

УДК 678.047:
681.61.064

БУДЬКО О.В., БУТЕНКО О.О., ХОМЕНКО В.Г., ТВЕРДОХЛІБ В.С.,
БАРСУКОВ В.З., ЧЕРНИШ О.В.

Київський національний університет технологій та дизайну

ВИКОРИСТАННЯ УЛЬТРАЗВУКУ В ПРОЦЕСІ ВИГОТОВЛЕННЯ ЕЛЕКТРОПРОВІДНИХ ПОКРИТТІВ НА ОСНОВІ ВУГЛЕЦЕВИХ МАТЕРІАЛІВ

Мета. Розробити основи технології одержання електропровідних покриттів з використанням ультразвукового диспергування вуглецевих матеріалів.

Методика. В роботі використані методи: ультразвукового диспергування матеріалів, оптичної мікроскопії, чотирьох електродний метод вимірювання електропровідності покриттів. Вимірювання захисних властивостей матеріалів від високочастотного електромагнітного випромінювання проведені відповідно до стандарту ASTM D4935. Опрацювання результатів досліджень здійснювали з використанням комп'ютерних програм Microsoft Office Excel та ImageJ.

Результати. В роботі шляхом ультразвуку проведена обробка вуглецевих матеріалів з розвиненою питомою поверхнею. Встановлений вплив ультразвукової обробки на ефективність диспергування технічного вуглецю в етанолі. Визначені параметри процесу руйнування часток природного графіту під дією обробки ультразвуком. Запропонований механізм структуроутворення після дії обробки ультразвуком компонентів композитного матеріалу. Встановлений процес формування просторової електропровідної сітки в суспензії диспергованого технічного вуглецю. Показано, що застосування ультразвукової обробки, при одержанні композитних матеріалів для захисту від електромагнітного випромінювання, дозволяє одержати орієнтовані частинки вуглецевого компоненту в полімерній матриці носія і одержані зразки мають високу поверхневу електропровідність та ефективність екранування.

Наукова новизна. Встановлено вплив ультразвукової обробки вуглецевих матеріалів на закономірності одержання, структуру та властивості розроблених електропровідних покриттів для захисту від електромагнітного випромінювання.

Практичне значення. Розроблено основи технології одержання композиційних матеріалів для захисту від електромагнітного випромінювання на основі вуглецевих матеріалів попередньо диспергованих з використанням ультразвукової обробки. Обґрунтовано оптимальні параметри ультразвукової обробки вуглецевих матеріалів для одержання композитів.

Ключові слова: ультразвук, диспергування, екрануючі покриття, графіт, технічний вуглець, електропровідність, електромагнітне випромінювання.

Вступ. Відповідно до висновків Всесвітньої організації охорони здоров'я електронний «смог» в даний час перевищує природний фон у сотні тисяч разів. Ця організація вважає питання захисту населення від електромагнітного випромінювання більш важливою проблемою навіть у порівнянні з проблемою захисту від радіації [1].

Металеві екрани, які захищають від електромагнітного випромінювання, в наш час ефективно замінюються електропровідними полімерними композитами на основі вуглецевих матеріалів [2,3]. Відомо, що електромагнітні хвилі в значній мірі відбиваються навіть від надтонкого металевих покриття. Однак полімерні композити на основі вуглецевих матеріалів мають ряд переваг: вони дешевші, легші, не кородують, їм простіше надавати потрібну форму. Крім того, полідисперсність вуглецевих часточок сприяє розсіюванню та поглинанню

електромагнітних хвиль. Найпростіші такі композити складаються з трьох компонентів: природного графіту, технічного вуглецю і полімерного зв'язуючого [4]. Основна роль відводиться графіту: від форми, розміру і орієнтації його часточок суттєво залежить електропровідність композиту [5, 6].

Враховуючи просторову анізотропію електропровідності часточок графіту, в композит додають технічний вуглець. По електропровідності він поступається графіту, але в полімерній матриці здатен формувати просторову сітку, яка покращує електричний контакт між призматичними гранями часточок графіту. Для утворення ефективної електропровідної сітки промисловий гранульований технічний вуглець диспергують до часточок необхідних розмірів [7, 8,]. Серед різних методів диспергування твердих тіл заслуговує уваги ультразвуковий метод [9], який дозволяє не тільки достатньо чітко контролювати процес, але й видаляти адсорбовані вуглецевими часточками низькомолекулярні речовини, які негативно впливають на електропровідність композиту. Крім того, диспергування проходить в суцільному рідкому середовищі, що перешкоджає окисленню диспергованих часточок.

