

УДК 678.011:544.6

## **ELECTROMAGNETIC LOSSES IN CARBON/POLYMER COMPOSITES WITH COPPER NANORODS ADDITIVES**

SHPAK Yu.V., DRAGAN D.R., SENYK I.V., BARSUKOV V.Z.  
*Kyiv National University of Technologies and Design*  
*Ilona\_Senyk@i.ua*

The work is devoted to investigating the influence of some nano-metal additives on shielding properties of graphite-carbon-polymer composites against electromagnetic radiation (EMR).

It was shown that due to addition of as much as 3% of electrochemically synthesized copper nanorods into the graphite-carbon-polymer composite it is possible to achieve a decrease in EMR up to 1000 times in the 17-27 GGz microwave frequency range.

It is planned to use the electrochemically synthesized copper nanorods as effective additives to the graphite-carbon-polymer coatings, which can increase their shielding effectiveness to protect personnel and equipment from EMR.

## **ЕЛЕКТРОМАГНІТНІ ВТРАТИ В КОМПОЗИТАХ ВУГЛЕЦЬ/ПОЛІМЕР З ДОМІШКАМИ НАНО-СТЕРЖНІВ МІДІ**

ШПАК Ю.В., ДРАГАН Д.Р., СЕНИК І.В., БАРСУКОВ В.З.  
*Київський Національний університет технологій та дизайну*  
*Ilona\_Senyk@i.ua*

Робота присвячена дослідженню впливу деяких nano-металевих включень на екрануючі властивості графіт-вуглець-полімерних композитів від електромагнітного випромінювання (ЕМВ).

Показано, що введенням до складу вуглецевого композиту наностержнів міді, отриманих електрохімічним шляхом, в кількості 3% можна досягти зменшення ЕМВ до 1000 разів в СВЧ діапазоні 17-27 ГГц. Планується використання електрохімічно-синтезованих мідних наностержнів як ефективних добавок до графіт-вуглець-полімерних покриттів, що може підвищити екрануючі властивості для захисту персоналу та обладнання від впливу ЕМВ.

Проблема захисту персоналу та обладнання від електромагнітного випромінювання (ЕМВ) набуває все нових аспектів, що пов'язано з бурхливим розвитком різноманітних технологій та сфер діяльності людини.

Найлегше здійснити захист від ЕМВ шляхом його екранування. Поглинаючі екрани (покриття) застосовують у тих випадках, коли відбита електромагнітна енергія від внутрішніх поверхонь суцільних металевих екранів може суттєво порушувати режим роботи НВЧ генератора. Тому поглинаючі покриття повинні по можливості повністю поглинати енергію. Цього досягають підбором діелектричних та магнітних проникностей поглинаючого матеріалу. Проте, існує ряд недоліків таких матеріалів: вузька робоча частота, необхідність забезпечення великих товщин покриття (від 1 мм та вище), що в свою чергу веде до збільшення масогабаритних параметрів, тощо.

Ефективність використання наночасток металів в великій мірі залежить від застосовуваного методу синтезу. Найбільш доступним методом є формування в об'ємі матеріалу упорядкованих структур (шарів, пор) з подальшим їх заповненням металом. Для цієї мети широке поширення отримали плівки анодного оксиду алюмінію (АОА), що характеризуються високоупорядкованим розташуванням гексагональних пор, розміщених перпендикулярно до поверхні [1]. В роботі [2] відзначено вплив морфології деяких металів на захисні властивості композитних матеріалів, виготовлених на їх основі.

У зв'язку з цим була поставлена задача розробити покриття, здатне до блокування ЕМВ від працюючого обладнання з максимальними втратами при мінімальних товщинах (до 200 мкм). Вивчалась можливість та ефективність включення до складу композитів металевих часточок, синтезованих електрохімічними та хімічними методами.

