

УДК 621.3.032:678.746.2

## ЕЛЕКТРОФІЗИЧНІ ВЛАСТИВОСТІ КОМПОЗИТІВ ПОЛІМЕР–ВАРИСТОРНА КЕРАМІКА

**О. Ляшков, К. Антонов, К. Антонова, О. Тонкошкур**

*Дніпропетровський національний університет імені Олеся Гончара  
пр. Гагаріна, 72, 49050 Дніпропетровськ, Україна  
e-mail: cdep@mail.dnu.dp.ua*

У статті запропоновано результати досліджень властивостей композитів полімер-варисторна кераміка. Основними результатами є нова технологія виготовлення композитів поліетилен-варисторна кераміка та полістирол-варисторна кераміка. Перевагами розробленої технології є зниження температури виготовлення композиту поліетилен-варисторна кераміка. Досліджено діелектричні та електричні характеристики композитів полістирол-варисторна кераміка.

Результати досліджень, викладені у статті, можуть бути використані для покращення наявних технологій виготовлення композитів з вмістом полімерів та розробки нових приладів електроніки.

*Ключові слова:* варистор, кераміка, композит, діелектричні характеристики, вольт-амперні характеристики, полімер.

Актуальним напрямом вдосконалення сучасних компонентів захисту від електричних перевантажень (запобіжників, варисторів, обмежувачів струму і напруги) вважаємо розробку електронних приладів з керованими класифікаційними параметрами. Перспективним підходом до рішення цього завдання є використання структур, що є провідними включеннями в полімерній матриці (наприклад, композити графіт-поліетилен для запобіжників PolySwitch, що самовідновлюються). Зокрема, композитній структурі, що є концентрованою системою часток металооксидної варисторної кераміки (МОВК) в полімері відповідає варисторна вольт-амперна характеристика (ВАХ), що зміщується під час зміни температури у бік більшої класифікаційної напруги за рахунок розширення прошарків полімерної матриці між частками.

Тому ми спробували відпрацювати технологію отримання композитів полімер-варисторна кераміка та виміряти діелектричні та електричні характеристики отриманих композитів.

Для виготовлення зразків кераміки використовувалися оксиди марки ОСЧ і ЧДА. Для кожної керамічної системи, керуючись необхідним молярним співвідношенням, розраховувалися масові співвідношення вихідних компонентів.

Зважування робили з точністю до 0,1 міліграма. Компоненти змішували у фарфоровій ступці з додаванням води, що дистилувала протягом однієї години для

отримання однорідності суміші. Далі шихту формували шляхом холодного аксіального пресування при тиску 60 МПа в диски діаметром 20–25 мм і завтовшки 3–4 мм. Після цього спресована заготовка обпалювалася в силитовій печі. Середня швидкість нагрівання – 300 К/год. Досягши максимальної температури 1470–1620 К, нагрів припиняли, і зразки витримувалися в печі протягом однієї години. Потім піч вимикали, і зразки охолоджували з середньою швидкістю охолодження 300 К/год. Температуру в печі контролювали за допомогою платино-родієвої термопари і цифрового вольтметра В7–21а. Градієнт температури робочої області печі становив не більше 10 К/см, при цьому різниця температур випалення для різних зразків однієї партії не перевищувала 30 К.

Далі зразки подрібнювали до порошкоподібного стану і отримана суміш використовували при виготовленні зразків.

З метою виготовлення зразків поліетилен-варисторної кераміки був використаний поліетилен низького тиску та порошок варисторної кераміки. Через те, що поліетилен за кімнатної температури ні в чому не розчиняється, знадобився нагрівальний елемент з регульованою температурою та О-ксилол.

Далі змішували поліетилен з О-ксилолом та ставили на нагрівальний елемент, де гріли суміш до температури 80<sup>0</sup>С. За цієї температури поліетилен під дією О-ксилолу перетворюється на більш-менш рідку суміш, з якою вже можна працювати. Додаємо до поліетилену подрібнений порошок ZnO та швидко перемішуємо, щоб поліетилен не встиг загуснути. Далі отриману суміш заливаємо до форми та примусово охолоджуємо, це робиться для того, щоб частинки не осіли на дно форми.

Після висихання зразків, яке тривало декілька діб, зразкам було надано відповідної форми та приєднано контакти з листової міді  $r = 4$  мм. Приєднували контакти за допомогою графітового порошку та поліетилену. Графітовий порошок змішувався з дистильованою водою та наносився на місце контакту. Графітовий порошок застосовували з метою поліпшення електричного контакту зразка з мідним електродом. Далі поверх графіту клали відшліфований контакт та краї контакту запаювали поліетиленом. Після цього зразки залишали для висихання.

