

ВЗАЄМОЗВ'ЯЗОК СТРУКТУРИ ПОЛІМЕРНОГО КОМПОЗИТУ З ЙОГО МЕХАНІЧНИМИ ХАРАКТЕРИСТИКАМИ

Місюра А.І.¹, Мамуня Є.П.², Куліш М.П.¹, Пилипенко А.М.²

¹Київський національний університет імені Тараса Шевченка, Київ, Україна

²Інститут хімії високомолекулярних сполук НАН України, Київ, Україна

andrii_misiura@ukr.net

Полімерні композити є одним з найпоширеніших видів конструкційних матеріалів, що застосовуються в багатьох галузях промисловості. Серед них можна виділити композити наповнені металічними частинками, оскільки такі матеріали поєднують в собі як властивості полімерів, так і металів. Металонаповнені полімерні композити є електропровідними, мають підвищене значення теплопровідності і розширений спектр механічних характеристик при цьому зберігаючи параметри обробки, подібних до ненаповнених полімерів. Крім високої електро- і теплопровідності, металеві частинки мають широкий діапазон форм і розмірів, які можуть впливати на властивості композиту. Металонаповнені полімерні композити використовуються для створення різних типів нагрівачів, електродів, сенсорів, захисних покриттів від електромагнітного випромінювання.

Досягнення високих значень електро- та теплопровідності в композитах вимагає внесення великих концентрацій наповнювача, при його статистичному розподілі в об'ємі полімерної матриці. Але існує можливість створення композитів із сегрегованою структурою частинок наповнювача в композиті, тобто певним їх упорядкуванням, що забезпечує високі показники електро- та теплопровідності за значно менших концентрацій наповнювача. Проте, залишається недостатньо дослідженим питання зміни механічних характеристик композиту при переході від статистичного до сегрегованого типу розподілу наповнювача в композиті.

Досліджувані композити виготовлені на основі поліетилену низької густини (ПЕНГ) з температурою плавлення 115 °С, показником текучості розплаву ПТР = 7,5 г/10хв, густиною $\rho = 0,92$ г/см³. Та наповнені електролітичною дисперсною міддю ПМС-1 (Cu), з частинками дендритної форми і середнім розміром 25-60 мкм та $\rho = 8,96$ г/см³. Зразки зі статистичним розподілом отримані спочатку екструзуванням механічної суміші порошків полімеру та міді з подальшим пресуванням подрібненого екструдату в закритій сталевій формі. Для досягнення сегрегованого розподілу Cu в матриці ПЕНГ, спочатку змішували порошки міді та полімеру, а потім цю суміш пресували. Слід зазначити, що розмір частинок наповнювача менший за розмір частинок полімерного порошку, і при механічному змішуванні двох типів порошків менші частинки наповнювача покривають більші частинки полімерного порошку. Усі зразки мали форму дисків діаметром 30 мм і товщиною ~2 мм.

Використовуючи метод динамічного механічного аналізу (ДМА) визначено поведінку комплексного модуля зсуву ($G^* = G' + iG''$), а саме його дійсну частину – динамічний модуль зсуву (G') в широкому температурному інтервалі. В ході експерименту отримано набір кривих, що демонструють зміну модуля G' при поступовому збільшенні температури. На основі цих кривих отримано значення $\lg G'$ при температурі 30 °С для всіх зразків та побудовано відповідні залежності від вмісту наповнювача, що зображені на рис..

З рис. видно, що значення $\lg G'$ лінійно зростають зі збільшенням вмісту наповнювача в обох композитах. Це пов'язано зі збільшенням внеску модуля зсуву частинок Cu, значення якого вище ніж для ненаповненого ПЕНГ. Отриману залежність описано, використовуючи рівняння Ліхтенекера для двофазної системи [1]:

$$\lg G' = (1 - \varphi) \lg G'_p + \varphi \lg G'_f \quad (1)$$

де G' , G'_p , G'_f – дійсна частина модуля зсуву композиту, полімерної матриці та дисперсного наповнювача, відповідно.

