

## **«Способ установки нагревательного элемента на поверхность обогреваемого изделия»**



Рис.1. Коллектив лаборатории нанотехнологий и материаловедения акционерного общества  
«Авиаавтоматика» имени В.В. Тарасова»

В ряду технически высоко востребованных задач возникает острая необходимость скоростного как нагрева, так и охлаждения рабочих поверхностей, что достигается нанесением толсто пленочных резистивных слоев на металлические поверхности с высокой теплопроводностью. В такой реализации материал подложки должен обладать достаточно высокой прочностью, чтобы предотвращать передачу механических напряжений на пленочный слой, а наносимые на её поверхность толсто пленочные слои, должны быть устойчивыми к механическим напряжениям, так чтобы исключить их отслаивание и растрескивание при термоударах, вызываемых задаваемым рабочим диапазоном температур. Традиционно широко распространенной толсто пленочной технологией, используемой в формировании фотоактивных полупроводниковых слоев, выступает трафаретная печать. После выполнения всех пошаговых подготовительных и технологических процессов (свыше десятка), включая отжиг твердых компонентов паст для достижения высокой адгезии с подложкой, сама по себе трафаретная печать полностью отвечает требованиям массового производства. Технически трафаретная печать выполняется путем продавливания паст через ячейки сетчатого трафарета на подложку. Так при изготовлении тонко- и толсто пленочных резисторов этим методом пасты наносятся на основания из алюмооксидной керамики. Сформированный отпечаток обжигается в конвейерной печи при температуре 700–900°С. Аналогичным образом формируются контакты из проводниковой пасты. Параметры резисторных

элементов должны иметь минимальные чувствительности (в идеале, стремящейся к нулю) к температурным, временным, электрическим, механическим и климатическим воздействиям.

По составу толсто пленочные слои должны удовлетворять требованиям по защищенности от внешних воздействий (препятствовать проникновению влаги, что достигается использованием органической связки); по диапазону изменений сопротивления (токопроводящие слои из паст смесей мелкодисперсного порошка с низкой резистивностью, к примеру, серебряно-палладиевых); по адгезии (за счет введения стеклянной фритты). Следует отметить, что резистивные пасты обеспечивают удельное поверхностное сопротивление резисторов от 1 до 10 Ом/квadrat за счет смешивания частиц одного вида в различных пропорциях, последовательного нанесения различных паст. Важную роль играет используемая технологическая связка (растворители). В процессе отжига нанесённых компонентов паст растворитель разлагается и удаляется из слоя, тем самым обеспечивая высокую адгезию. Неполное удаление связующего при отжиге приводит к выделению углерода, других газов, нарушению поверхности пленки, приводя к возрастанию сопротивления контактов. Воспроизводимость результатов достигается соблюдением режимов отжига, что приводит к повышению электропроводности при оптимальной температуре вжигания.

Существующие способы формирования толсто пленочных покрытий применимы только для плоских поверхностей, тогда как в ряде случаев возникает потребность в их нанесении на криволинейные и со сложной конфигурацией объекты. В настоящей работе проведено формообразование, представлены результаты комплексной характеристики свойств толсто пленочных покрытий, сформированных на криволинейных поверхностях.

Разработанная технология относится к области резистивного нагрева и может быть использовано при создании теплоизлучающего покрытия непосредственно на поверхности технических устройств со сложной формой поверхности. Технический результат - улучшение равномерности передачи тепла от нагревательного элемента на нагреваемую поверхность за счет получения равномерных толщин резистивного и изолирующего слоев между нагревающим резистором и нагреваемой поверхностью. Достигается тем, что нагревательный элемент в виде гребенчатого электрода устанавливают непосредственно на нагреваемой поверхности обогреваемого изделия последовательным образованием на ней диэлектрической, резистивной, проводящей и защитной полимерных пленок с заданными толщинами и конфигурациями, создающих в совокупности пленочный нагревательный элемент. Селективное формирование каждого слоя на нагреваемой поверхности обогреваемого изделия производится нанесением через струйную форсунку, которые сшиваются в сплошной слой при последующем отверждении нанесенного слоя, образуя полимерную пленку.

Нагревательный пленочный элемент изготавливается по следующей технологии. Для получения защитного слоя на поверхность обогреваемого изделия с помощью устройства для бесконтактного нанесения покрытий на поверхность наносят слои из диэлектрической полимерной пасты. После отверждения пасты путем нагрева нанесенный слой превращается в диэлектрическую полимерную пленку с удельным поверхностным сопротивлением не менее 200 МОм на квадрат и является изолирующим слоем нагревательного пленочного элемента.

Далее на изолирующий слой наносят два пленочных рисунка из токопроводящей полимерной пасты, которые после отверждения пасты превращаются в гребенчатые электроды с удельным поверхностным сопротивлением 0,005 Ом на квадрат.

Затем наносят слой из углеродной резистивной полимерной пасты, которая после отверждения превращается в резистивную пленку с удельным поверхностным сопротивлением в пределах от 0,05 до 100 кОм на квадрат и является резистивным слоем нагревательного пленочного элемента.