У результаті було отримано зразок поліетилен-варисторної кераміки, над яким надалі проводили дослідження.

З метою виготовлення зразків полістирол-варисторної кераміки було обрано пінополістирол (пінопласт) та порошок варисторної кераміки. З метою розчинення пінопласту було застосовано ацетон.

Шматок пінопласту кладемо до фарфорової ступки та заливаємо його ацетоном. Під дією ацетону пінополістирол розчиняється до стану, коли в нього можна додати домішки. Після цього зразок викладають між скляними пластинами, притискають вагою та залишають на деякий час для висихання. Для подальших досліджень були виготовлені зразки з різною ваговою концентрацією варисторної кераміки: 80, 72, 64, 57, 48%.

Після висихання зразків, яке тривало декілька діб, зразкам було надано відповідної форми та приєднано контакти з листової міді  $r = 4$  мм. Приєднували контакти за допомогою графітового порошку та пінопласту. Графітовий порошок змішувався з дистильованою водою та наносився на місце контакту. Графітовий порошок застосовувався для поліпшення електричного зв'язку зразка з мідним контактом. Далі поверх графіту клали відшліфований контакт та краї запаювалися розчинним пінополістиролом. Після цього зразки залишали для висихання.

Тому було отримано зразки полістирол-варисторної кераміки, над яким надалі проводимо досліді.

Надамо перевагу зразкам полістирол-варисторної кераміки.

Після виготовлення зразків полістирол-варисторна кераміка були досліджені їх діелектричні властивості. Діелектричні властивості вимірювали в діапазоні частот 50–400 кГц. Вимірювання проводили за допомогою Q-метра ВМ 560 з робочим діапазоном 50–35 МГц.

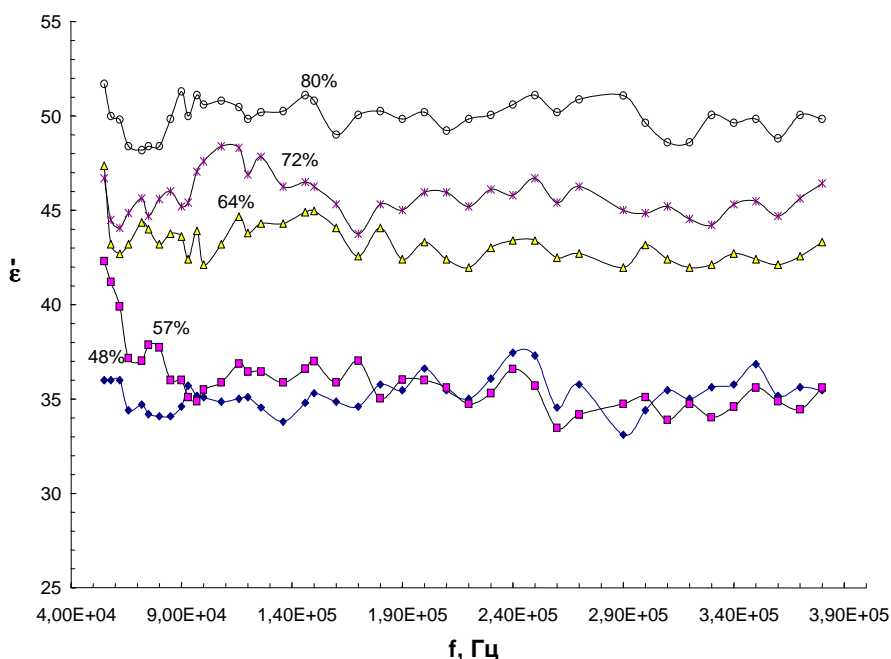


Рис. 1. Частотна залежність  $\epsilon'$  зразків композита полістирол-варисторна кераміка

Дійсна частина комплексної діелектричної проникності ( $\epsilon'$ ) для зразків полістирол-варисторна кераміка мала значення від 32 до 52 майже на всьому діапазоні частот в якому проводились дослідження. Спостерігали зріст  $\epsilon'$  при збільшенні концентрації варисторної кераміки композитів, що можна пояснити уявленнями, які зазвичай використовуються для пояснень діелектричних властивостей варисторної кераміки. Простежується тенденція до зменшення  $\epsilon'$  зі збільшенням частоти, що характерно для неоднорідних матеріалів. Це можна пояснити тим, що у разі збільшення концентрації варисторної кераміки в композиті відбувається збільшення кількості часток кераміки, властивостями якої й зумовлені ємнісні властивості матеріалу загалом.

