

## **МЕТАЛЛОКЕРАМИЧЕСКИЕ НАГРЕВАТЕЛЬНЫЕ ПАСТЫ НА ОСНОВЕ КОМПОЗИТОВ ВЫСОКОЙ ПЛОТНОСТИ МОЩНОСТИ И НИЗКОТЕМПЕРАТУРНОГО СПЕКАНИЯ**

**Говор Г.А., Вечер А.К., Янушкевич К.И., Ларин А.О.**

*ГНПО «НПЦ НАН Беларуси по материаловедению», г. Минск, Республика Беларусь ,  
[vetcher@physics.by](mailto:vetcher@physics.by)*

### **Введение**

В ГО «НПЦ НАН Беларуси по материаловедению» разработана технология изготовления различных композиционных материалов на основе металлических порошков. В зависимости от основы и способа обработки возможно получить несколько классов материала:

-магнито-мягкие композиционные материалы – для применения в электродвигателях, в том числе линейных, генераторах, трансформаторах и других электротехнических изделиях, для изготовления широкополосных электромагнитных экранов;

-резистивные композиционные материалы – для изготовления электронагревательных элементов различной формы, мощности и конфигурации и резисторов;

-магнито-твердые композиционные материалы – для изготовления недорогих и высокоэффективных магнитов;

-магнитокалорические композиционные материалы – для изготовления рабочих элементов холодильных машин.

Композиционные резистивные материалы позволяют создавать широкий ряд электрокерамических нагревательных устройств любой мощности, форм и конфигураций, в т.ч. металлокерамические нагревательные пасты для изготовления пленочных электронагревателей.

### **Методика эксперимента и результаты**

Для основы нагревательной пасты изготовлен высокорезистивный композиционный материал на основе порошков железа ASC. Размеры зерна порошков составляют менее 100 мкм. На основе изготовленных порошков и высокотемпературного силиконового лака разрабатывается технология изготовления пасты для нанесения на подложки. В качестве силиконового лака использовались лаки российского производства типа КО85, КО 815, силиконовый лак китайского производства и другие.

Для изготовления проводящей жидкости или пасты разработана и изготовлена установка по смешиванию компонентов порошка с силиконовым лаком. Перемешивание пасты проводилось в течение 10 часов.

Затем проводилось исследование процесса осаждения порошка с размерами частиц менее 100 мкм. Результат исследования показали, что скорость осаждения частиц с образованием 50% осадка составляла 2-3 часа, что является недостаточным для использования при изготовлении нагревательных элементов. Для снижения скорости осаждения использован силиконовый лак КО818, имеющий более высокое содержание твердофазной составляющей.

Проведены предварительные исследования по нанесению пасты на AL-подложку покрытую силиконовым лаком КО-85. Предварительно алюминиевые полосы покрывались слоем высокотемпературной краски Rust-Oleum с предельной допустимой температурой 1000С. Затем наносился один-два слоя силиконового лака, Производилась полимеризация лака с предварительной сушкой при 100С и последующем процессом полимеризации при 400С. Процедура по нанесению покрытий повторялась 2-3 раза. На рис.1 показаны пластины с покрытиями, подготовленные к нанесению полосы проводящего слоя. Сопротивление изоляции лакового покрытия в холодном состоянии при напряжении 2,5кВ превышает 3-5 Гом.



Рисунок 1 - Пластины с покрытиями, подготовленные к нанесению полосы проводящего слоя

Проводящий слой формировался из пасты на основе изолированного порошка карбонильного железа с размером частиц 2-3 микрона. Паста из железного порошка готовилась с добавлением спиртового раствора клея БФ-2. На подложку наносилась проводящая паста толщиной 10 мкм и шириной 5 мм.

После нанесения слоя проводящей пасты проводилась полимеризация слоя с предварительной сушкой при 200С и последующим спеканием при 400С.

После остывания пластины с проводящим слоем дополнительно покрывалась слоем лака КО-08К с последующей сушкой при 200С и полимеризацией при 400С

Внешний окончательный вид пластины с проводящим слоем, дополнительно покрытым лаком КО-08К, показан на рис.2.



Рисунок 2 - Окончательный вид пластины с пленочным нагревательным элементом

Испытание нагревательного элемента проводилось на установке с измерением температуры пластины. При мощности нагревателя 90 Вт температура пластины составила 230-240С.

**Выводы.** Проведенные испытания нагревательного элемента показали существенные преимущества предложенного решения нагревательных элементов. Принципиально новая технология с использованием недорогих материалов представляет собой законченную разработку.

Опытные образцы нагревательного элемента - длина 15см, ширина -0,4 см и толщина 0,01см при температуре нагрева 250С имеют удельное сопротивление 0,15-0,2 Ом.см (напряжение питания элемента 200В при токе 0,3А)

Сопротивление нагревательного элемента является функцией как геометрических размеров, так и удельного сопротивления нагревательной пленки и может изменяться в широких пределах от выше указанной величины.

В сравнении с толстопленочными нагревательными элементами компании Heatron (USA), разработанные нагревательные элементы имеют ряд преимуществ:

1. В качестве материала для пленочных нагревательных элементов Heatron используются следующие материалы: серебро, золото, палладий, платина и их сплавы.

В разработанном пленочном элементе – оксидированный карбонильный порошок железа – существенно снижающий стоимость элемента.

2. Для исключения разрушения элемента при включении и мгновенном разогреве нагревательный элемент Heatron выполняют секционным из небольших участков для минимизации теплового расширения

В разработанном элементе предложена принципиально новая технология, позволяющая исключить влияние теплового расширения элемента и таким образом повысить надежность работы элемента

### Литература

1. Nanomat\_EPC Minsk, 2014 10-11r.10-11. High-frequency synthesis of magnetic and resistive nanomaterials with special properties, G.Govor, A.Vetcher.
2. 7 National Conference on Cooperation with the CIS countries, and g.Lin, China, 1-3 December 2014 p. 3-6 The development of new composite materials, A.Vecher.
3. Govor G.A. , Michnevich V.V. Inorg. Materials (2007) v.43, p.805-807.