

УДК 678.967

¹К.С. Кролік, ¹В.П. Кашицький, к.т.н., доц., ¹П.П.Савчук, д.т.н., проф.,
²О.Д. Костенко, к.т.н., с.н.с.

¹Луцький національний технічний університет, Україна

²Інститут проблем матеріалознавства ім. І.М. Францевича НАНУ, Україна

ВПЛИВ ЗОВНІШНІХ НАПРУЖЕНЬ НА ЕПОКСИДНІ НАНОКОМПОЗИТИ ЗМІЦНЕНІ ВУГЛЕЦЕВИМИ НАНОТРУБКАМИ

**K.S. Krolik, V.P. Kashytskyi, Ph.D., Assoc. Prof., P.P. Savchuk, Dr., Prof.,
O.D. Kostenko, Ph.D., s.r.**

STRAIN SENSING CAPABILITY OF CARBON NANOTUBES REINFORCED EPOXY NANOCOMPOSITES

Одним з найбільш важливих областей нанотехнології є створення нових полімерних композитних матеріалів, які в якості компонентів містять наповнювачі з нанорозмірними розмірами. Експериментальні дослідження дозволяють виділити вуглецеві нанотрубки як найбільш перспективні об'єкти, що дозволяє створювати матеріали з принципово новими унікальними властивостями завдяки високій міцності в поєднанні з гнучкістю, малою густиною, високою електропровідністю і абсорбційними властивостями, здатністю до холодної емісії і накопичення газів, хімічною та термічною стабільністю [1, 2].

Найбільш перспективними є матеріали, властивості яких дозволяють використання їх в областях сучасної електроніки. Малі розміри нанотрубок, міцність, хімічна стабільність та електропровідність, дозволяють розглядати матеріали на їх основі як елементи в мікроелектроніці. Можливе застосування нанотрубок в електроніці не обмежуються створенням на їх основі нових типів мініатюрних електронних компонентів [3].

Композити на основі полімерної матриці і вуглецевих нанотрубок здатні змінювати електропровідність за рахунок зміщення компонентів один відносно одного під впливом зовнішніх механічних навантажень. Дана властивість може бути використана для створення мікроскопічних датчиків визначення інтенсивності механічного впливу в інтервалах наднизьких частот. Тому дослідження електричних властивостей полімеркомпозитів з вуглецевими трубками потребують більш детальної уваги для впровадження їх у нові галузі промисловості [4].

Метою роботи є вимірювання електропровідності нанокомпозитів з різним ступенем наповнення вуглецевими нанотрубками при впливі зовнішніх механічних навантажень.

Об'єктами досліджень вибрано нанокомпозити на основі епоксидної смоли марки AralditeLY 5052, яку структурували твердником Aradur 5052 СН (38 мас. ч. на 100 мас. ч. AralditeLY 5052). Як зміцнюючий компонент використано тонкі багат шарові вуглецеві нанотрубки (ВНТ) марки NANOCYLTMNC 7000.

Технологія виготовлення зразків з полімеркомпозитів включала наступні етапи: дозування компонентів, ручне змішування композиції, обробку композицій ультразвуком, дегазацію та наступну полімеризацію. Для досягнення високого ступеня однорідності системи була використана ультразвукова ванна марки Ультра 7000, яка працювала при ультразвуковій частоті 42 кГц. Зразки піддавалися обробці ультразвукових коливань протягом 1 год.

До складу композиції, яка складалася з епоксидної смоли і вуглецевих нанотрубок, вводили необхідну кількість твердника та виконували перемішування протягом

однієї хвилини. Для дегазації отриману суміш поміщали у вакуумної піч марки Medline з тиском у робочій камері до 0,1 МПа при температурі 21° С на одну год.

Для отримання зразків були виготовлені форми з розміром 100x20x5 мм, які попередньо були змащені розчином Loctite 44- NC для легкого видалення зразків після затвердіння. Структурування полімеркомпозитів виконували при кімнатній температурі протягом 24 годин з наступною термічною обробкою для прискорення процесу твердіння при 100 °С протягом 3 годин в сушильній печі марки Carbolite. Вміст нанотрубок в матеріалах складав відповідно 0,1 мас. ч., 0,5 мас. ч. та 1 мас. ч.

Для знаходження електричної провідності нанокомпозитів визначали електричний опір зразків за допомогою багатфункціонального тестера Megger MFT 1730 при напрузі 100 В, 250 В, 500 В і 1 кВ з автоматичною шкалою до 1000 МОм. Після чого до зразків було прикладене навантаження зусиллям 250 Н (60 МПа) протягом 25 хвилин на обладнанні Instron 5969. Після деформування виконували вимірювання електричного опору.

Під час деформування зразків встановлено, що найбільш пластичними є матеріали, що не містили вуглецеві нанотрубки. Ступінь деформація при згинанні зразків без вуглецевих нанотрубок становила 4,1 %, а при введенні даного наповнювача з кількістю 1 % мас. ч. – 3,1 %. Експериментально встановлено, що зі збільшенням концентрації нанотрубок пластичність та ступінь деформації зменшувались, що пов'язано із наявністю частинок армуючої фази, яка є перешкодою для вільного переміщення макромолекул епоксидної матриці. Крім того, внаслідок недостатнього розподілу наповнювача не відбулось утворення в достатній мірі хімічних вузлів між компонентами системи, що знизило когезійну міцність полімеркомпозиту.

Експериментально встановлено, що для полімеркомпозитів з вмістом нанотрубок 1,0 мас. ч. електричний опір знизився з 0,3 МОм·м до 0,012 МОм·м при прикладенні напруги в 1000 В. Значення електричної провідності для ненаповненого епоксиполімеру не виявлено, оскільки даний матеріал є діелектриком. Після проведення випробувань на згин встановлено, що електричний опір полімеркомпозитів зріс до 23 МОм·м, що пов'язано із частковим руйнуванням хімічних зв'язків між компонентами та збільшенням відстані між струмопровідними частинками системи.

Експериментальні дослідження підтвердили, що зі збільшенням концентрації нанотрубок підвищується твердість, але зменшується пластичність та в'язкість системи. Встановлено значне зростання електричної провідності нанокомпозитів при підвищенні вмісту даного наповнювача. Також було виявлено значне зменшення електричної провідності нанокомпозитів після прикладання механічного навантаження.

Література

1. Huasen S.I. (2012). Mechanical properties of carbon nanotube reinforced Epoxy Resin composites, J.Baghdad for Sci., Vol. 9(2). – P. 330-335.
2. Санжаровский А. Т. Физико-механические свойства полимерных и лакокрасочных покрытий / Санжаровский А. Т. – М.: Химия, 1978. – 184 с.
3. Wong K.K., Shi S.Q., Lau K.T. (2007). Mechanical and thermal Behavior of a Polymer Composite Reinforced with Functionalized Carbon Nanotubes, Key Engineering Materials, Vols. 334–335. – P. 705-708.
4. Kausch H.H., Beguelin Ph., Fisher. M. (2000). Failure of particulate reinforced polymers, Mechanics of composite materials, Vol. 36, No 3. – P. 305-316.