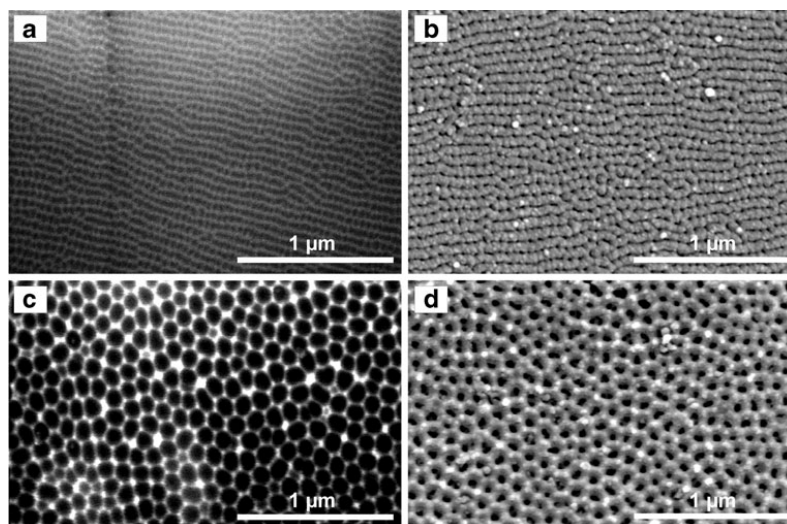
### **Методика експерименту**

Металеві нано-частинки вирощували в матриці  $Al_2O_3$ . Оксидну матрицю електрохімічно синтезували за методикою [3] з алюмінієвої фольги чистотою 99,5% в 0,3 М розчині щавлевої кислоти при прикладеній напрузі 45 В та температурі 20 °С. Вирощування мідних нано-волокон (нано-стержнів) здійснювали з електроліту, який містив в своєму складі  $CuSO_4$  0,9 М та  $H_2SO_4$  0,6 М [1].

Зразки композитних графіт-вуглець-мідь-полімерних фарб готували шляхом змішування сухих компонентів, які потім вводили в заздалегідь приготовлений розчин полімеру. Плівку формували методом нанесення пензликом на субстрат, висушували при температурі склування полімеру 50-60 °С. Електропровідність оцінювали за методом вимірювання питомого опору з використанням чотирьох-електродної комірки. Електромагнітні втрати визначали за допомогою автоматичного вимірювача згасання в діапазоні частот 17-27 ГГц за стандартною схемою вимірювання мікрохвильового згасання в чотирьохполюсниках.

## Результати та обговорення

Оксидований алюміній використовувався як матриця для вирощування нановолоконних мідних структур [3, 4]. В роботах [5-6] детально досліджено різноманітні параметри та умови електрохімічного синтезу оксидної матриці. В результаті двостадійного електрохімічного оксидування металевого алюмінію (рис. 1) утворюється упорядкована пориста структура, з рівномірним розподілом пор, товщинами стінок та внутрішнього діаметру пор.



*Рис. 1. СЕМ зображення поверхні алюмінієвого зразка після електрополірування (а), шару оксиду алюмінію після першого кроку анодизації (б), поверхні металу після оксидного відновлення (с) та пориста матриця  $Al_2O_3$  після другого кроку анодизації (d)*

Матеріали, отримані в результаті електрохімічного синтезу в таких матрицях, відрізняються високою чистотою, контрольованістю форм та розмірів часточок.

В даній роботі порівняні вклади в екранування від ЕМВ нановолокон міді з порошковою міддю марки ПМВ-С 0045 К з розміром часточок 45-63 мкм та базовою графіт-вуглець-полімерною фарбою.

Отримані результати досліджень (рис. 2) відображають загальні втрати ЕМВ, які вносить зразок. Так, базова графіт-вуглець-полімерна фарба вносить втрати на рівні -23 дВ при товщині зразка не більше 160 мкм, що відповідає подавленню сигналу більше ніж в 100 разів. Включення до складу фарби навіть невеликої кількості металевих часточок (3%) дозволяють покращити ці результати (рис. 2) адже вони підвищують електропровідність системи і не впливають суттєво на масогабаритні показники.

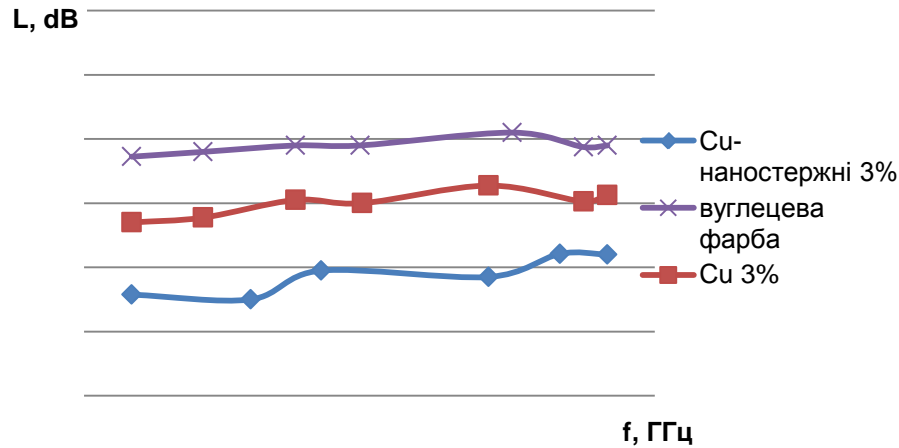


Рис. 2. Частотні характеристики втрат зразків графіт-вуглецевих фарб з вмістом 3% часточок міді в різній формі

Введення порошкових металевих часточок міді (3% за масою) безумовно привело до збільшення втрат, проте введення волокнистих структур міді в такий самій кількості дозволяє покращити результат екранування в середньому аж до -27 dB (майже в 1000 разів).