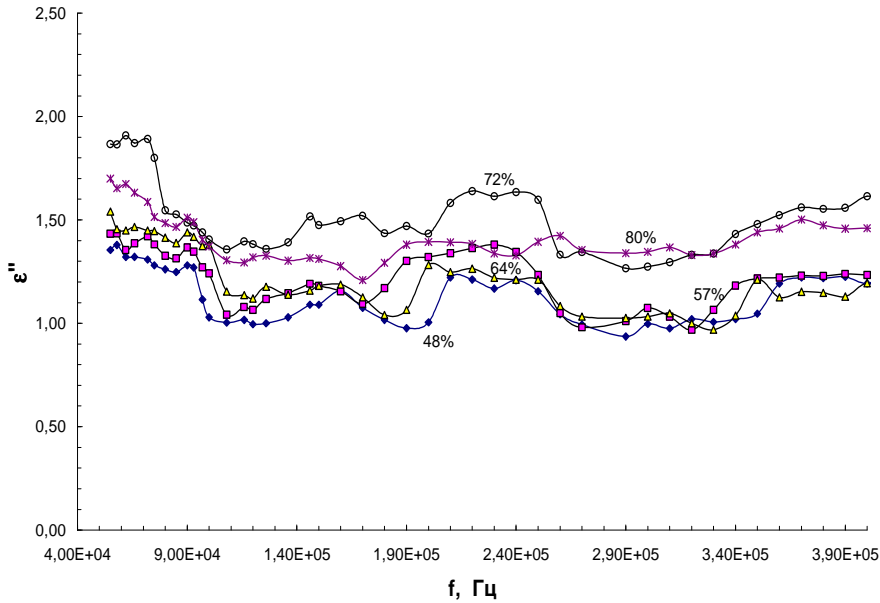


Рис. 2. Частотна залежність  $\epsilon''$  зразків композиту полістирол-варисторна кераміка

Частотні залежності  $\epsilon''$  також залежать від вмісту в матеріалі композиту варисторної кераміки. У діапазоні частот на яких проводилися дослідження  $\epsilon''$  становить приблизно 1,5 та має тенденцію до збільшення при зростанні кількості кераміки в композиті. Таке відносно невелике значення  $\epsilon''$  характерно для полімерних матеріалів загалом. Отож можна констатувати, що уявна частина комплексної діелектричної проникності за низьких напруженостей електричного поля зумовлена насамперед властивостями полістиролу. Спостерігаємо тенденцію до збільшення  $\epsilon''$  із підвищенням концентрації домішки варисторної кераміки в композиті можна пояснити зростанням електропровідності матеріалу загалом. Відсутність чіткої залежності діелектричних характеристик від концентрації кераміки можна пояснити неоднорідністю композита.

Виміри вольт-амперних характеристик композиту поліетилен-варисторна кераміка здійснювались за стандартною методикою, яку використовують для вивчення електричних властивостей варисторної кераміки. На рис. 3 показані ВАХ експериментального зразка композита (2) та варистора СН2-2б (1).

Вольт-амперна характеристика композита нелінійна. Помітно, що одержаний в роботі матеріал порівняно з варисторною керамікою має характеристику, зміщену в бік більших напруженостей електричного поля. Якщо у варисторній кераміці, з якої і був виготовлений композит, нелінійна ділянка ВАХ починається при  $E = 120$  В/мм, то для композита – 280 В/мм. Цей факт можна пояснити спадом напруги на тонких прошарках поліетилену в матеріалі композиту та меншою концентрацією, порівняно з варисторами, фази що є електропровідною.

ВАХ зразків композита полістирол-варисторна кераміка в різних координатах показані на рис. 4–5.