Постановка завдання. За мету роботи поставлено дослідження впливу ультразвукової обробки вуглецевих матеріалів для одержаних захисник композитних покриттів від електромагнітного випромінювання; виявлення впливу режимів ультразвукової обробки на структуру та характеристики полімер-вуглецевих композитів.

Методологія досліджень. У роботі були досліджені наступні вуглецеві матеріали: акумуляторний графіт ГАК (ЗАТ «Заваллівський графіт», Україна), гранульована ацетиленова сажа «VULCAN P» (Cabot Corporation, США). Для отримання полімер-вуглецевих композитів в якості зв'язуючого використовувався 10%-ий спиртовий розчин полівінілбутиралу (ПВБ).

Диспергування компонентів проводилось із застосуванням ультразвукового диспергатора (УЗД) марки УЗДН–А1200Т з використанням наконечника діаметром 20 мм в товстостінному скляному циліндрі діаметром 4,5 см з параболічним дном. В якості робочої рідини використаний ізопропіловий спирт або дистильована вода об'ємом 40 мл. В процесі ультразвукової обробки диспергування циліндр охолоджувався водою. Максимальна потужність ультразвукового генератора становила 1200 Вт. Структура зразків досліджена в прохідному, відбиваючому і змішаному світлі методами оптичної мікроскопії з використанням оптичних мікроскопів МБІ-15У42 та МБС-9.

Одержані суспензії наносилися ракельним методом аплікатором із зазором 300 мкм за допомогою приладу компанії TMAXCN на папір щільністю 120 г/см². Товщина шару композитного полімер-вуглецевого покриття складала 80-150 мкм. Питомий опір зразків визначений чотирьохелектродним методом за допомогою комірки ST2558B-F01 [1].

Ефективність екранування височастотного випромінювання композитів визначена відповідно до стандарту ASTM D4935. Дослідження проведені за допомогою вимірювального комплексу фірми Keysom Corp. (Японія). Комплект обладнання включав векторний аналізатор електричних ланцюгів MS46122B-020 і спеціалізований набір TEM-комірок (Transversal ElectroMagnetic Cell) [10].

Результати дослідження. Експериментально визначені характеристики сажі «VULCAN Р»: середній розмір частинок та їх розподіл, рН водної витяжки, зольний залишок. Вказаний зразок має низьку насипну щільність ($0,273 \text{ г/см}^3$) і високу маслоємність (4,2 мл/г). Слабокисла реакція водної витяжки (рН=5,8) вказує на незначне окислення цього матеріалу. Аналіз зольного залишку, отриманого при температурі 1050°C протягом 3 годин, вказує, що він переважно складається з дрібнодисперсних кристалів оксиду заліза (рис 1).

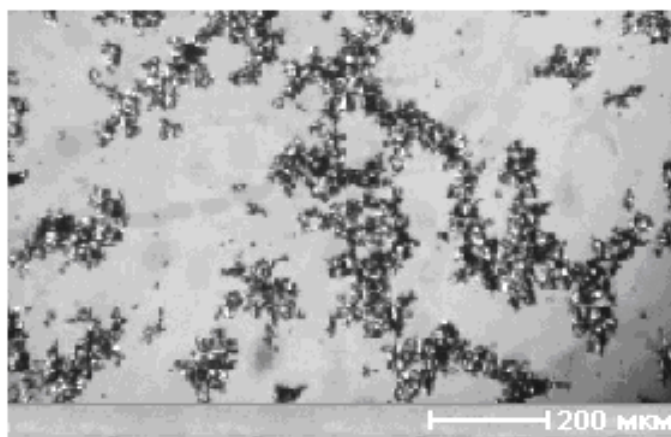


Рис. 1. Мікрофотографія зольного залишку після термічної обробки сажі «VULCAN Р»

Гранули промислової ацетиленової сажі мають близьку до кулеподібної форму. Поверхня цих гранул достатньо гладка. Розмір гранул - від десятків до сотень мікрометрів. Під дією зовнішнього навантаження вони крихко розколюються із утворенням часточок з плоскими гранями і гострими кутами.

В роботі досліджений режим диспергування. Обробка зразку при різній потужності УЗ генератора становила 2 с., пауза -2 с., загальна тривалість обробки - 30 хв. Відомо, що значення порогу перколяції для композитів на основі різних зразків ацетиленової сажі знаходиться в діапазоні 12-25%. Максимальну електропровідність мають композити з вмістом сажі 70% [7, 8]. Із зразків сажі «VULCAN Р», що пройшли ультразвукову обробку, були виготовлені композитні матеріали із зв'язуючим у співвідношенні 1:1. Питомий опір одержаних матеріалів наведена у табл.1.