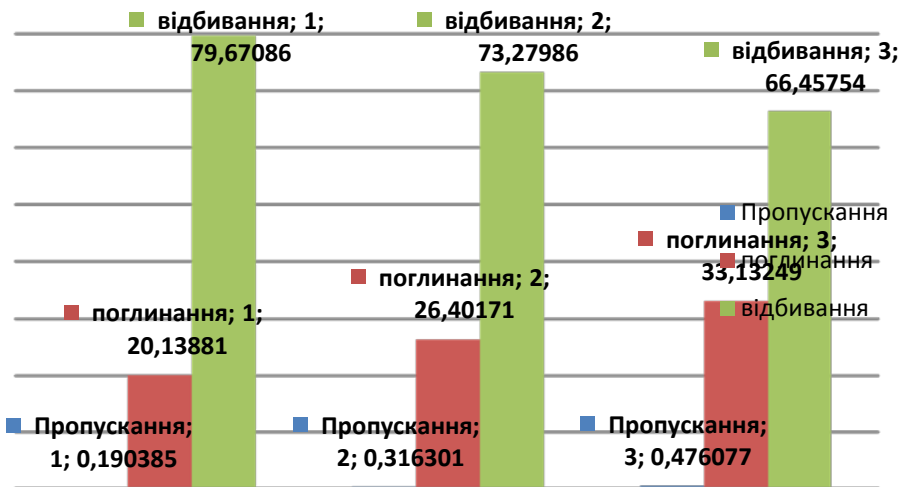


Рис. 3. Діаграма розподілу електромагнітних втрат в середині композиту, де 1 – вуглецева фарба з Cu-волоконками (3%), 2 – вуглецева фарба з порошковою Cu (3%), 3 – вуглецева фарба

При проектуванні захисних покриттів від електромагнітного випромінювання важливо враховувати область його використання. Для вирішення задачі «узгодженості» роботи обладнання, яке генерує електромагнітне випромінювання, необхідно не тільки запобігти його впливу на інше обладнання та обслуговуючий персонал, але й не створити умови «концентрування» електромагнітного поля в середині приладу. Тому використання тільки металевих покриттів часто не достатньо для вирішення цих проблем і необхідно створювати багатосарові покриття з різними

електричними та магнітними проникностями, чи градієнтні структури, що безумовно підвищує кошторис та ускладнює технологію виготовлення таких матеріалів. Вуглецева фарба може застосовуватись як основа для створення гібридних захисних покриттів, оскільки третина електромагнітного потоку втрачається в процесі поглинання при проходженні через зразок (рис. 3). Звичайно, внесення до складу металевих включень дещо змінює картину розподілу електромагнітних втрат в сторону збільшення коефіцієнту відбиття, але такі композитні матеріали зберігають здатність до поглинання ЕМВ. Картину розподілу електромагнітних втрат можна змінювати підбираючи оптимальні склади компонентів.

### **Висновки**

Таким чином, в роботі досліджено вплив металічних включень на втрати в структурах композитів. Доведено перевагу електрохімічно синтезованих волокнистих структур перед порошковими матеріалами на прикладі міді. Запропоновані матеріали можуть бути використані в проектуванні захисних та блокуючих екранів від НВЧ випромінювань.

### **Список посилань**

- [1] Семкина Е.В. Синтез медных нановолокон в матрице пористого анодного оксида алюминия / Е. В. Семкина, Б. И. Байрачный, Л. В. Ляшок, О. В. Борзенко // Вісник НТУ «ХПІ». – 2011. – С. 65-69.
- [2] Елсуков Е. П. Влияние формы, химического и фазового состава частиц на основе Fe на СВЧ-характеристики композитов с диэлектрической матрицей / Е. П. Елсуков, К. Н. Розанов, С. Ф. Ломарев, А. В. Осипов, Д. А. Петров и др. // Журнал технической физики. – 2009. – Т. 79 (4). – С. 125-130.
- [3] Zaraska L. The effect of anode surface area on nanoporous oxide formation during anodizing of low purity aluminum (AA1050 alloy) / L. Zaraska, E. Kurowska, G. Sulka, I. Senyk, M. Jaskula // J. Solid State Electrochem. – 2013. – V. 18. – P. 361-368.
- [4] Losic D. Nanoporous Alumina: fabrication, structure, properties and application / editors D. Losic, A. Santos // Springer series in Materials Science. – 2015. # 219– P. 360
- [5] Zaraska L. Analysis of nanopore arrangement and structural features of anodic alumina layers formed by two-step anodizing in oxalic acid using the dedicated executable software / L. Zaraska, W. J. Stepniowski, M. Jaskula et. al. // Appl. Surf. Sci. – 2014. – V. 305. - P. 650-657.
- [6] Zaraska L. Properties of nanostructures obtained by anodization of aluminum in phosphoric acid at moderate potentials / L. Zaraska, G. D. Sulka, M. Jaskula // J. Phys: Conf.Ser. – 2009. – V. 146. – ID 012020.