

УДК 691.175.744

Савченко Б.М., докт. техн. наук, професор
Слепцов О.О., канд. техн. наук, асистент
Свістільник Р.Ф., аспірант

Київський національний університет технологій та дизайну, romchigo@gmail.com

ТЕМПЕРАТУРНА ЗАЛЕЖНІСТЬ ПИТОМОГО ЕЛЕКТРИЧНОГО ОПОРУ СТРУМОПРОВІДНИХ ПОЛІМЕРНИХ ПОКРИТТІВ

Питомий електричний опір струмопровідних полімерних покриттів сильно залежить від температури. Дана залежність важлива при створенні гнучких нагрівальних елементів.

Було досліджено температурну залежність питомого електричного опору композицій з вмістом струмопровідного комбінованого наповнювача 70% (графіт марки С1 - 60% мас. сажа марки ХС72 - 10% мас) та полімерних матриць двох видів – полівінілбутираль марки SDW-3А (ПВБ) і бакелітова смола (фенол формальдегідна смола резольного типу А) (БС).

Для отримання рідкого композиційного матеріалу спочатку полімерну матрицю розчиняли в ізопропіловому спирті з отриманням 10% розчину. Далі в отриманий розчин додавали наповнювач – графіт і сажу в потрібному співвідношенні і перемішували суміш з використанням гомогенізатора для диспергування (200 Вт, Магніт ФСХ-2А) протягом 15 хв. Отриману гомогенну суміш за допомогою щілинного аплікатора наносили на паперову підложку товщиною 50 мкм [1]. Зміну питомого електричного опору з температурою фіксували за допомогою використання лабораторної установки (рис. 1).

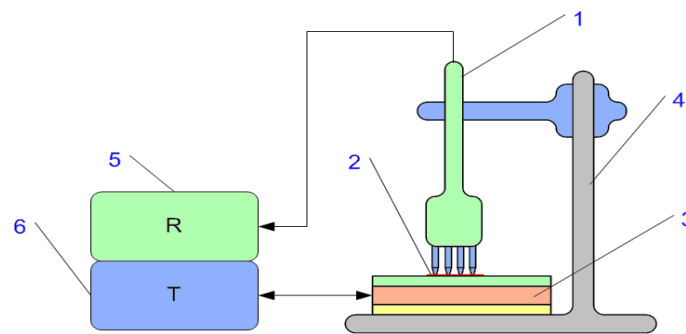


Рис. 1 – Схема установки для вимірювання температурної залежності питомого електричного опору з використанням 4-х електродної комірки: 1 – 4-х електродна комірка; 2 – дослідний зразок; 3 – термокамера; 4 – тримач; 5 – пристрій для реєстрації опору; 6 – блок регулювання температури термокамери

Такий спосіб вимірювання дозволяє визначити об'ємний питомий електричний опір саме покриттів. Питомий поверхневий електричний опір покриття при лінійному розміщенні електродів визначали за формулою [2]:

$$\rho_s = \frac{\pi}{\ln 2} D \frac{U}{I} = 4.53 \cdot D \frac{U}{I}, \quad (1)$$

де ρ_s – питомий поверхневий електричний опір Ом·см;

D – коефіцієнт корекції форми зразка і розміщення зонду під час вимірювання;

U – різниця електричних потенціалів (напруга) на кінцях зразка, В;

I – сила струму, що протікає між кінцями зразка під дією різниці потенціалів, А.

Питомий об'ємний електричний опір покриття визначали за формулою [2]:

$$\rho = \rho_s \cdot H, \quad (2)$$

де H – товщина зразка, м.

Для досліджень було обрано полімерні матриці двох різних типів полімерів. ПВБ – термопластичний полімерний матеріал з температурою склування 60°C та БС – термореактивний полімер, не здатний до плавлення після проходження реакції затвердіння при температурі вище 100°C. Такий вибір зумовлений необхідністю встановлення особливостей впливу типу полімерної матриці на струмопровідні властивості створених полімерних композицій.

Результати досліджень наведено на рис. 2.

