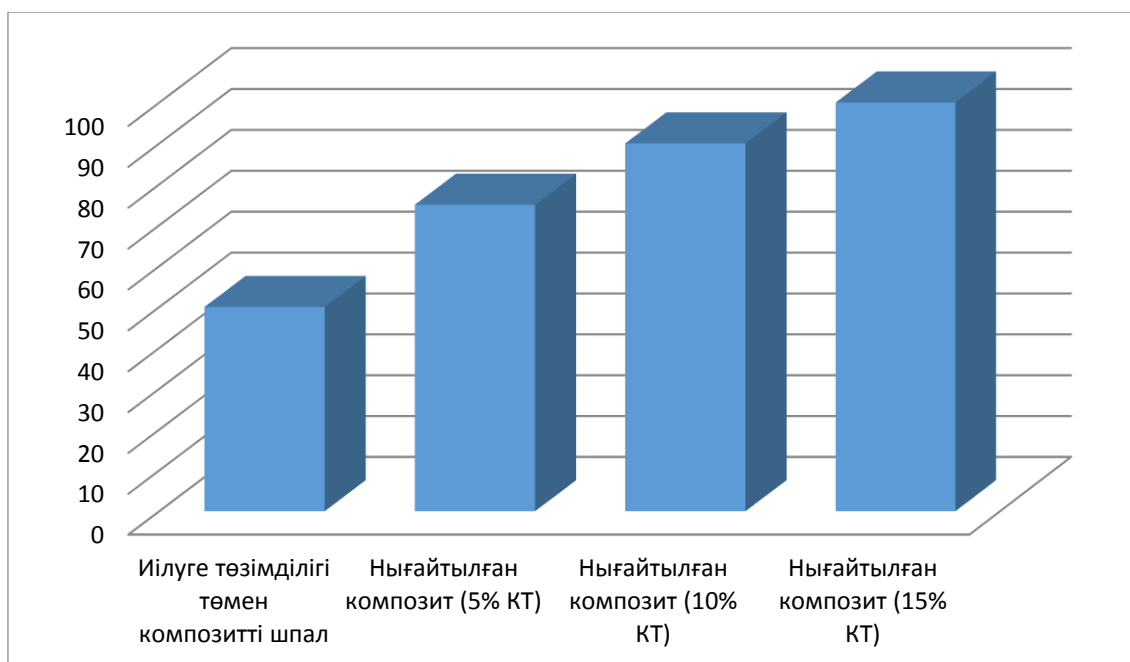
Композициялық шпалдардың құрамы



2-сурет. Әр құрамдағы шпалдардың кернеу-деформация қисықтары

Ескерту: Авторлар құрастырған

Төзімділік теміржол шпалдарының пайдалану сипаттамаларында маңызды рөл атқарады, өйткені олар үздіксіз жүктемелерге, қоршаған орта әсеріне және ұзақ мерзімді тозуға төзуге тиіс. Композитті шпалдардың төзімділігіне олардың шаршауға, соққыға және уақыт өте механикалық бұзылуға төзімділігі әсер етеді. Көміртекті талшықты қолдану композиттердің құрылымдық беріктігін арттырып, қызмет ету мерзімін ұзартады және техникалық қызмет көрсету шығындарын азайтады. Әдетте, төзімділік келесі критерийлер бойынша бағаланады: шаршау төзімділігі (сынуға дейінгі циклдер саны), соққыға төзімділік (сіңірілген энергия) және бұзылу жылдамдығы (материалдың уақыт өте тозуы). Талшықпен нығайтылмаған композиттер әдетте тезірек бұзылып, төмен жүктемелерде істен шығады, ал көміртекті талшықпен нығайтылған композиттер жоғары шаршау беріктілігін, жақсы соққы сіңіру қабілетін және қоршаған орта әсеріне төзімділігін көрсетеді (3-сурет).



3-сурет. Күшейтілген және күшейтілмеген шпалдардың төзімділігін салыстыру

Ескерту: Авторлар құрастырған (эксперименттік нәтижелер негізінде)



График көміртекті талшықпен күшейтілген материалдарда композиттік шпалдардың беріктігінің айтарлықтай артқанын көрсетеді. Күшейтілмеген композиттер ең төменгі беріктік деңгейін көрсетіп, олардың механикалық жүктемелерге және қоршаған орта әсерлеріне төзімділігінің төмендігін дәлелдейді. Көміртекті талшықтың үлесі артқан сайын беріктік сипаттамалары жақсарып, құрамында 5 % көміртекті талшық бар шпал күшейтілмеген нұсқамен салыстырғанда беріктікті 50 %-ға арттырса, 10 % және 15 % көміртекті талшық қосылған үлгілер қызмет ету мерзімін екі есеге дейін ұзартатыны анықталды. Бұл деректер көміртекті талшық пайдалану шаршау беріктігін айтарлықтай жақсартатынын, материалдың тозуын азайтатынын және теміржол шпалдарының қызмет ету мерзімін ұзарта алатынын растайды. Көміртекті талшықпен нығайтылған шпалдар дәстүрлі композиттік шпалдарға қарағанда иілу беріктігі, соққыға және шаршауға төзімділігі жоғары, серпімділік модулі ұлғайған және циклдік жүктемелер кезінде деформациясы аз болатындығымен ерекшеленеді. Сонымен қатар, олар ұзақ уақыт бойы өлшемдік тұрақтылықты сақтайды және уақыт өте келе жылжу ықтималдығын төмендетеді.