Таблиця 1

Залежність питомого опору зразків від інтенсивності ультразвукової обробки зразку сажі

Потужність УЗД*, Вт	120	240	480	720	840	960	1080
Питомий опір, Ом·см	—	1306	507	290	188	620	1376

*- Потужність ультразвукового генератора (УЗД)

Відповідно до Табл. 1, при збільшенні потужності генератора до 840 Вт питомий опір зразків зменшується, а подальше підвищення потужності УЗД призводить до погіршення характеристик. Відомо, що електропровідність технічного вуглецю залежить від ступеня

організації його первинної структури [11, 12]. Руйнування такої структури може призводити до зменшення електропровідності полімерного композиту, а відповідно до зростання питомого опору покриття. Зменшенню електропровідності сприяє також збільшення контактного опору між високодисперсними часточками. Враховуючи одержані результати, потужність УЗ генератора була обмежена 840 Вт.

Ефективність диспергування технічного вуглецю можна оцінити за поведінкою утвореної суспензії при відключенні генератора. На початкових стадіях диспергування відбувається седиментація часточок в суспензії. Швидкість седиментації обумовлена розміром часточок. При зменшенні розміру часточок, суспензія поступово перетворюється в гель, який у спокійному стані ущільнюється з утворенням чіткої границі з рідиною.

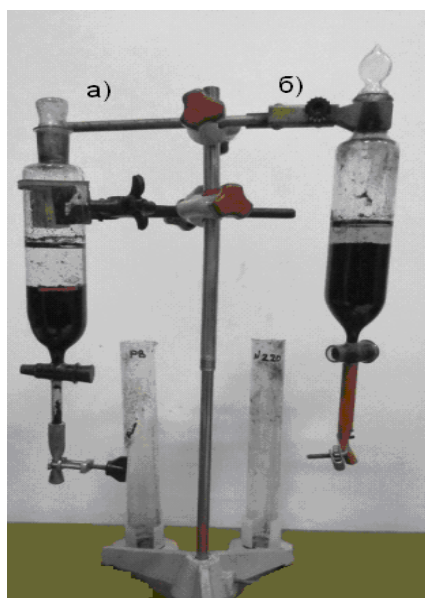


Рис. 2. Об'єми гелю через певний час після диспергування: а) 10 хв.; б) 30 хв

Об'єм гелю через фіксований час після диспергування пов'язаний з розміром часточок сажі. Процес утворення гелю досліджений мікроскопічним методом. На скло з ввігнутою поверхнею наносилась розбавлена суспензія диспергованої сажі. На початкових етапах дослідження за допомогою оптичного мікроскопа можна спостерігати хаотичний рух елементарних часточок. Часточки часто стикаються одна з одною, змінюючи при цьому напрям руху. Також зіткнення призводить до з'єднання часточок. Не виключено, що між ними за рахунок неспарених електронів, які утворились при руйнуванні гранул, виникає хімічний зв'язок. Таким чином, поступово утворюються гнучкі лінійні і розгалужені ланцюжки. По мірі росту їх рухливість зменшується. В процесі випарювання рідини із ввігнутого скла, ланцюжки наближаються один до одного і утворюють пористі об'ємні агрегати. На наступній стадії випарювання рідини формується просторова малорухома структура гелю. Етапи гелеутворення представлені на рис. 3.

