

ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ ТОНКОПЛЕНОЧНЫХ ЭЛЕКТРОНАГРЕВАТЕЛЕЙ С НАНОСТРУКТУРНЫМ РЕЗИСТИВНЫМ СЛОЕМ

Богданович В.И.¹, Гришанов В.Н.¹, Небога В.Г.¹, Попов А.П.¹, Богданович В.И.²

¹Самарский государственный аэрокосмический университет

²Гомельский государственный университет, Беларусь

THERMOPHYSICAL PARAMETERS OF THIN-FILM ELECTROHEATERS WITH THE NANOSTRUCTURAL RESISTIVE LAYER

Bogdanovich V.I., Grishanov V.N., Neboga V.G., Popov A.P., Bogdanovich V.I. In this paper presented the results of experiments to determination of the thermal parameters of thin film electroheaters with the nanostructural resistive layer. The temperature fields were recorded by infrared camera. Presented the procedures for processing of thermal images, which allowed us to estimate the time constant of the heating elements on the stage of heating and on the stage of cooling.

В СГАУ был разработан принципиально новый [1] для технологии машиностроения способ изготовления тонкопленочных гибких электронагревателей (ПЭН), основанный на создании резистивного слоя нанесением вакуумного ионно-плазменного наноструктурного покрытия толщиной в пределах (1-10) мкм на высокоинертную полиимидную пленку толщиной (40 - 60) мкм с последующей герметизацией резистивного слоя приклеиванием внешнего слоя такой же пленки. Топологический образ заданной геометрии резистивного слоя формировался нанесением покрытия через специальные маски, а припайка токопроводящих проводов проводилась через медное покрытие, напыляемое в заданных местах резистивного слоя.

ПЭНы применяются в системах терморегулирования бортовой аппаратуры космических аппаратов, в том числе, и их энергетических установок [2]. Разработка некоторых видов таких систем терморегулирования потребовала создания высоконадёжных гибких малогабаритных (30×100 мм, 30×200 мм) электронагревателей с потребляемой электрической мощностью в пределах (2-15) Вт, рабочим напряжением до 30 В, температурой нагрева до (50-150) °С и гарантированным ресурсом работы не менее 50 тыс. часов в условиях открытого космического пространства [3].

Конструктивные особенности ПЭНов, в частности, защита металлических токопроводящих слоёв плёнкой органического вещества – полиимида затрудняет применение контактных методов измерения температуры при изучении их теплофизических свойств

особенно в динамике. Поэтому для получения информации о температурных полях ПЭНов оптимальным представляется применение тепловизионной техники. Современные тепловизоры обладают рядом преимуществ по сравнению с контактными датчиками: бесконтактностью и простотой измерений, широким диапазоном регистрируемых температур, а органические материалы в качестве объектов измерения имеют близкое к 1 значение излучательной способности.

В настоящей работе теплофизические свойства ПЭНов изучались с помощью тепловизора «ThermoVision A20M». Исследовались ПЭНы размерами 30×100 мм и 30×200 мм, приклеенные к пластинам из алюминиевого сплава размерами 250×200×0,9 мм (для ПЭНов 30×100 мм) и 300×250×0,9 мм (для ПЭНов 30×200 мм). Нагревательные элементы имели электрическое сопротивление ~ 200 Ом и запитывались от стабилизированного источника питания постоянного тока Б5-30. Ток и напряжение контролировались цифровыми мультиметрами МУ-60 и УТ30В.

Эксперимент ставился следующим образом. На источнике питания выставлялось напряжение 30 или 50 В, запускалась запись термограммы с кадровой частотой 6,25 Гц. После чего, выставленное напряжение подавалось на ПЭН. По истечении 2 мин. напряжение отключалось и ещё 2 мин. фиксировался процесс охлаждения. Электрическая мощность потребляемая ПЭНами при 30 В составляла ~ 4 Вт, а при 50 В ~ 11 Вт. Затем проводилась обработка записанных термограмм.

