

ХАРАКТЕРИЗАЦИЯ ИНТЕГРИРОВАННОЙ ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ МОДИФИЦИРОВАННЫХ ПОРИСТЫХ АЛЮМООКСИДНЫХ ПОКРЫТИЙ

Шиманович Д. Л.

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
ShDL@tut.by

Annotation: The influence of technological methods and regimes of AMG-2M alloy electrochemical anodizing and Al_2O_3 coatings porous channels filling by dielectric materials (electrical organosilicon varnish KO-921 and polyimide varnish AD-9103) on the integrated thermal conductivity parameters of multilayer alumina bases modified by organic sealing materials was studied. An increase in the integrated thermal conductivity of such alumina bases as compared to unmodified and unsealing coatings, which did not differ in the thicknesses of Al_2O_3 and Al, was demonstrated. It has been established that the maximum values of the integrated thermal conductivity ($\sim 90 \text{ W/m}\cdot\text{K}$ and $\sim 87 \text{ W/m}\cdot\text{K}$) are typical for the modified structural systems «Al- Al_2O_3 » (Al $\sim 3 \text{ mm}$; $\text{Al}_2\text{O}_3 \sim 50 \mu\text{m}$) that have undergone one-stage sealing by AD-9103 and KO-921, respectively.

Анализ литературных данных и предварительные исследования [1] свидетельствуют о существенном влиянии условий электрохимического анодирования и структурно-морфологических параметров анодного Al_2O_3 на функциональные характеристики и качество формируемых покрытий. Поэтому, благодаря возможности контролирования размера пор, модификации их каналов пропитывающими материалами и наполнителями, пористые структуры анодного Al_2O_3 представляют большой потенциал для формирования покрытий на несущем Al с оптимизированными параметрами теплопроводности.

В качестве вариантов тестовых образцов были представлены основания из Al-сплава AMG-2M размером $48 \times 60 \text{ мм}$, толщиной $1\text{--}3 \text{ мм}$ с анодными Al_2O_3 -покрытиями различной толщины ($\sim 50\text{--}100 \text{ мкм}$), сформированными при различных технологических режимах и модифицированными различными органическими грунтовочными материалами (электроизоляционным кремнийорганическим лаком КО-921 и полиимидным лаком АД-9103).

Электрохимическое анодирование Al-оснований проводилось в 3; 5; 7 %-ных водных растворах щавелевой кислоты ($\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4$) в потенциостатических режимах при постоянных напряжениях формовки $U \sim 50; 60; 70 \text{ В}$ до формирования Al_2O_3 -покрытий толщиной $\sim 50\text{--}100 \text{ мкм}$. Существовали варианты тестовых образцов, подвергнутых влиянию дополнительных операций модификации пор химическим травлением в 5 %-ной H_3PO_4 при $T \sim 40 \pm 3 \text{ }^\circ\text{C}$ в течение $\sim 13 \text{ мин}$ до операций грунтовки и порозаполнения Al_2O_3 .

Заполнение пористой структуры Al_2O_3 электроизоляционным кремнийорганическим лаком КО-921 осуществлялось в ультразвуковой ванне при частоте $\sim 20\text{--}40 \text{ кГц}$ при максимальной мощности $\sim 0,5 \text{ кВт}$ при температуре $\sim 30 \text{ }^\circ\text{C}$ в течение $\sim 20 \text{ мин}$. Заполнение пористых каналов Al_2O_3 полиимидным лаком АД-

9103 проводилось либо погружением в растворы полиимидных лаков, либо нанесением слоев на Al_2O_3 -поверхность и центрифугированием. Далее следовала многостадийная термообработка при определенных температурных режимах (до $T \sim 250\text{--}280^\circ\text{C}$) с целью полимеризации лаков.

Первоначально была установлена зависимость коэффициента интегрированной теплопроводности в структурной системе «Al- Al_2O_3 » от толщины Al-оснований из АМГ-2М и от толщины немодифицированных и негрунтованных алюмооксидных покрытий, сформированных в 3–7 %-ной $\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4$ при $U = 50\text{--}70$ В. Было показано, что с увеличением толщины несущего Al от 1 мм до 3 мм и с уменьшением толщины Al_2O_3 -слоев от ~ 100 мкм до ~ 50 мкм происходит увеличение параметров теплопередачи. Было продемонстрировано, что значения коэффициента теплопроводности в системе «Al- Al_2O_3 » для варианта Al-сплава толщиной 2 мм варьировались в пределах от ~ 41 Вт/м·К до ~ 53 Вт/м·К, а толщиной 3 мм – от ~ 56 Вт/м·К до ~ 73 Вт/м·К при изменении значений толщины Al_2O_3 от ~ 100 мкм до ~ 50 мкм. А при изменении значений толщины несущего Al от 1 мм до 3 мм в рамках одинаковой толщины Al_2O_3 (~ 50 мкм) значения коэффициента интегрированной теплопроводности увеличивались от ~ 40 Вт/м·К до ~ 73 Вт/м·К.

Было установлено влияние различных вариантов органической модификации Al_2O_3 -покрытий при одностадийном уплотнении грунтовочными материалами на интегрированную теплопроводность алюмооксидных оснований в зависимости от толщины несущего Al (АМГ-2М) и толщины анодного Al_2O_3 , и было показано, что, как и для немодифицированного Al_2O_3 , с уменьшением толщины модифицированного Al_2O_3 от ~ 100 мкм до ~ 50 мкм и увеличением толщины Al от 1 мм до 3 мм происходит увеличение значений интегрированной теплопередачи в системе «Al- Al_2O_3 ». Кроме того, было продемонстрировано увеличение параметров теплопроводности уплотненных грунтовочными лаками алюмооксидных оснований по сравнению с немодифицированными и негрунтованными покрытиями, которые не отличались значениями толщины Al_2O_3 и Al. Так, значения интегрированной теплопроводности в системе «Al- Al_2O_3 » при толщине 3 мм несущего Al и толщине ~ 50 мкм модифицированного Al_2O_3 составляли ~ 90 Вт/м·К и ~ 87 Вт/м·К при использовании грунтовки соответственно в виде полиимидного лака АД-9103 и кремнийорганического лака КО-921.

Однако было замечено, что тестовые образцы с алюмооксидными покрытиями, модифицированными грунтовочными составами в две и три стадии, имели незначительно более низкие показатели интегрированной теплопроводности по сравнению с Al_2O_3 -слоями, прошедшими одностадийное уплотнение, что может быть связано с наличием слоя остаточных грунтовочных материалов непосредственно на поверхности тестовых образцов.

Список использованной литературы:

1. Шиманович Д. Л., Яковцева В. А. Электрохимическая алюмооксидная технология для приборов силовой электроники // Доклады БГУИР. – 2019. – № 3 (121). – С. 5–11.