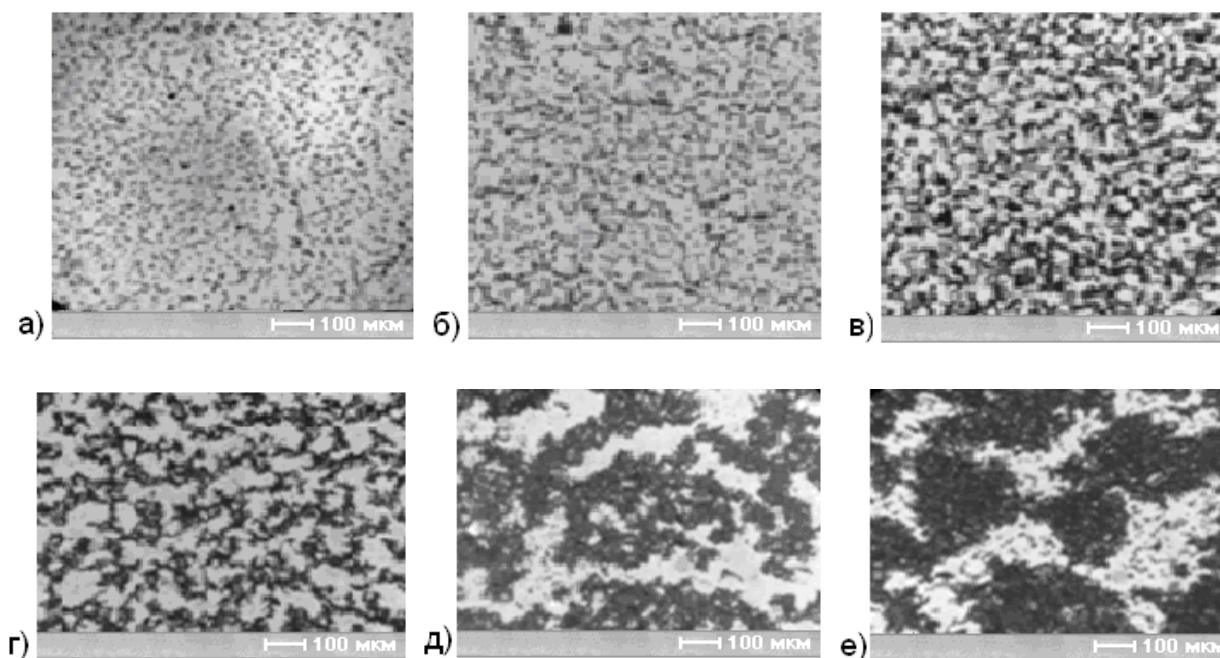


Рис. 3. Мікрофотографії утворення гелевої структури: а- початок експерименту; б- через 7 с.; в- через 12 с.; г- через 17 с.; д – через 22 с.; е - через 30 с

Повне висушування гелю призводить до утворення достатньо щільної пористої структури сажі, що потребує її додаткового диспергування при виготовленні композитних матеріалів.

Акумуляторний графіт ГАК відноситься до крупнодисперсних графітів. Експериментально визначено, що основна кількість часточок має розміри від 100 до 200 мкм, але зустрічаються часточки, розмір яких досягає 500 мкм. Форма часточок може бути як двох-вимірною так і трьох-вимірною (рис.4).

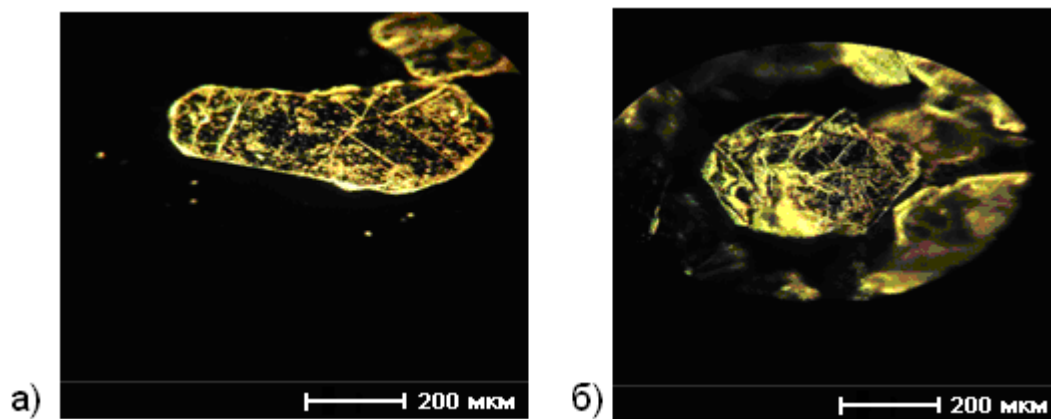


Рис. 4. Форма часточок графіту: а) двох-вимірною, б) трьох-вимірною

Товщина двох-вимірних часточок від долі мікрметра до декількох мікрметрів. Трьох-вимірні часточки графіту в більшості випадків утворені ансамблем більш дрібніших часточок з

різною просторовою орієнтацією. Бокові грані часточок часто заокруглені. Ймовірно, що в процесі переробки руди відбувається деформація периферійних ділянок графенових шарів. На базових поверхнях великих часточок можна бачити значну кількість дрібно-дисперсних часточок. Оскільки розмір двох-вимірних часточок значно перевищує товщину покриттів, то очевидно, що при нанесенні композиту на тверду поверхню вони орієнтуються паралельно поверхні. Звичайно, що така орієнтація повинна сприяти підвищенню поверхневої електропровідності. Враховуючи просторову анізотропію механічних властивостей кристалів графіту, можна передбачити, що ультразвукове диспергування сприяє розщепленню їх часточок по графенових шарах і збільшенню загальної площі поверхні цього матеріалу. Дійсно, при диспергуванні спостерігається розщеплення часточок графіту по міжграфеновим площинам (рис. 5а) і часткове дроблення графенових шарів (рис.5б).

