

УДК 678.01:537.212

В.Л. ДЕМЧЕНКО, В.І. УНРОД, С.П. БЕНЕНКО

Черкаський державний технологічний університет

**ВПЛИВ ПОСТІЙНОГО ЕЛЕКТРИЧНОГО ПОЛЯ НА ЕЛЕКТРОПРОВІДНІСТЬ  
ПОЛІМЕРНИХ КОМПОЗИЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ**

*Досліджено вплив постійного електричного поля на електропровідність композитів на основі епоксидного полімеру та сумішей поліаніліну (ПАН) і одного з оксидів металу ( $Al_2O_3$  чи  $Fe_2O_3$ ). Встановлено, що внаслідок поляризаційної дії електричного поля електропровідність композитів підвищується на 3-4 порядки, що дозволяє отримати полімерні плівки з покращеними властивостями, які можуть використовуватись в різних областях науки і техніки.*

**Ключові слова:** епоксидний полімер, оксид металу, поліанілін, електричне поле, електропровідність.

Прогрес у різних областях науки і техніки обумовлює потребу у створенні нових полімерних композиційних матеріалів, які мали б комплекс необхідних властивостей [1]. Епоксидні полімери завдяки високій адгезії до різних матеріалів є основою для створення перспективних полімерних матеріалів, зокрема композитів на їх основі, у зв'язку з чим закономірності їх формування є об'єктом всебічного вивчення [2 – 4]. Наповнення епоксидних полімерів (на стадії їх твердіння), зокрема оксидами металів, суттєво змінює теплофізичні, термомеханічні, діелектричні, електрофізичні, магнітні та інші властивості, що дає змогу отримувати полімерні матеріали з певними технологічними та експлуатаційними характеристиками [5]. При цьому проблема регулювання епоксидних полімерів та композитів на їх основі в постійних фізичних полях на сьогодні є відкритою.

**Об'єкти та методи дослідження**

Провідними науковцями України [6, 7] і закордонними вченими [8, 9] розробляються методи модифікації наповнених матеріалів зовнішніми фізичними полями, а саме: ультразвуковим, електроіскровим, магнітним, електричним та іншими. Такі процеси модифікації, порівняно з традиційними, потребують менших енергетичних затрат, вони є екологічно чистими, а також менш матеріалоемними. Сьогодні недостатньо уваги приділено модифікації полімерних матеріалів такими полями на початкових стадіях їх формування. Це відкриває принципово нові можливості створення композитних матеріалів, зокрема на основі епоксидних полімерів, із покращеними характеристиками. Як правило, традиційні методи формування структури композитів, особливо для поліпшення електропровідності, теплопровідності, електричних властивостей, передбачають введення в полімерну матрицю значних концентрацій наповнювача, що супроводжується погіршенням механічних властивостей.

Формування композитів під дією постійного електричного поля дозволяє отримати полімерну плівку з високою електропровідністю, при меншій концентрації наповнювача і якій притаманні покращені механічними характеристиками. Таким чином, дослідження впливу постійного електричного поля на електропровідність полімерних композиційних матеріалів є актуальною проблемою в науковому та прикладному значеннях [10].

**Постановка завдання**

Метою даної роботи було встановлення основних закономірностей впливу зовнішнього постійного електричного поля (ЗПЕП) на електропровідність полімерних композитів на основі епоксидного полімеру та сумішей ПАН і одного з оксидів металу ( $Al_2O_3$  або  $Fe_2O_3$ ).

**Результати та їх обговорення**

Дослідження проводилися на прикладі композитів, отриманих на основі епоксидної смоли ЕД-20 (ГОСТ 10577-84, виробник Росія), затвердіння якої виконували за допомогою триетилентетраміна (виробник завод «РІАП», Україна). Епоксидну смолу (ЕС) отвердівали шляхом змішування її з триетилентетраміном (ТЕТА) в стехіометричному співвідношенні.

В якості наповнювачів використовували тонкодисперсні порошки оксидів металів (розмір частинок порошку близько 200 нм) –  $Fe_2O_3$  (ТУ 6-09-1418-78),  $Al_2O_3$  (ТУ 6-09-426-75) та ПАН (розмір частинок порошку близько 1 мкм). Концентрація наповнювачів у композитах змінювалася в широкому інтервалі (0,2–19,0% об.).

З метою однорідного розподілу порошоків наповнювача в полімерній матриці перед введенням в об'єм епоксидного полімеру (ЕП) їх поверхню обробляли 1%-ним розчином ЕС в ацетоні з наступним їх додаванням до суміші компонентів ЕС і ТЕТА шляхом механічного перемішування. Після цього суміш компонентів піддавали вакуумуванню при тиску  $P = 9,8 \cdot 10^4$  Па.

Композити отримували у вигляді плівок, отриманих на плоскій тетрафторетиленовій пластині, отверднення яких тривало протягом 10 год. між пластинами плоского конденсатора з величиною напруженості  $E=3,0 \cdot 10^4$  В/м та у вихідному стані при  $T = 293 \pm 2$  К.

