

НАНОКОМПОЗИТИ ЯК НОВІ МАТЕРІАЛИ ДЛЯ КОНСТРУКЦІЙНОГО ДЕМПФІРУВАННЯ

С.М. Ющенко

Чернігівський національний технологічний університет, Україна

Наноккомпозити як новий вид композиційних матеріалів виготовляються з використанням нанотехнологій. Термін «нанотехнологія» у широкому сенсі визначається як створення, обробка, характеристика та використання матеріалів, пристроїв та систем з розмірами порядку 10^7 - 10^9 м, що виявляють нові, значно покращені фізичні, хімічні та біологічні властивості, функції, явища та процеси, обумовлені їх наномасштабними розмірами [1]. Останнім часом нанотехнології все більше впроваджуються у різні галузі науки та промисловості, зокрема у механіку матеріалів, та активно розвивається науково-технічний напрямок зі створення нових матеріалів, до складу яких входять наноутворення з мінімальними розмірами поперечного перерізу порядку 1-100 нм. Перехід до нанорівня викликає необхідність врахування при аналізі наноутворень їх атомної структури та особливостей молекулярної будови [2].

При створенні нових матеріалів особливу увагу звертають на конструкційні матеріали, з яких виготовляють елементи конструкцій (стержні, пластини, оболонки, масивні елементи тощо). Оскільки наноутворення внаслідок характерної для них тонкої структури не можуть успішно функціонувати самостійно як конструкційні матеріали, із них створюють наноккомпозити. Це композиційні матеріали, у яких наповнювачем (армуючими елементами) є наноутворення, а зв'язуючою матрицею у більшості випадків є полімери [2].

Зростаючий попит на високоякісні та багатофункціональні матеріали у різних галузях промисловості сприяє ґрунтовній науково-дослідній роботі щодо створення нових наноструктурованих матеріалів з більш доскональними характеристиками порівняно з традиційними матеріалами. Високі механічні, електричні та теплові параметри наноутворень роблять їх унікальними наповнювачами для багатофункціональних композитів конструкційного призначення [3]. Наприклад, карбонові нанотрубки проявляють більш широкий діапазон фізичних та механічних властивостей, зокрема модуль Юнга та границю міцності, які значно перевищують такі характеристики для інших існуючих матеріалів. Як наноутворення можуть застосовуватися одношарові та багатошарові нанотрубки, нановолокна, зернисті наночастинки, наноглини. Серед природних наноматеріалів використовуються оксиди кремнію SiO_2 , алюмінію Al_2O_3 , титану TiO_2 , алюмосилікати, філосилікати

тощо. Найбільш перспективним та найбільш розповсюдженим наповнювачем нанокompозитів вважаються карбонові нанотрубки [2].

Оскільки механіка нанокompозитів як новий напрям у механіці матеріалів знаходиться на стадії інтенсивного розвитку, на сьогоднішній день немає загальноприйнятої класифікації нанокompозитів. У загальному випадку, згідно з [2], нанокompозити поділяються на п'ять груп. До першої групи відносять нанокompозити у вигляді матриці, дисперсно зміцненої окремими наночастинками при умові досить малої їх концентрації. Такі нанокompозити можуть використовуватися також як матриця при створенні нових гібридних нанокompозитів. Друга група включає багатошарові нанокompозити – композитні матеріали, армовані тонкими шарами наноматеріалів. До третьої групи відносять волокнисті нанокompозити, армовані нанотрубками та нановолокнами, у яких геометричні розміри поперечного перерізу значно менші за їх довжину. Четверту групу складають зернисті нанокompозити, у яких геометричні розміри армуючих елементів у трьох взаємно перпендикулярних напрямках є величинами одного порядку. До останньої, п'ятої, групи відносять складні нанокompозити, які характеризуються складними внутрішньою структурою та формою наповнювачів.

Розробка конструкцій із нанокompозитів можлива тільки при застосуванні наномеханіки, що є наступним історичним кроком розвитку структурної механіки матеріалів після макромеханіки, мезомеханіки і мікромеханіки. Для реальних експериментів на наноструктурних об'єктах необхідно використовувати складне, високоточне і дороге обладнання, а схеми проведення експериментів є досить унікальними [4]. У таких умовах на перший план висувуються теоретичні методи моделювання поведінки наноструктурних матеріалів.