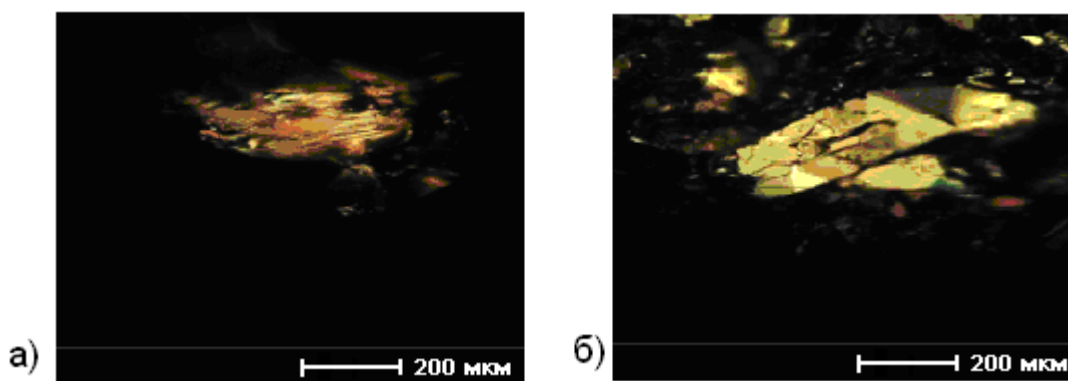


Рис. 5. Часточки диспергованого ультразвуком графіту ГАК

Такому дробленню сприяють внутрішні дефекти у вигляді мікропорожнин і дрібних мінеральних включень. Після диспергування графіту протягом 30-ти хвилин середній розмір часточок зменшився приблизно на 40%. Характерно, що дрібнодисперсні часточки диспергованого графіту в суспензії здатні формувати достатньо стійкі об'ємні структури.

Для того, щоб з'ясувати можливий вплив зміни структурних змін в графіті на його електропровідність, були виготовлені зразки на основі вихідного і УЗ диспергованого графіту. Поверхневий опір зразків з графітом, що піддавався УЗ диспергуванню, виявився в середньому на 30% нижчим.

Також ультразвук здійснює вплив і на макромолекули зв'язуючого. Метод віскозиметрії показав, що в'язкість 10%-го розчину ПВБ після десятихвилинного диспергування у вибраному режимі зменшилась приблизно в 1,5 рази. Згідно опублікованих даних, при дії на розчини полімерів ультразвуку відбувається деструкція макромолекул з утворенням макро-радикалів [13, 14].

Таким чином встановлено, що ультразвук здатен впливати на всі компоненти, які використовуються при виготовленні електропровідних композитів [15,16]. Очевидно, що розрив хімічних зв'язків у процесі руйнування кожного компонента є причиною утворення вільних радикалів.

Для з'ясування впливу УЗ обробки вихідних матеріалів на властивості виготовлених з них покриттів, були досліджені композити, отримані в наступних умовах:

№1 – по технології без використання УЗ обробки;

№2 – з попереднім УЗ диспергуванням вуглецевих компонентів.

Властивості цих композитів представлені в табл. 2.

Таблиця 2

Властивості композитів, виготовлених без (№1) і з використанням (№2) УЗ обробки

Зразки	Поверхневий опір, Ом·см	Екранування ЕМВ, дБ
№1	3.0	-32
№2	2.5	-36

Всупереч нашим очікуванням, що сумісне диспергування ультразвуком графіту з розчином зв'язуючого призведе до зменшення електропровідності покриття за рахунок утворення ізолюючих полімерних шарів навколо вуглецевих часточок, електропровідність зросла в порівнянні з покриттями, отриманими звичайним перемішуванням диспергованих вуглецевих компонентів з розчином зв'язуючого. Таке покриття виявилось більш щільним, без видимих дефектів. Ймовірно, що в цьому випадку УЗ не тільки сприяє очищенню поверхні вуглецевих часточок і їх гомогенному розподілу в композиті, а також зшиванню компонентів у суміші за рахунок утворених вільних радикалів.

Висновки. У роботі були досліджені властивості композитів на основі полівінілбутиралу, наповнених вуглецевими матеріалами, що піддавалися ультразвуковому диспергуванню. Показано, що параметрами (потужність УЗГ та часові періоди обробки) ультразвукового процесу можна контролювати та досягти оптимального складу композитного матеріалу. Запропонований режим ультразвукової обробки дає можливість досягти ефективного диспергування вуглецевих матеріалів, керувати процесом створення просторової електропровідної сітки в суспензії та провести очищення поверхні графіту від аморфного вуглецю та дрібних частинок. Це дозволяє одержувати композитні покриття з поліпшеними електричними і захисними властивостями. В роботі одержанні композитні матеріали з високою ефективністю екранування (до 36 дБ) високочастотного випромінювання.