Графиктер көміртекті талшықтың үлесі артқан сайын серпімділік модулінің де жоғарылайтынын, яғни материалдың деформацияға қарсы тұру қабілетінің күшейетінін көрсетеді. Алынған нәтижелер көміртекті талшықпен нығайтылған шпалдардың дәстүрлі материалдарға қарағанда айтарлықтай артықшылықтары бар екенін және оларды жоғары жылдамдықтағы әрі ауыр жүк тиелген теміржол желілері үшін оңтайлы балама ететінін дәлелдейді. Сонымен бірге, олардың өндірістік қолданылуы да тиімді: көміртекті шпалдар салмақ бойынша 10-15 % жеңіл болғандықтан, тасымалдау және монтаждау шығындары азаяды, ал ұзақ мерзімділігі жөндеу аралығын 2-3 есеге арттырып, ұлттық теміржол компаниялары үшін экономикалық тұрғыдан маңызды үнемдеуге мүмкіндік береді. Есептеулер көрсеткендей, салмақты 10-15 % азайту тасымалдау шығындарын 8-12 %-ға төмендетеді, ал қызмет ету мерзімін 2-3 есе ұлғайту шпалдарды ауыстыру жиілігін азайтып, 10 жыл ішінде жолды жөндеу бюджетінің 20 %-ға дейін үнемделуін қамтамасыз етеді.

ҚОРЫТЫНДЫ

Көміртекті талшықпен нығайтылған композиттік шпалдарды өндіру теміржол инфрақұрылымын дамытудағы маңызды қадам болып табылады. Олар дәстүрлі ағаш, бетон және композиттік шпалдарға қарағанда жоғары механикалық сипаттамалар мен ұзақ қызмет ету мерзімін қамтамасыз етеді. Көміртекті талшық қосу нәтижесінде шпалдардың иілу беріктігі, соққыға төзімділігі және шаршауға қарсы тұрақтылығы айтарлықтай артып, оларды ауыр жүк тасымалы мен жоғары жылдамдықтағы магистральдарда қолдануға мүмкіндік береді.

Салыстырмалы талдау көміртекті талшықсыз шпалдардың функционалды болғанымен, қаттылығы төмен әрі циклдік жүктемелер кезінде деформацияға бейім екенін көрсетті. Ал көміртекті талшықпен нығайтылған шпалдар құрылымдық тұрақтылығымен ерекшеленіп, жүктеме астындағы деформацияны азайтады және қызмет ету мерзімін ұзартады.

Экономикалық тұрғыдан мұндай шпалдар техникалық қызмет көрсету мен ауыстыру шығындарын едәуір қысқартып, экологиялық тиімділікпен ұштасады. Зерттеу нәтижелері олардың созылу беріктігі 2 есе, иілу беріктігі 1,5 есе, соққыға төзімділігі 2 есеге жуық, ал шаршауға төзімділігі 3 есеге дейін артқанын көрсетті. Сонымен қатар, жеңіл салмағы тасымалдау шығындарын 8-12 % төмендетеді.

Осы ерекшеліктер көміртекті талшықпен нығайтылған шпалдарды дәстүрлі ағаш және бетон баламаларына тиімді альтернатива етеді. Болашақтағы зерттеулер композиттік



құрамды оңтайландыруға (мысалы, гибриді шыны-көміртекті талшықты арматура қолдану) және Қазақстан темір жолдарының сынақ учаскелерінде нақты жұмыс жағдайында сынақ жүргізуге бағытталуы мүмкін (Перспективы применения..., 2023).

ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

- Смирнов, В.Л., & Рогозин, Е.С. (2021). Исследование механических свойств композиционных шпал с углеродным армированием. Журнал материаловедения, 44(2), 93–100. // Smirnov, V. L., & Rogozin, E. S. (2021). Issledovanie mekhanicheskikh svoystv kompozitsionnykh shpal s uglerodnym armirovaniem [Study of mechanical properties of composite sleepers with carbon reinforcement]. Zhurnal materialovedeniya, 44(2), 93–100. (In Russ.)
- Зиновьев, С.А., & Шмидт, А.Н. (2018). Эффективность применения углеволокна в производстве железнодорожных шпал. Научные труды, 56(1), 45–53. // Zinov'ev, S. A., & Shmidt, A.N. (2018). Effektivnost' primeneniya uglevolokna v proizvodstve zheleznodorozhnykh shpal [Efficiency of using carbon fiber in railway sleeper production]. Nauchnye trudy, 56(1), 45–53. (In Russ.)
- Дьяков, И. А., & Карпов, Н. П. (2020). Сравнение механических свойств углеродных и стеклопластиковых железнодорожных шпал. Известия МГТУ, 23(4), 37–44. // D'yakov, I.A., & Karpov, N.P. (2020). Sravnenie mekhanicheskikh svoystv uglerodnykh i stekloplastikovyykh zheleznodorozhnykh shpal [Comparison of mechanical properties of carbon and fiberglass railway sleepers]. Izvestiya MGTU, 23(4), 37–44. (In Russ.)
- Singh, A. (2023). A review on composite railways sleepers: Recent developments, limitations & future perspectives. Journal of Applied Materials Science & Engineering Research, 7(2), 145–149. <https://doi.org/10.14445/22315381/IJETT-V72I12P130> (In Eng.)
- Iglesias, M., & González, C. (2017). Fatigue resistance of carbon fiber-reinforced polymer composite railway sleepers. Composite Structures, 159, 152–159. <https://doi.org/10.1016/j.compstruct.2016.10.027> (In Eng.)
- Chen, X., Li, Y., & Wang, J. (2020). Environmental benefits of composite railway sleepers: A life cycle assessment. Journal of Cleaner Production, 275, 122–136. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.122136> (In Eng.)
- Zhang, H., & Liu, P. (2019). Numerical modeling of composite railway sleepers under static and dynamic loads. Engineering Structures, 199, 109–118. <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2019.109118> (In Eng.)
- ГОСТ 33370–2015. Волокна химические штапельные для армирования строительных материалов и конструкций. Общие технические условия. Закон.kz. https://online.zakon.kz/Document/?doc_id=32396376 // GOST 33370–2015. Volokna khimicheskie shtapel'nye dlya armirovaniya stroitel'nykh materialov i konstruktсий [Chemical staple fibers for reinforcement of construction materials and structures]. zakon.kz. https://online.zakon.kz/Document/?doc_id=32396376 (In Russ.)
- Перспективы применения полимерных шпал в железнодорожном строительстве. (2023). Tribune Scientists. <https://tribune-scientists.ru/articles/2893> // Perspektivy primeneniya polimernykh shpal v zheleznodorozhnom stroitel'stve [Prospects for the use of polymer sleepers in railway construction]. Tribune Scientists. <https://tribune-scientists.ru/articles/2893> (In Russ.)
- Изготовление шпалы из древесины с добавлением композиционного материала из промышленных отходов. (2023). Промвест. <https://promvest.info/ru/innovatsii/-izgotovlenie-shpalyi-iz-drevesinyi-s-dobavleniem-kompozitsionnogo-materiala-iz-promyshlennyih-othodov> // Izgotovlenie shpaly iz drevesiny s dobavleniem kompozitsionnogo materiala iz promyshlennykh otkhodov [Manufacturing of sleepers



from wood with composite material from industrial waste]. Promvest. <https://promvest.info/ru/innovatsii/izgotovlenie-shpalyi-iz-drevesinyi-s-dobavleniem-kompozitsionnogo-materiala-iz-promyishlennyih-othodov> (In Russ.)

Уникальные физико-механические свойства углеродного нанокompозита. (2011). Научная электронная библиотека. <https://web.snauka.ru/issues/2011/10/2981> // Unikal'nye fiziko-mekhanicheskie svoystva uglerodnogo nanokompозita [Unique physical and mechanical properties of carbon nanocomposite]. Nauchnaya elektronnaya biblioteka. <https://web.snauka.ru/issues/2011/10/2981> (In Russ.)

ASTM International. (2019). ASTM D790-19: Standard test methods for flexural properties of unreinforced and reinforced plastics. West Conshohocken, PA. (In Eng.)

ASTM International. (2020). ASTM D256-20: Standard test methods for determining the Izod pendulum impact resistance of plastics. West Conshohocken, PA. (In Eng.)

ASTM International. (2019). ASTM D3479-19: Standard test method for tension-tension fatigue of polymer matrix composite materials. West Conshohocken, PA. (In Eng.)

ISO. (2018). ISO 178: Plastics — Determination of flexural properties. International Organization for Standardization. (In Eng.)

Авторлар туралы мәліметтер
Информация об авторах
Information about authors



Батырова Динара Жалеловна – техника ғылымдарының кандидаты, Каспий қоғамдық университеті, Алматы қ., Қазақстан

Батырова Динара Жалеловна – кандидат технических наук, Каспийский общественный университет, г. Алматы, Казахстан

Batyrova Dinara Zhalelovna – Candidate of Technical Sciences, Caspian University, Almaty, Kazakhstan,
e-mail: dinara2103kz@gmail.com ,

ORCID: <https://orcid.org/0009-0000-0298-1963>,



Абдраимова Гульнара Аманжоловна – техника ғылымдарының кандидаты, Қ.И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университеті, Алматы қ., Қазақстан

Абдраимова Гульнара Аманжоловна – кандидат технических наук, Казахский национальный исследовательский технический университет, г. Алматы, Казахстан

Abdraimova Gulnara Amanzholovna – Candidate of Technical Sciences, Kazakh national research technical university, Almaty, Kazakhstan,

e-mail: gulnara409@mail.ru,

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7495-358X>,