Загалом було одержано дві серії зразків на основі ЕП та суміші ПАН і одного із оксидів металів, взятих в однаковому об'ємному співвідношенні ЕП+(ПАН,  $Al_2O_3$ ) та ЕП+(ПАН,  $Fe_2O_3$ ).

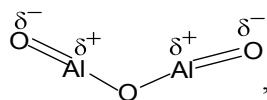
Оцінку питомого опору композитів проводили шляхом вимірювання опору ( $R$ ) плівок полімерів на постійному струмі (різниця потенціалів між електродами 10 В) двохелектродною схемою за допомогою тераомметра Е6-13А. Для проведення вимірювань однорідну плівку завтовшки 0,001 м поміщали між плоскими нікелево-бронзовими електродами діаметром 0,015 м. Із метою забезпечення надійного притиску електродів до полімерної плівки на них накладали тиск, який дорівнює 0,1 МПа. Дослідження електропровідності проводили за кімнатної температури. Значення електропровідності  $\sigma$  (См/м) обраховували зі співвідношення:

$$\sigma = \frac{1}{R} \cdot \frac{h}{S},$$

де  $R$  – опір зразка, виміряний тераомметром;  $h$  – товщина зразка;  $S$  – площа зразка.

Вимірювання проводили на трьох зразках одного полімеру з подальшим усередненням отриманих результатів. Результати дослідження електропровідності композитів наведено у вигляді залежності  $\sigma = f(\varphi)$ . Із концентраційних залежностей електропровідності композитів із ПАН і  $Al_2O_3$  та ПАН і  $Fe_2O_3$  (рис. 1) можна зробити висновок, що під дією постійного електричного поля у композитах відбувається орієнтація частинок наповнювача на стадії їх затвердіння. Із рисунків видно, що електропровідність полімерних плівок зростає на 3–4 порядки, внаслідок поляризаційної дії електричного поля, механізм якого спрямований на весь континуум молекул композиту.

Оскільки оксиди металів мають просторову будову:



тому, підвищення електропровідності композитів у постійному електричному полі, ймовірно, є наслідком орієнтації диполів ( $\delta^+ \cdots \delta^-$ ) як молекул оксидів металів, так і NH груп:



вздовж силових ліній електричного поля, в результаті чого утруднюються міжмолекулярні взаємодії між полярними групами наповнювача і полімерної матриці.

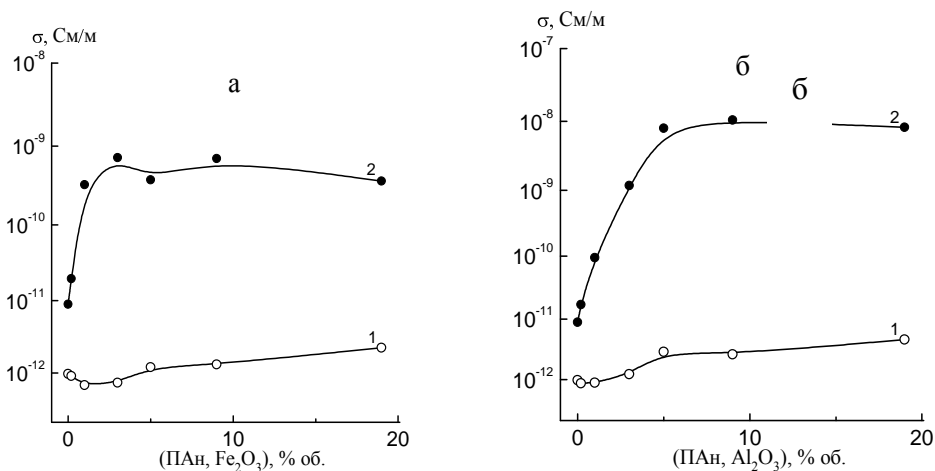
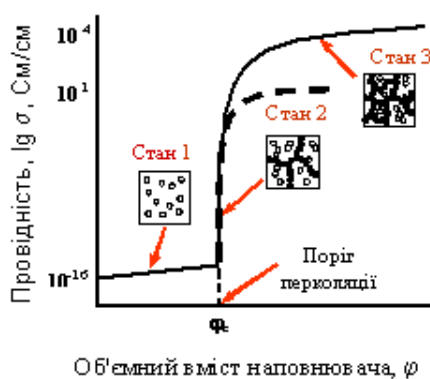


Рис. 1. Залежність електропровідності вихідних (1) та сформованих у ЗПЕП (2) зразків композитів на основі ЕП і сумішей ПАН і  $\text{Al}_2\text{O}_3$  (а) та ПАН і  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  (б) від вмісту наповнювача

Внаслідок орієнтаційної дії електричного поля на композит у полімерній матриці утворюється ланцюжкова структура з частинок наповнювача, які утворюють провідний кластер (рис. 2).



**Стан 1** – композиція є непровідною, провідні частинки ізолювані в полімерній матриці

**Стан 2** – область перколяції, виникає провідний кластер, провідність стрімко зростає вище порогу перколяції при  $\phi > \phi_c$ .