Література

1. Банный В.В., Игнатенко В.А. Применения полимерных радиопоглощающих материалов в решении проблемы электромагнитной безопасности. Проблемы здоровья и экологии. 2016. 3(49). С. 9-13.
2. Электромагнитные экраны на основе наноструктурированных углеродосодержащих материалов. Е.С. Белоусова [и др.]; под ред. Л.М. Лынькова. Минск: Бестпринт, 2017. 317 с.
3. Lulu Zhong, Rufang Yu, Xinghua Hong. Review of carbon-based electromagnetic

References

1. Bannyiy V.V., Ignatenko V.A. 2016. Primeneniya polimernyih radiopogloschayuschiy materialov v reshenii problemyi elektromagnitnoy bezopasnosti. [The use of polymeric radio-absorbing materials in solving the problem of electromagnetic safety] Problemyi zdorovya i ekologii. 3(49). 9-13. [in Russian].
2. Belousova E.S. (2017). Elektromagnitnyie ekrany na osnove nanostrukturirovannyih uglerodosoderzhaschiy materialov. [Electromagnetic screens based on nanostructured carbon-containing materials]. Pod red. L.M. Lyinkova. Minsk. Bestprint. 317. [in Russian].
3. Lulu Zhong, Rufang Yu, Xinghua Hong. (2020). Review of

shielding materials: film, composite, foam, textile. 2020. Textile Research Journal. P. 1-17.

4. Барсуков В. З., Сенік І.В., Хоменко В.Г., Савченко Б.М., Крюкова О.А. Композиція для формування композиційного матеріалу для захисту від ЕМВ та спосіб одержання композиційного матеріалу на субстраті. Патент України на винахід, №117949, 2018.

5. Будько О.В., Бутенко О.О., Хоменко В.Г., Короташ І.В., Твердохліб В.С., Барсуков В.З. Вплив морфології природних графітів на екрануючі властивості композитних матеріалів. Вісник КНУТД №6 (140) 2019. С. 48-57.

6. Лушечкин Г.А. Методы исследования электрических свойств полимеров. М.: Химия, 1988. 160 с.

7. Гуль В. Е., Шенфиль Л. З. Электропроводящие полимерные материалы. М. Химия. 1984. 240 с.

8. Березкин В.И. Углерод: замкнутые наночастицы, макроструктуры, материалы. СПб.: АртЭго. 2013. 450 с.

9. Jasmin Schomakers, Axel Mentler, Herwig Mayer. Determination of dissolved organic carbon in soils with UV spectroscopy, ultrasonic dispersion pre-treatment and separation with size exclusion chromatography. SJSS. Spanish journal of Soil Science. 2014. V. 4 (20). P.127-142.

10. Бутенко О. О., Черниш О.В., Хоменко В. Г., Твердохліб В. С., Барсуков В. З. Особливості впливу наноматеріалів на екранування електромагнітного випромінювання композитами. Вісник КНУТД №3 (146) 2020. С. 155-164.

11. Михайлин Ю.А. Специальные полимерные композиционные материалы. Санкт-Петербург: НОТ. 2009. 664 с.

12. Криков В. С., Колмакова Л. А. Электропроводящие полимерные материалы. М. Энергоатомиздат, 1984. 176 с.

13. Барамбойм Н.К. Механохимия высокомолекулярных соединений. Изд. 3-е. перераб. и доп. М. Химия. 1978.

14. Семенюк Н.Б., Левицька Х.В., Дзяман І.З., Дудок Г.Д., Скорохода В.Й. Використання ультразвуку у реакціях

carbon-based electromagnetic shielding materials: film, composite, foam, textile. Textile Research Journal. 1-17. [in English]

4. Barsukov V. Z., Senyk I.V., Khomenko V.H., Savchenko B.M., Kriukova O.A. (2018). Kompozytsiia dlia formuvannia kompozytsiinoho materialu dlia zakhystu vid EMV ta sposib oderzhannia kompozytsiinoho materialu na substrati. [Composition for forming composite material for protection against EMR and method for producing composite material on substrate]. Patent Ukrainy na vynakhid, №117949. [in Ukrainian].

5. Budko O.V., Butenko O.O., Khomenko V.H., Korotash I.V., Tverdokhlib V.S., Barsukov V.Z. (2019). Vplyv morfolohii pryrodnykh hrafitiv na ekranuiuchi vlastyivosti kompozytnykh materialiv. [Influence of morphology of natural graphites on shielding properties of composite materials]. Visnyk KNUTD. 6 (140). 48-57. [in Ukrainian].

6. Lushcheykin G.A. (1988). Metody issledovaniya elektricheskikh svoystv polimerov. [Methods for studying the electrical properties of polymers]. M. Himiya. 160. [in Russian].

