**НОВІ ЕЛЕКТРОНАГРІВАЛЬНІ ЕЛЕМЕНТИ ДЛЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ УСТАНОВОК ПІДПРИЄМСТВ ХАРЧУВАННЯ**

***О.В. Володько,*** *к.т.н., доцент (ПУЕТ)*

На підприємствах харчування використовуються електронагрівальне обладнання та технологічні установки різного функціонального призначення. Провідники таких установок можуть бути металеві, рідинні (електроліти) та неметалеві, що складаються з резистивних композитних матеріалів - суміші електропровідних (графіт, вуглецеві волокна, карборунд) та непровідних (силікати, глинозем, бетон) речовин.

Науковий інтерес до створення та дослідження неметалевих провідників (резистивних композитів на основі неорганічних в’яжучих та фібр із хімічних електропровідних волокон) обумовлений широким діапазоном варіювання електричної провідності; високою хімічною стійкістю їх в агресивних середовищах; доступністю та низькою вартістю вихідних компонентів порівняно з металевими складовими.

Відомі нагрівальні елементи з дискретними ХЕВ мають низьку механічну міцність. Використання їх для виготовлення нагрівальних елементів для підприємств харчування, що тривало працюють у циклічному режимі при температурі більше 100 °С, веде до зниження механічної міцності і нестабільності електричних характеристик. Це пояснюється деструктивними процесами в матеріалі, які спостерігаються при (120-150) °С і супроводжуються дегідратацією сульфатовмісних і гідроалюмінатних фаз.

Резистивні композити з хімічними волокнами, які можуть працювати довгий час при достатньо високих температурах, теж мають недоліки – високий вміст волокнистого наповнювача знижує міцність на стиск та зменшує густину композиції.

Тому, актуальним стає питання розробки композиту, який би володів стабільними електричними характеристиками в умовах підвищених температур і високою міцністю на розтяг при згині та міг би використовуватись в якості нагрівального елементу для обладнання підприємств харчування (наприклад, мармітів перших та других страв на лініях роздачі їжі).

Одним з реальних шляхів усунення недоліків відомих резистивних матеріалів на основі гідравлічного в'яжучого є підвищення тепловипромінювальної здатності провідників, що досягається шляхом збільшення числа електропровідних ланцюжків в композиції та рівномірності їх розподілу в об'ємі, підвищення густини і теплоємності композиції, а також забезпечення міцності на розтяг і стійкості до утворення тріщин.

За участю автора був розроблений і досліджений резистивний композиційний матеріал, що містить: в'яжуче на основі швидкотверднучого цементу, колоїдний графіт, термічно стабільний наповнювач у вигляді кварцового піску і гранвідсіву, волоконний наповнювач, електропровідним компонентом якого додатково є технічний вуглець з питомою поверхнею Sг=(90…100) м2/г, а волоконним наповнювачем *–* хімічні електропровідні волокна. Як кварцовий пісок використовувався стандартний вольський пісок по ГОСТ 6139-78, як гранвідсів – відсів граніту Кременчуцького гранітного заводу. Нагрівальні елементи виготовлялись серіями та пройшли технічні випробування.

Елементи першої серії піддавалися випробуванням по визначенню питомого електричного опору, другої – випробуванням на розтяг при згині і на стиск, третьої – тривалій дії змінного струму.

Вимірювання опору всіх резистивних елементів проводилося після їх висушування при *t*=(105±5*°С*) і охолоджування їх до кімнатної температури (+22)°С в ексикаторі при зусиллі пресу, що дорівнювало 500 Н.  Механічні властивості визначались згідно ГОСТ 2055. Елементи третьої серії піддавалися тривалій дії змінного електричного струму частотою 50 Гц. На резистивні елементи подавалась напруга, при якій на елементи поступала теплова потужність (*P0*), що дорівнює 75 Вт. Зміна напруги живлячої мережі забезпечувалася регулюючим автотрансформатором ЛАТР. При подачі електроенергії резистивні елементи нагрівалися до температури 150 °С . Результати випробувань на дію змінного електричного струму наведені в таблиці.

Після 100 годин випробувань електричний опір позначений *R*1, після 500 годин – *R*2, після 1000 годин – *R*3; споживна потужність позначена відповідно *Р1, Р2, Р3*.