Прогнозування поведінки нанокompозитів, як і у випадках макрота мікрокомпозитів, є достатньо складною задачею. Один із основних теоретичних підходів до визначення механічної поведінки та властивостей нанокompозитів сформульовано у [2]. Він складається з таких чотирьох етапів: моделювання наноутворень лінійним пружним ізотропним однорідним середовищем з усередненими пружними константами, одержаними за допомогою процедури континуалізації; моделювання полімерної матриці лінійним ізотропним однорідним пружним чи в'язкопружним середовищем; моделювання взаємодії наноутворень та полімерної матриці (у тонкому проміжному шарі з урахуванням сил міжатомного зв'язку) певними граничними умовами з перенесенням цих умов на геометричну поверхню розділу; визначення усереднених значень пружних констант для нанокompозиту із залученням різних методів гомогенізації, що забезпечує перехід до механіки елементів конструкцій з нанокompозитів. Під вищезгаданою процедурою континуалізації розуміють заміну дискретної системи деякою неперервною

системою (континуумом) з визначенням відповідних усереднених властивостей. Процес гомогенізації означає заміну кусково-однорідної неперервної системи деякою однорідною неперервною системою з визначенням відповідних усереднених властивостей. Аналіз фізико-механічних властивостей нанокompозитів дає можливість обґрунтованого вивчення їх практичних застосувань у різних сферах науки та техніки, зокрема у демпфіруванні коливань конструкцій.

Демпфірування є важливим параметром при проектуванні конструкцій, для яких динамічні навантаження та керування коливаннями виявляються надзвичайно критичними. Явище демпфірування, що обумовлюється розсіянням енергії у конструкціях та матеріалах, є суттєвим фактором, оскільки зменшує резонансні амплітуди та шумові рівні коливань, що забезпечує стійкість, цілісність та довговічність конструкції. У авіації, автомобілебудуванні, ракетно-космічній техніці та інших галузях промисловості зростає потреба у матеріалах, які мають більш досконалі властивості, зокрема вищу питому міцність, високі модулі пружності та стабільні температурні характеристики разом із високою демпфіруючою здатністю. З огляду на те, що забезпечити такі властивості традиційними матеріалами дуже складно, все більшу цікавість викликають композитні матеріали з полімерною матрицею та армуючими нанорозмірними частинками [5].

Незважаючи на безліч досліджень, присвячених матеріалам з карбоновими нанотрубками та нановолокнами, перспективність застосування цих наноутворень щодо покращення демпфіруючих властивостей композитів значно менш вивчена. Традиційно для демпфірування коливань композитних конструкцій використовують в'язкопружні та електров'язкопружні полімерні матеріали. Останнім часом у ряді досліджень для конструкційного демпфірування та підвищення жорсткості в елементи конструкцій вводять полімерні композити, армовані карбоновими нанотрубками [3, 5] та карбоновими нановолокнами [6].

Волокнисті композити з полімерною матрицею можуть значно покращити як границю міцності на розтяг, так і демпфіруючу здатність інженерних конструкцій. Армування композитів карбоновими нанотрубками у кількості всього 2 % по об'єму забезпечує подальший прогрес у цьому напрямку [5]. Деякі дослідження, зокрема, показують, що епоксидні плівки з багат шаровими карбоновими нанотрубками покращують демпфіруючу здатність без зниження механічної міцності зі збереженням мінімальної надлишкової власної ваги. Нанотрубчасті плівки як проміжні армуючі прошарки між композитними шарами підвищують жорсткість та демпфірування усього шаруватого матеріалу [3].

Здатність карбонових нанотрубок зберігати і міцнісні, і динамічні властивості матеріалу обумовлюється їх особливою природою. Над-

звичайно покращений механізм розсіяння енергії, характерний для карбонових нанотрубок, пояснюється особливостями міжфазного руйнування та значною енергією зв'язку між нанотрубками та полімерними молекулярними ланцюгами. Підвищена міцність карбонових нанотрубок пов'язана зі специфічною модифікацією хімічної структури, що призводить до міцного зчеплення матриці з нановключеннями. Карбонові нанотрубки можуть трактуватися як нанорозмірні одиничні пружинки або комбінації амортизуючих пружинок, існування яких обумовлюється зв'язками «вуглець-вуглець». При наявності покращеного механізму розсіяння енергії карбонові нанотрубки дають можливість збільшувати демпфіруючу здатність за допомогою великої кількості нанотрубчатих демпферів, що є перспективним для нового покоління конструкційних матеріалів, які характеризуються зменшеною вагою, ударостійкістю та протишумовим опором [5].