С помощью программного обеспечения тепловизора на тепловом изображении ПЭНа

выделялась четырехугольная область, в пределах которой отслеживалась временная зависимость максимальной температуры от времени и строилась термограмма – зависимость максимальной температуры от времени – как на стадии нагрева, так и охлаждения. Сама форма графиков подсказала вид аппроксимирующих функций в цикле нагрева $T_n(t)$:

$$T_n(t) = T_{но} (1 - \exp(-t/\tau_n)) \quad (1)$$

и охлаждения $T_o(t)$:

$$T_o(t) = T_{оо} \exp(-t/\tau_o), \quad (2)$$

где $T_{но}$ – аппроксимированная разность температур между начальным и конечным состояниями на стадии нагрева (°К); τ_n – постоянная времени в цикле нагрева (с); $T_{оо}$ – аппроксимированная разность температур между начальным и конечным состояниями на стадии охлаждения (°К); τ_o – постоянная времени в цикле охлаждения (с).

Вид аппроксимирующих функций (1) и (2) и значения постоянных $T_{но}$, τ_n , $T_{оо}$, τ_o позволяют рассчитывать системы автоматического регулирования температуры, элементами которых и являются ПЭНы. Для расчёта значений постоянных по экспериментальным термограммам использовался пакет компьютерной математики Mathcad, в частности, функция «genfit», позволяющая оптимизировать параметры заданной функции, наилучшим образом приближая её к экспериментальным данным. Ниже приведены значения постоянных, усреднённые по 4-м

образцам, полученные в атмосферных условиях конвективного теплообмена при горизонтальном расположении образцов.

Значения параметров τ_n и τ_o мало зависят от приложенного напряжения и имели следующие величины: $\tau_n \approx 17$ с, $\tau_o \approx 47$ с. Два других параметра $T_{но}$ и $T_{оо}$ проявляли сильную зависимость от приложенного напряжения (от энерговыклада), поэтому их значения имеет смысл привести отдельно для 30 В и 50 В. Для 30 В: $T_{но} \approx 8$ °К, $T_{оо} \approx 7$ °К; для 50 В: $T_{но} \approx 27$ °К, $T_{оо} \approx 20$ °К. Неравенство $T_{но} > T_{оо}$ объясняется прогревом теплового резервуара – пластины из алюминиевого сплава, к которым были приклеены ПЭНы.

Библиографический список

1. Богданович, В.И. Тонкоплёночный гибкий электронагреватель / В.И. Богданович, В.А. Барвинок, А.Н. Асмолов [и др.] // Патент РФ № 2379857. МПК H05B 3/18 (2006.01). – Бюл. 20.01.2010, № 2.
2. Козлов, Д.И. Конструирование автоматических космических аппаратов / Д.И. Козлов, Г.П. Аншаков, В.Ф. Агарков [и др.]. – М.: Машиностроение, 1996. – 448 с.
3. Богданович, В.И. Тонкоплёночные электронагреватели с наноструктурным резистивным слоем / В.И. Богданович, В.А. Барвинок, А.Н. Кирилин А.Н. [и др.] // Проблемы машиностроения и автоматизации. – 2010. - № 3. – С. 111 - 118.

УДК 621.822.84

РАЗРАБОТКА ЭЛЕКТРОННОЙ МОДЕЛИ УНИФИЦИРОВАННОГО ОПОРНОГО МОДУЛЯ ДЛЯ ГАЗОТУРБИННЫХ ЭНЕРГОУСТАНОВОК

Зрелов В.А.¹, Макаrchук В.В.², Проданов М.Е.¹, Сударев А.А.²

¹Самарский государственный аэрокосмический университет

²ОАО «Завод авиационных подшипников», г. Самара

ELECTRONIC MODEL DEVELOPMENT OF THE UNIFIED SUPPORTING MODULE FOR GAS TURBINE POWER PLANTS

Zrelov V.A., Prodanov M.E., Makarchuk V.V., Sudarev A.A. Need of unified supporting module design for gas turbine power plants is motivated in article.

Как известно, в эксплуатации востребованы энергетические установки (ЭУ) определенного ряда мощностей. Приводами

ЭУ являются газотурбинные двигатели со свободной силовой турбиной.