7. Gul V. E., Shenfil L. Z. (1984). Elektroprovodyaschie polimernye materialy. [Electrically conductive polymer materials]. M. Himiya. 240. [in Russian].

8. Berezkin V.I. (2013). Uglerod: zamknutyie nanochastitsyi, makrostrukturnyi, materialy. [Carbon: closed nanoparticles, macrostructures, materials]. SPb. ArtEgo. 450. [in Russian].

9. Jasmin Schomakers, Axel Mentler, Herwig Mayer. (2014). Determination of dissolved organic carbon in soils with UV spectroscopy, ultrasonic dispersion pre-treatment and separation with size exclusion chromatography. SJSS. Spanish journal of Soil Science. 4 (20). 127-142. [in English]

10. Butenko O. O., Chernysh O.V., Khomenko V. G., Tverdokhlib V. S., Barsukov V. Z. (2020). Osoblyvosti vplyvu nanomaterialiv na ekranuvannya elektromagnitnogo vyprominyuvannya kompozytamy. [Features of the influence of nanomaterials on shielding of electromagnetic radiation by composites] Visnyk KNUTD. 3(146). 155-164. [in Ukrainian].

11. Miheylin Yu.A. (2009). Spetsialnyie polimernye kompozitsionnyie materialy. [Special polymer composite materials]. Sankt-Peterburg: NOT. 664. [in Russian].

12. Krikorov V. S., Kolmakova L. A. (1984). Elektroprovodyaschie polimernye materialy. [Electrically conductive polymer materials]. M. Energoatomizdat. 176. [in Russian].

13. Baramboym N.K. (1978). Mehanohimiya vyisokomolekulyarnyih soedineniy. [Mechanochemistry of high molecular weight compounds]. Izd. 3-e. pererab. i dop. M. Himiya. [in Russian].

одержання полімерів полівінілпіролідону та (нано) композитів на їхній основі. Вісник НУ «Львівська політехніка». 2018. С. 220-225.

15. Kang, W., & Li, H. Enhancement of flaky graphite cleaning by ultrasonic treatment. Royal Society Open Science. 2019. V. 6(12). P.1-11.

16. Guittonneau, F., Abdelouas, A., Grambow, B., & Huclier, S. The effect of high power ultrasound on an aqueous suspension of graphite. Ultrasonics Sonochemistry. 2010. V. 17(2). P.391–398.

14. Semeniuk N.B., Levytska Kh.V., Dziaman I.Z., Dudok H.D., Skorokhoda V.I. (2018). Vykorystannia ultrazvuku u reaktsiiakh oderzhannia polimeriv polivinilpirolidonu ta (nano) kompozytiv na yikhonii osnovi. [The use of ultrasound in reactions for the production of polymers of polyvinylpyrrolidone and (nano) composites based on them]. Visnyk NU Lvivska politekhnika. 220-225. [in Ukrainian].

15. Kang, W., & Li, H. (2019). Enhancement of flaky graphite cleaning by ultrasonic treatment. Royal Society Open Science. 6(12). 1-11. [in English]

16. Guittonneau, F., Abdelouas, A., Grambow, B., & Huclier, S. (2010). The effect of high power ultrasound on an aqueous suspension of graphite. Ultrasonics Sonochemistry. 17(2). 391–398 [in English]

BUTKO OKSANA

oksanaadendura@gmail.com

Dpartment of Electrochemical PowerEngineering
and Chemistry

Kyiv National University of Technologies and Design

KHOMENKO VOLODYMYR

Scopus Author ID: 7004402598

orcid.org/0000-0003-0013-8010

ResearcherID: X-2214-2018;

v.khomenko@i.ua

Dpartment of Electrochemical PowerEngineering and
Chemistry

Kyiv National University of Technologies and Design

BARSUKOV VIACHESLAV

Scopus Author ID: 8590938100

orcid.org/0000-0002-3041-2474

ResearcherID: O-6308-2017;

v-barsukov@i.ua

Dpartment of Electrochemical Power
Engineering and Chemistry

Kyiv National University of Technologies and Design

BUTENKO OKSANA

Scopus Author ID: 57207988484

ORCID.org/0000-0002-4513-3355

ResearcherID: AAH-4024-2019;

butenco@bigmir.net

Dpartment of Electrochemical Power
Engineering and Chemistry

Kyiv National University of Technologies and Design

TVERDOHLIB VIKTOR

orcid.org/0000-0002-5764-9842

tverdohlib.vs@knutd.edu.ua

Dpartment of Electrochemical PowerEngineering and
Chemistry

Kyiv National University of Technologies and Design

CHERNYSH OKSANA

Scopus Author ID: 56818919300

orcid.org/0000-0002-9402-1595

ResearcherID: X-2552-2018;

chernish.ov@knutd.edu.ua

Dpartment of Electrochemical Power
Engineering and Chemistry

Kyiv National University of Technologies and Design

**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ УЛЬТРАЗВУКА В ПРОЦЕССЕ ИЗГОТОВЛЕНИЯ
ЭЛЕКТРОПРОВОДЯЩИХ ПОКРЫТИЙ НА ОСНОВЕ УГЛЕРОДНЫХ МАТЕРИАЛОВ**