Для защиты резистивного слоя и электродов поверх них наносят слой из диэлектрической полимерной пасты. После отверждения пасты нанесенный слой превращается в диэлектрическую полимерную пленку с удельным поверхностным сопротивлением не менее 200 Мом на квадрат и является изолирующим защитным слоем нагревательного пленочного элемента.

Совокупность нанесенных слоев образует пленочный резистор, который при пропускании электрического тока через электроды нагревается и является нагревательным элементом.

Результатом данной работы является нагревательный элемент, изготовленный на криволинейной поверхности. Мощность нагревательного элемента может достигать 3,5 Вт/см<sup>2</sup> при рабочем напряжении 27В. Общая толщина нагревательного элемента варьируется от 50 до 150 мкм, что обеспечивает:

- минимальное изменение геометрических параметров нагреваемого изделия;
- мгновенный нагрев поверхности изделия, без тепловых потерь

За счет модификации резистивных паст наноматериалами (тоунит) и изменением способа изготовления токопроводящих гребенчатых электродов возможно увеличить мощность нагревательного элемента без изменения общей толщины нагревательного элемента, что дает возможность изготовления нагревательных элементов на любых изделиях.



Рис.2. Рукоятка РУС-02.03 с функцией обогрева



Рисунок 3. Рукоятка РУД правая—02.03 с функцией обогрева

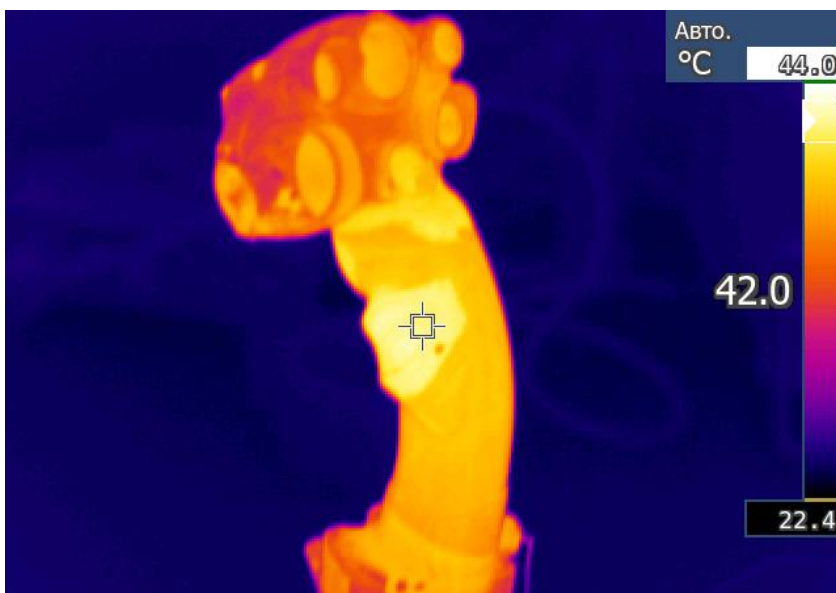


Рисунок 4. Рукоятка РУС-02.03 с функцией обогрева

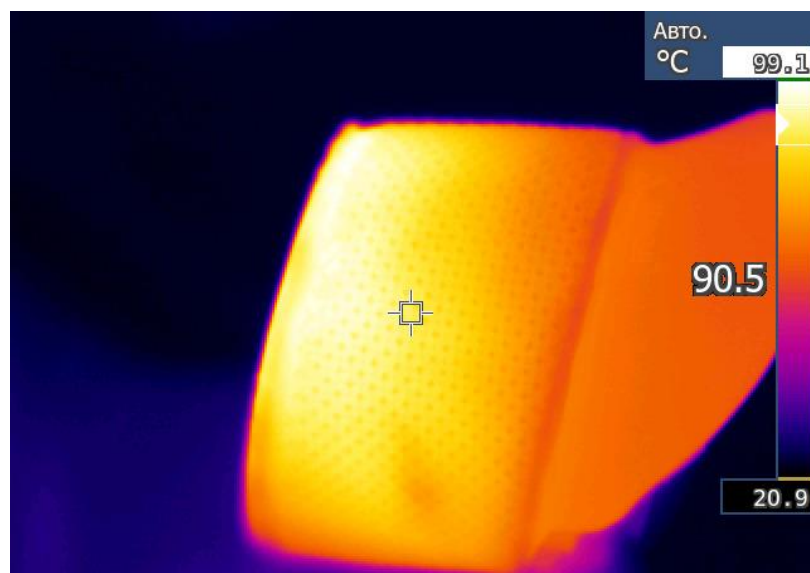


Рисунок 5. Рукоятка РУД правая—02.03 с функцией обогрева

На рисунках 4-5 изображены рукоятки с включенной функцией обогрева, изображения получены с помощью тепловизора.

На способ установки на поверхность обогреваемого изделия нагревательного элемента получен патент RU 2 709 478 C, дата публикации 2019.12.18.

В настоящее время отрабатывается технология изготовления нагревательных элементов для лопастей летательных аппаратов вертолетного типа. Результатом работы станет нагревательный элемент с минимальным энергопотреблением и минимальной толщиной, которая позволит обеспечить полное отсутствие изменений аэродинамических свойств лопастей.