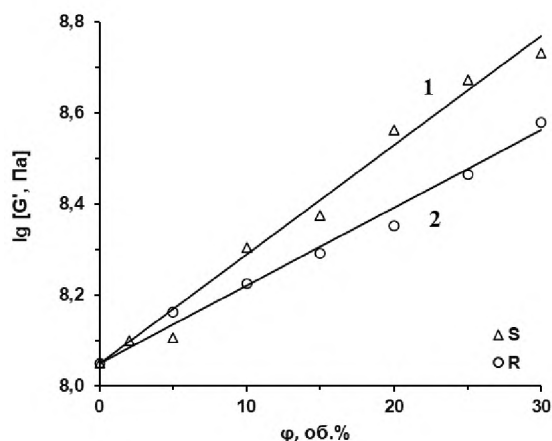


Рис Концентраційна залежність значення $\lg G'$ для композиту ПЕНГ-Сu за температури 30 °С: точки – експериментальні дані; лінії – розрахунок за рівнянням Ліхтенекера; 1 – сегрегований розподіл наповнювача (S), 2 – статистичний (R)

З рівняння (1) знайдено значення G'_f та порівняно його зі значенням модуля зсуву для блочного металу (G'_m). Отримано значення $G'_f = 5,8$ ГПа для композиту ПЕНГ-Сu зі статистичним розподілом наповнювача, а для сегрегованого $G'_f = 28,2$ ГПа. Для блочної міді величина $G'_m = 45,5$ ГПа, згідно літературним даним. Значення модулів зсуву отримані при дослідженні занесено до таблиці.

Таблиця

Значення компонентів модуля зсуву в композиті ПЕНГ - Сu.

Розподіл	G'_p , ГПа	G'_f , ГПа	G'_m , ГПа	G'_m/G'_f
Статистичний (R)	0,112	5,75	45,5	7,98
Сегрегований (S)	0,112	28,20	45,5	1,61

Опираючись на дані, наведені в таб., видно, що модуль зсуву металу у блочному вигляді (G'_m) вище, ніж коли мідь представлена у вигляді порошку, який знаходиться в об'ємі композиту. Так значення G'_m майже в 8 разів більше, ніж відповідне значення G'_f при статистичному розподілі наповнювача. Для композиту з сегрегованим розподілом наповнювача значення G'_m тільки в 1,6 перевищує значення G'_f .

Зменшення значення модуля зсуву для наповнювача у вигляді порошку, можна пояснити розсіюванням навантаження на межі поділу фаз у композиті [2]. Як видно з таб., для композиту типу (S) значення G'_f майже в 5 разі вище, ніж для композиту (R) зі статистичним розподілом. Такий ефект відображує те, що при статистичному розподілі наповнювача, його частинки розділені шаром полімеру і передача напруження в композиті включає ці низькомодульні шари з $G'_p = 0,112$. При сегрегованому розподілі частинки наповнювача утворюють суцільний каркас, в якому локальна концентрація наповнювача є високою, тобто внесок полімерних шарів між частинками є мінімальним, що стримує деформацію полімерної матриці.

Таким чином, результати отримані в даному дослідженні демонструють суттєве зростання механічних характеристик композиту ПЕНГ - Сu, а саме значення динамічного модуля зсуву, при зміні типу розподілу наповнювача від статистичного до упорядкованого з утворенням сегрегованої структури наповнювача в об'ємі полімерної матриці.

1. Lichtenecker K. Der elektrische Leitungswiderstand künstlicher und natürlicher Aggregate // Phys. Zeitschrift.- 1924.- 25.-P. 225–233.

2. Molefi, J. A. Et al. Comparison of the influence of copper micro- and nano-particles on the mechanical properties of polyethylene/copper composites // J. Mater. Sci.- 2010.- 45.- P.82-88.