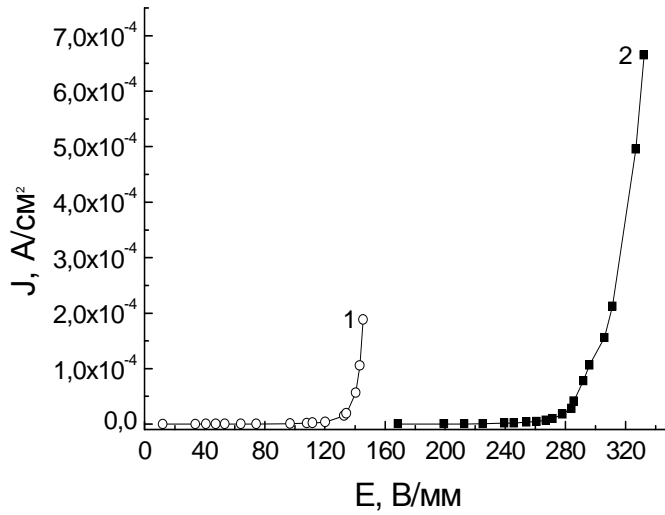


Рис. 3. Вольт-амперні характеристики зразка варисторної кераміки CH2-26 (1) та композита поліетилен-варисторна кераміка (2)

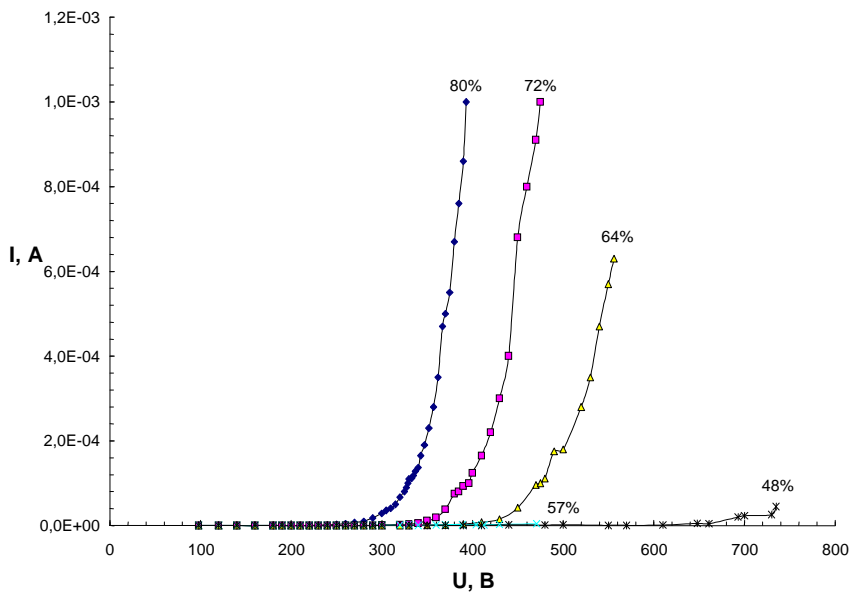


Рис. 4. Вольт-амперні характеристики зразків композита полістирол-варисторна кераміка з різним вмістом кераміки (вагові %)

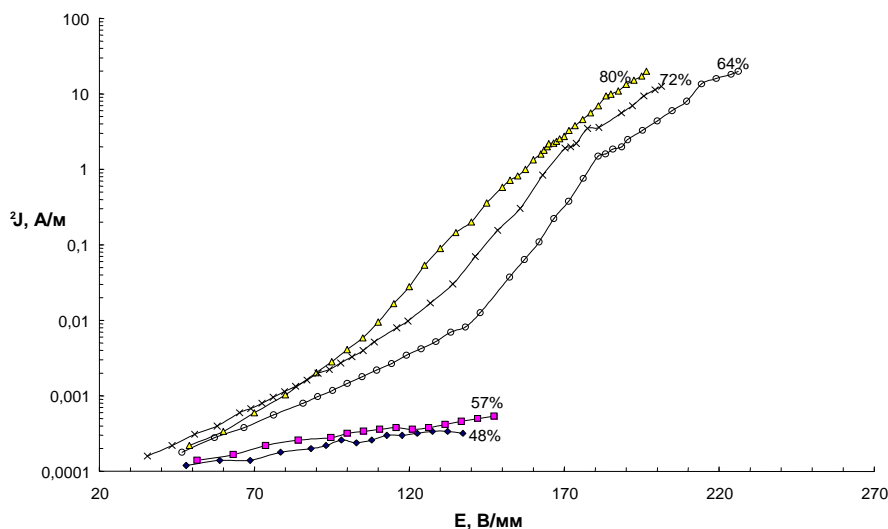


Рис. 5. Вольт-амперні характеристики зразків композита полістирол-варисторна кераміка з різним вмістом кераміки (вагові %)

Загалом простежується збільшення електропровідності на всіх ділянках ВАХ у разі зростання вмісту кераміки в композиті. Відсутність чітких залежностей ВАХ від вмісту домішок можна пояснити неоднорідністю матеріалу, що характерно для варисторних матеріалів в цілому, та недосконалістю технології виготовлення композита. Коефіцієнт нелінійності одержаних зразків композита ( $\beta$ ) становить  $\approx 12$ .