БУДЬКО О. В., БУТЕНКО О. А., ХОМЕНКО В. Г., ТВЕРДОХЛЕБ В. С.,
БАРСУКОВ В. З., ЧЕРНЫШ О. В.

Киевский национальный университет технологий и дизайна

Цель. Разработать основы технологии получения электропроводящих покрытий с использованием ультразвукового диспергирования углеродных материалов.

Методика. В работе использованы методы: ультразвукового диспергирования материалов, оптической микроскопии, четырех электродный метод измерения электропроводности покрытий. Измерение защитных свойств от высокочастотного электромагнитного излучения проведены в соответствии со стандартом ASTM D4935. Обработка результатов исследований осуществляли с использованием компьютерных программ Microsoft office Excel и ImageJ.

Результаты. В работе путем ультразвука проведена обработка углеродных материалов с развитой удельной поверхностью. Установлено влияние ультразвуковой обработки на эффективность диспергирования технического углерода в этаноле. Определены параметры процесса разрушения частиц природного графита под действием обработки ультразвуком. Предложенный механизм структурообразования после воздействия обработки ультразвуком компонентов композитного материала. Установленный процесс формирования пространственной электропроводящей сетки в суспензии диспергированного технического углерода. Показано, что применение ультразвуковой обработки при получении композитных материалов для защиты от электромагнитного излучения позволяет получить ориентированные частицы углеродного компонента в полимерной матрице носителя и полученные образцы имеют высокую поверхностную электропроводность и эффективность экранирования.

Научная новизна. Установлено влияние ультразвуковой обработки углеродистых материалов на закономерности получения, структуру и свойства разработанных электропроводящих покрытий для защиты от электромагнитного излучения.

Практическое значение. Разработаны основы технологии получения композиционных материалов для защиты от электромагнитного излучения, на основе углеродных материалов предварительно диспергированных с использованием ультразвуковой обработки. Обоснованы оптимальные параметры ультразвуковой обработки углеродистых материалов для получения композитов.

Ключевые слова: ультразвук, диспергирование, экранирующие покрытия, графит, технический углерод, электропроводность, электромагнитное излучение.

APPLICATIONS OF ULTRASOUND IN MANUFACTURING PROCESS OF ELECTRIC CONDUCTIVE COATINGS BASED ON CARBON MATERIALS

BUDKO O. V., BUTENKO O.O., KHOMENKO V.G., TVERDOKHLIB V.S.,
BARSUKOV V.Z., CHERNYSH O.V.

Kyiv National University of Technologies and Design

Purpose. Development of the basics of technology for obtaining electrically conductive coatings using ultrasonic dispersion of carbon materials.

Methods. The following methods were used in the work: ultrasonic dispersion of materials, optical microscopy, four-electrode method of measuring the electrical conductivity of coatings. The shielding effectiveness of materials was performed following ASTM D4935. The research results were processed using computer programs Microsoft office Excel and ImageJ.

Results. The ultrasound treatment of carbon materials with a high specific surface area was performed. The influence of ultrasonic treatment on the efficiency of dispersion of carbon black in ethanol was established. The parameters of the process of destruction of natural graphite particles under the action of ultrasonic treatment are determined. The mechanism of structure formation into the composite material after ultrasonic treatment was proposed. The process of forming a spatial electrically conductive grid in a suspension by dispersed carbon black was established. It was shown that the use of ultrasonic treatment in the production of electromagnetic shielding materials allows to obtain oriented particles of the carbon component in the polymer matrix of the carrier and to get samples with high surface conductivity and shielding efficiency.

Scientific novelty. The influence of ultrasonic treatment of carbon materials on the fabrication process, structure, and properties of shielding materials was established.

Practical significance. The basics of the technology of the manufacturing process of shielding materials based on carbon materials pre-dispersed using ultrasonic treatment were developed. The optimal parameters of ultrasonic treatment of carbon materials for manufacturing shielding materials were substantiated.

Keywords. ultrasound, dispersion, shielding coatings, graphite, carbon black, electrical conductivity, electromagnetic radiation.