В результаті експериментальних досліджень доведено, що поєднання волоконної провідної фази з ультрадисперсним технічним вуглецем і колоїдним графітом полегшує утворення орієнтовних ланцюжкових структур і веде до їх зростання, що підтверджується зниженням питомого електричного опору композиції.

Волоконна провідна фаза суттєво підвищує міцність на розтяг при згині та стійкість до утворення тріщин. Найбільший ефект впливу волоконної арматури на міцність при згині спостерігається при введенні її в композицію в кількості 2-4% від маси цементу. Це запобігає розвитку деструктивних процесів, які виникають при нагріванні і охолодженні композиції. Довжина волокон 4…6 мм сприяє більш рівномірному їх розподілу в композиції.

Колоїдний графіт менш схильний до окислення, чим зменшує зміну електричного опору композиції при її нагріванні.

*Таблиця*

**Результати випробувань на дію змінного електричного струму**

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Показники** | **Склад суміші** | | | | | | | | | | |
| 1 | 2 | | 3 | | 4 | | 5 | | 6 | 7 |
| *R0* (Ом) | 112,0 | 120,0 | | 116,0 | | 57,0 | | 74,0 | | 242,0 | 200,0 |
| , Ом·см | 127,0 | 138,0 | | 130,0 | | 65,0 | | 83,0 | | 273,0 | 227,0 |
| Після нагрівання протягом 100 год. | | | | | | | | | | | |
| *R1*(Ом) | 115,0 | | 126,0 | | 117,0 | | 58,0 | | 75,0 | 263,0 | 208,0 |
| *P2*(Вт) | 73,0 | | 71,4 | | 74,3 | | 73,5 | | 73,96 | 69,0 | 72,1 |
| *R1/R0* | 1,027 | | 1,05 | | 1,01 | | 1,02 | | 1,014 | 1,087 | 1,04 |
| *P1/Р0* | 0,974 | | 0,95 | | 0,99 | | 0,98 | | 0,986 | 0,92 | 0,961 |
| Після нагрівання протягом 500 год. | | | | | | | | | | | |
| *R2* (Ом) | 118,0 | | 127,3 | | 123,0 | | 59,3 | | 77,6 | 27,0 | 220,0 |
| *P2* (Вт) | 71,4 | | 70,7 | | 70,8 | | 72,1 | | 71,4 | 67,0 | 68,2 |
| *R2/R0* | 1,054 | | 1,06 | | 1,06 | | 1,04 | | 1,05 | 1,12 | 1,1 |
| *P2/Р0* | 0,952 | | 0,943 | | 0,943 | | 0,96 | | 0,952 | 0,893 | 0,91 |
| Після нагрівання протягом 1000 год. | | | | | | | | | | | |
| *R3*(Ом) | 122,0 | | 132,0 | | 128,0 | | 62,0 | | 81,0 | 275,0 | 228,0 |
| *P3*(Вт) | 69,3 | | 69,1 | | 68,2 | | 70,1 | | 70,4 | 64,7 | 67 |
| *R3/R0* | 1,09 | | 1,1 | | 1,1 | | 1,09 | | 1,09 | 1,14 | 1,14 |
| *P3/Р0* | 0,918 | | 0,91 | | 0,906 | | 0,92 | | 0,91 | 0,88 | 0,877 |

Гранвідсів – дешевий і досить термостійкий матеріал з високою теплопровідністю. Введення його в композицію інтенсифікує відведення тепла від локальних осередків нагріву і сприяє усереднюванню температури по всьому об’єму матеріалу, перешкоджає проходженню деструктивних процесів та знижує внутрішні напруження в композиції. Дисперсність гранвідсіву у межах 0,1…0,5 мм, а кварцового піску у межах 0,2…2,5 мм сприяє більш рівномірному їх розподілу в об’ємі композиції.

**Висновки.** Результати проведених випробувань підтверджують, що композитний матеріал володіє досить стабільними значеннями електропровідності в умовах підвищених температур, високою міцністю на розтяг при згині. Він може бути використаний при виготовленні об’ємних резисторів та низькотемпературних нагрівальних елементів з температурою нагріву (50…150) 0С для технологічних установок підприємств харчування (мармітів та теплових вітрин, розстоювальних шаф, апаратів для конвективного сушіння харчових продуктів тощо).