У статті наведено результати досліджень властивостей композитів полімер-варисторна кераміка. Основними результатами є нова технологія виготовлення композитів поліетилен-варисторна кераміка та полістирол-варисторна кераміка. Основними перевагами розробленої технології є зниження температури виготовлення композиту поліетилен-варисторна кераміка з 300–500 до 80 °С.

Вдалося розробити нову перспективну технологію виготовлення композитів з вмістом полістиролу. Додавання домішок в полістирол вдалося здійснити вже за кімнатної температури шляхом розчинення полімера в ацетоні.

Простежували тенденцію до збільшення електропровідності таких композитів зі зростом вмісту варисторної кераміки. Експериментальні матеріали мали нелінійну вольт-амперну характеристику та коефіцієнт нелінійності близько 12. Вдалося узгодити результати діелектричних та електричних вимірювань.

Результати роботи можуть бути використані для покращення наявних технологій виготовлення композитів з вмістом полімерів та розробки нових приладів електроніки.

1. *Тонкошкур А.С.* Вольт-амперная характеристика оксидно-цинкового варистора / А.С. Тонкошкур // Электронная техника. Сер. радиодетали и радиокомпоненты. – 1991. – Т. 2, № 3. – С. 15–19.
2. *Глот О.Б.* Оксидні керамічні варистори / О.Б. Глот, О.І. Івон, О.С. Тонкошкур, І.М. Черненко. – Дніпропетровськ : ДДУ, 1998. – 140 с.
3. *Катков В.Ф.* Формирование структуры оксидно-цинковой керамики / В.Ф. Катков, А.И. Ивон, В.О. Макаров, И.М. Черненко // Неорганические материалы. – 1988. – Т. 24, № 8. – С. 1358–1363.
4. *Greuter F.* Conduction mechanism in ZnO-varistors: an overview: Ceramic Transactions / F. Greuter, G. Blatter, M. Rossinelli, F. Stucki // Westerville, Ohio; American Ceramics Society. – 1989 – P. 31–53

#### **ELECTROPHYSICAL PROPERTIES OF COMPOSITES FROM POLYMER-VARISTOR CERAMICS**

**O. Lyashkov, K. Antonov, K. Antonova, A. Tonkoshkur**

*Oles` Gonchar Dnipropetrovsk National University Department of Radioelectronics  
Gagarin Ave., 72, UA-49050 Dnipropetrovsk, Ukraine  
e-mail: cdep@mail.dnu.dp.ua*

The article gives the results of studying specific features of polymer-varistor ceramics composites. The main results are new techniques of making polymer-varistor ceramics composites and polystyrene ceramics. The advantage of the given technique is decreasing the temperature of making polymer-varistor ceramics composites. Di-electric and electric properties of polymer-varistor ceramics composites have been studied.

The results given in the article may be used for improving the present techniques of making composites that contain polymers, and for developing new electronic devices.

*Key words:* varistor, ceramics, composite, di-electric properties, volt-ampere characteristics, polymer.

**ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА КОМПОЗИТОВ ПОЛИМЕР-ВАРИСТОРНАЯ КЕРАМИКА****О. Ляшков, К. Антонов, К. Антонова, А. Тонкошкур**

*Днепропетровский национальный университет имени Олеся Гончара  
пр. Гагарина, 72, 49050 Днепропетровск, Украина  
e-mail: cdep@mail.dnu.dp.ua*

В статье приведены результаты исследований свойств композитов полимер-варисторная керамика. Основными результатами является новая технология изготовления композитов полиэтилен-варисторная керамика и полистирол-варисторная керамика. Преимуществами разработанной технологии является снижение температуры изготовления композита полиэтилен-варисторная керамика. Исследованы диэлектрические и электрические характеристики композитов полистирол-варисторная керамика.

Результаты исследований, изложенные в статье, могут быть использованы для улучшения существующих технологий изготовления композитов содержащих полимеры и разработки новых приборов электроники.

*Ключевые слова:* варистор, керамика, композит, диэлектрические характеристики, вольт-амперные характеристики, полимер.

Стаття надійшла до редколегії 29.05.2009

Прийнята до друку 07.06.2010