**Стан 3** – провідність повільно підвищується внаслідок росту провідного кластера.

Рис. 2. Модель утворення провідного кластера у полімерних композитах на основі ЕП

**Висновки**

Показано, що внаслідок орієнтаційної дії постійного електричного поля електропровідність композитів із сумішами ПАН і одного з оксидів металів зростає на 3–4 порядки. Підвищення електропровідності композитів у постійному електричному полі, ймовірно, є наслідком орієнтації диполів ( $\delta^+ \cdots \delta^-$ ) як молекул оксидів металів, так і NH груп. Отримані матеріали, які мають низку переваг перед металами, тобто характеризуються низькою вагою, високими механічними показниками, можливістю переробки високопродуктивними методами, низькою вартістю, можуть використовуватись в різних галузях науки і техніки (нагрівачі з розподіленим тепловиділенням та саморегульовані нагрівачі; екрануючі матеріали для захисту від електромагнітного випромінювання; контактні кнопки в комп'ютерах та медіа-техніці; струмообмежувальні прилади; електропровідні клеї; та багато інших застосувань).

## Список використаної літератури

1. Ли Х., Невилл К. Справочное руководство по эпоксидным смолам / Пер. англ. Под ред. Н.В. Александрова. – М.: Энергия, 1973. – 416 с.
2. Ho M. W., Lam C. K., Lau K., Dickon H. L. Hui D. [Mechanical properties of epoxy-based composites using nanoclays](#) // Composite Structures. – 2006. – 75, № 4. – P. 415–421.
3. Chen C., Justice R. S., Schaefer D. W., Baur J. W. [Highly dispersed nanosilica–epoxy resins with enhanced mechanical properties](#) // Polymer. – 2008. – 49, № 17. – P. 3805–3815.
4. Hine P. J., Duckett R. A., Kaddour A. S., Hinton M. J., Wells G. M. [The effect of hydrostatic pressure on the mechanical properties of glass fibre/epoxy unidirectional composites](#) // Composites Part A: Appl. Sci. and Manufacturing. – 2005. – 36, № 2. – P. 279–289.
5. Cho J. Luo, J. J., Daniel I. M. [Mechanical characterization of graphite/epoxy nanocomposites by multi-scale analysis](#) // Composites Sci. and Technol. – 2007. – 67, № 11–12. – P. 2399–2407.
6. Букетов А.В., Стухляк П.Д., Тотосько О.В. Епоксикомпозити. Модифікація електроіскровим гідроударом // Хім. промисловість України. – 2005. – № 4. – С. 39–43.
7. Nizhnic V.V., Tonkopieva L. S., Dubrovska V. V., Linets L.P. Electrically stimulated polarization of polymer composites: structure-properties // Functional materials. – 2000. – 7, No 4. – P. 679–681.
8. Prassea T., Cavaille J.Y., Bauhofer W. Electric anisotropy of carbon nanofibre/epoxy resin composites due to electric field induced alignment // Composites Science and Technology. – 2003. – 63. – P. 1835–1841.
9. Z. Yue-Feng, M. Chen, Z. Wei [et al.] Alignment of multiwalled carbon nanotubes in bulk epoxy composites via electric field // Journal of Applied Physics. – 2009. – 105. – P. 054319–054319-6.
10. Martin C.A., Sandler J. K.W., Windle A.H. [et al.]. Electric field-induced aligned multi-wall carbon nanotube networks in epoxy composites // [Polymer](#). – 2005. – 46, No 26. – P. 877–886.

Стаття надійшла до редакції 15.03.2013

**Влияние постоянного электрического поля на электропроводность полимеров**

Демченко В.Л., Унрод В.И., Бененко С.П.

*Черкаський державний технологічний університет*

Исследовано влияние постоянного электрического поля на электропроводность композитов на основе эпоксидного полимера и смесей полианилина (ПАН) и одного из оксидов металла ( $Al_2O_3$  или  $Fe_2O_3$ ).

Установлено, что вследствие поляризационной действия электрического поля электропроводность композитов повышается на 3–4 порядки, что позволяет получить полимерные пленки с улучшенными свойствами, которые могут использоваться в различных областях науки и техники.

**Ключевые слова:** эпоксидный полимер, оксид металла, полианилин, электрическое поле, электропроводность.

**Effect of constant electric field on the conductivity of polymer composite materials**

V. Demchenko, V. Unrod, S. Benenko

*Cherkasy State Technological University*

The effect of a constant electric field on the conductivity of the composites based on epoxy resin and mixtures of polyaniline (PAN) and a metal oxide ( $Al_2O_3$  and  $Fe_2O_3$ ). Found that due to the polarization of the electric field electrical conductivity of composites increases by 3-4 orders of magnitude, which allows to obtain polymer films with improved properties that can be used in various fields of science and technology.

**Keywords:** epoxy resin, metal oxide, polyaniline, the electric field, the electrical conductivity.