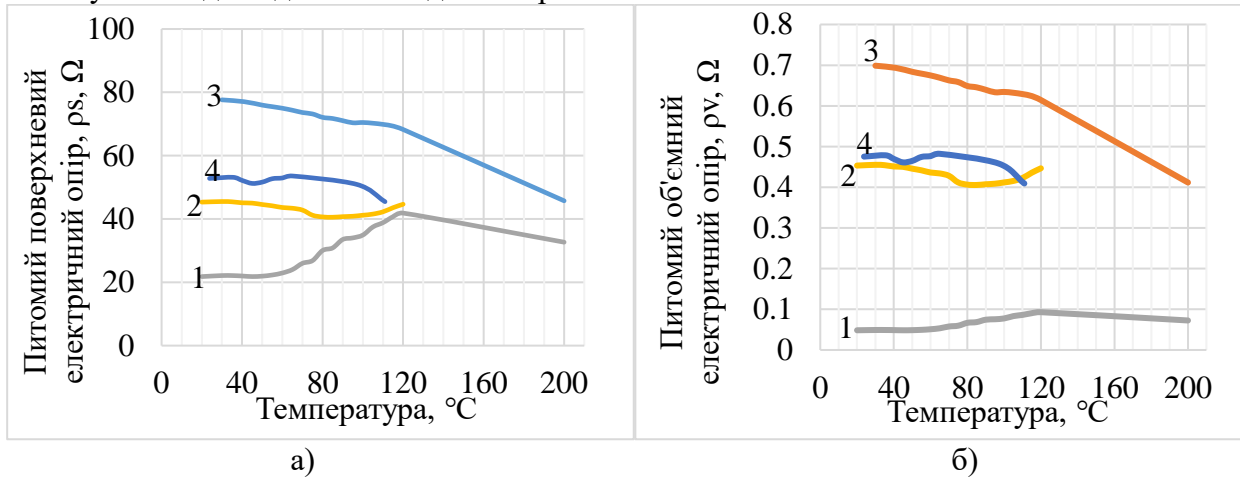


Рис. 2 – Залежність поверхневого (а) та об'ємного (б) питомого електричного опорів від температури для композицій на основі: 1 – ПВБ (1 прогрів); 2 – ПВБ (2 прогрів); 3 – БС (1 прогрів); 4 – БС (2 прогрів).

Перше прогрівання дослідних зразків проводили до температури 200°C для забезпечення проходження терморелаксаційних процесів в полімерних матрицях. Друге прогрівання здійснювали до 120°C для зниження ймовірності проходження термічної деструкції полімерної матриці.

Аналіз отриманих даних показав, що залежності питомого електричного опору для різних полімерних матриць мають різний характер. Для ПВБ (рис. 2, крива 1) спостерігаються два перегини на кривій при першому прогріванні. Перший перегин в області 60°C ймовірно пов'язаний з досягненням ПВБ температури склування і підвищенням рухливості макромолекул. Другий перегин в області 120°C зумовлений кристалізаційними процесами в полімері. Таким чином, в діапазоні 20-60°C питомий електричний опір композиції практично не змінюється, в діапазоні 60-120°C - зростає внаслідок термічного розширення матриці та зміни перколяції, і в діапазоні 120-200°C - знижується через впорядкування полімерних макромолекул внаслідок часткової кристалізації ПВБ. Під час другого прогрівання (рис. 2, крива 2) перегин на кривій зміщується бік вищих температур – до 70°C, що можна пов'язати зі зростанням температури склування ПВБ внаслідок попереднього випаровування низькомолекулярних речовин.

Для композицій на основі БС питомий електричний опір знижується при зростанні температури, що пов'язано зі структуруванням полімерної матриці та ущільненням упаковки макромолекул що впливає на перколяцію. Після 100°C спостерігається зростання швидкості зменшення електричного опору, що пов'язано з підвищенням інтенсивності реакцій зшивання полімерної матриці.

Список посилань

1. Свістільнік Р. Ф. Розробка технології електропровідних гібридних композиційних покриттів. / Свістільнік Р. Ф., Федорів Т. Р., Савченко Б. М., Осауленко С. І. // Технології та інжиніринг. – 2022. – № 4 (9). – С. 60-70.
2. Heaney, Michael B. «Electrical Conductivity and Resistivity.» Electrical Measurement, Signal Processing, and Displays. Ed. John G. Webster. CRC Press, 2003. 7-1.