Композити, армовані наночастинками, -трубками та -волокнами, є новим вирішенням проблеми демпфірування коливань, що передбачає розміщення нанорозмірних частинок всередині структури матеріалу, що коливається [5]. Нова концепція демпфірування коливань за допомогою матеріалів з включенням наночастинок показує, що демпфірування може виникати на молекулярному рівні, і композити, армовані нановключеннями, здатні забезпечувати підвищену міцність та покращені динамічні та демпфіруючі властивості при широких діапазонах частот і температур.

Таким чином, композити, армовані нановключеннями, є перспективними матеріалами для забезпечення високого рівня демпфірування коливань у конструкціях, які працюють в умовах динамічних навантажень, зокрема у транспортних галузях (літаки, автомобілі, залізничний транспорт, морські судна), ракетно-космічній техніці та будівництві. Застосування нанокомпозитів на полімерній основі дозволяє підвищити рівень розсіяння енергії. Розробка і впровадження таких матеріалів є однією з основних задач інженерної діяльності. Освоєння та використання наноматеріалів відкриває широкі можливості для створення нових конструкцій з прогнозованими властивостями.

Література

1. Erik T. Thostenson, Chunyu Li, Tsu-Wei Chou. Nanocomposites in context // Composites Science and Technology. – 2002. – № 65. – P. 491–516.
2. Гузь А.Н. Введение в механику нанокомпозитов: монография // А.Н. Гузь, Я.Я. Рушицкий, И.А. Гузь. – К.: Институт механики им. С.П. Тимошенко, 2010. – 398 с.
3. Jihua Gou, Scott O'Braint, Haichang Gu, Gangbing Song. Damping Augmentation of Nanocomposites Using Carbon Nanofiber Paper // Journal of Nanomaterials. – 2006. – P. 1-7.

4. Дубенець В.Г. Чисельний аналіз ефективних характеристик нанокompозитних матеріалів / В.Г. Дубенець, О.О. Горбатко, О.Л. Деркач // Вісник Чернігівського державного технологічного університету. – Чернігів: ЧДТУ, 2012. – № 55. – С. 46-58.
5. M. Kireitseu. Vibration damping/dynamic properties of CNT-reinforced composite structures // NSTI-Nanotech. – 2006. – Vol.1. – P. 198-201.
6. K.T.B. Padal, K. Ramji, V.V.S. Prasad. Damping Behavior of Jute Nano Fibre Reinforced Composites // International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering. – 2014. – Vol.4, Issue 4. – P.753-759.

УДК 621.311.001.57

КОМПЛЕКСНА МОДЕЛЬ СТАНУ ПРОВОДУ ЛІНІЇ ЕЛЕКТРОПЕРЕДАЧ

А.В. Галуґа, А.Л. Приступа

Чернігівський національний технологічний університет, Україна

В останні роки, внаслідок реорганізації енергетичної галузі в Україні, спостерігається тенденція до зменшення інвестицій в інженерну інфраструктуру енергетичних компаній. Разом з тим відбувається старіння основних фондів підприємств, що забезпечують передачу електричної енергії від об'єктів виробництва до кінцевих споживачів за активної розбудови приватного та дрібного виробничого сектору, що в свою чергу збільшує навантаження на розподільні мережі. Враховуючи фінансовий фактор, більш ефективним інструментом для енергокомпаній на сьогоднішній день є облік, контроль і нормування величини технологічних витрат електричної енергії. Оскільки найбільшу частку у загальній величині складають витрати електричної енергії у проводах ЛЕП, детальної уваги потребує дослідження впливу на характеристики проводу та зв'язану з ними величину ТВЕ, терміну експлуатації проводів та зовнішніх чинників, що діють на провід в процесі експлуатації [5]. На сьогодні існують як математичні моделі окремих явищ, що виникають у проводах, так і потужні програмні інструменти моделювання стану проводів ЛЕП. Більшість з них створено для мереж 110кВ і вище та все ж в них враховано не всі фактори, що призводять до зміни характеристик проводу та величини ТВЕ як кінцевого результату експлуатації проводів ЛЕП. Тому вбачається доцільним створення комплексної моделі стану проводу в прогоні ЛЕП (далі – модель), яка б враховувала сумарний вплив на провід, в частині зміни геометрії поперечного перерізу та лінійних розмірів, зовнішніх чинників та струмових навантажень, а також зміни механічних характеристик внаслідок впливу процесів, що пов'язані зі старінням та повзучістю матеріалу провідника.

Модель включає в себе наступні складові:

1. Механічна складова