

ПРИМЕНЕНИЕ ПЕЧАТНЫХ ПЛАТ НА МЕТАЛЛИЧЕСКОМ ОСНОВАНИИ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ВИБРОСТОЙКОСТИ БОРТОВОЙ ЭЛЕКТРОННОЙ АППАРАТУРЫ

*Уткина Юлия Анатольевна (vniief@vniief.ru), Сарпова Татьяна Евгеньевна,
Степанова Яна Юрьевна, Куфтин Артем Александрович*

ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ», г. Саров Нижегородской обл.

В рамках работы в качестве альтернативы традиционно используемому методу виброзащиты (залитка электронных модулей и приборов пенопластами) предложено применить метод частотной отстройки за счет замены материала основания печатных плат на алюминиевый сплав. Рассмотрены технологии получения печатных плат на металлическом основании, разработаны и изготовлены макетные образцы печатных плат (ПП) с применением двух базовых технологий: прессование медной фольги на алюминиевое основание через препрег и прямое анодирование алюминия с гальваническим осаждением меди.

Проведены экспериментальные исследования изготовленных макетных образцов и выполнено сравнение полученных данных с характеристиками печатных плат на стеклотекстолите фольгированном.

Ключевые слова: анодирование алюминия, виброзащита, радиоэлектронная аппаратура, вибрация, удар

THE USE OF PRINTED CIRCUIT BOARDS ON THE METAL BASE TO IMPROVE THE VIBRATION RESISTANCE OF ON-BOARD ELECTRONIC EQUIPMENT

*Utkina Yuliya Anatolevna. (vniief@vniief.ru), Sarpova Tatyana Evgenevna,
Stepanova Yana Yurevna, Kuftin Artem Aleksandrovich*

FSUE «RFNC-VNIIEF», Sarov Nizhny Novgorod region

As part of the work, as an alternative to the traditionally used vibration protection method (filling electronic modules and devices with polyurethane foam), it was proposed to apply the method of frequency offset by replacing material of the printed circuit boards for aluminum alloy. The technologies for producing printed circuit boards on the metal base were considered, the prototype samples of the printed circuit boards were developed and manufactured, using two basic technologies: pressing copper foil onto an aluminum base through prepreg and direct anodizing of aluminum with galvanic copper deposition.

Experimental researches of the manufactured prototype samples were carried out and the obtained data were compared with the characteristics of the printed circuit boards on foil-coated fiberglass.

Keywords: anodizing of aluminum, vibration protection, radio electronic equipment, vibration, impact.

Радиоэлектронные приборы, эксплуатируемые в составе летательных аппаратов, имеют ряд специфических особенностей, усложняющих их защиту от механических воздействий. Такая аппаратура, обладая высокой функциональной сложностью, должна быть сконструирована с учетом обеспечения жестких ограничений по массогабаритным характеристикам. При этом как раз механические воздействия и особенно вибрации и удары являются основными деста-

билизирующими факторами при эксплуатации аппаратуры данного класса. Ограничения по массогабаритным характеристикам, как правило, не позволяют использовать в конструкции малогабаритной бортовой аппаратуры (МБА) различные эффективные средства защиты, например, амортизаторы (виброизоляторы), так как такие средства ведут к увеличению габаритов и массы аппаратуры.

Многолетний опыт разработки и отработки МБА в ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ» показывает, что полное заполнение аппаратуры компаундами и пенопластами (ППУ-305А и др.) для повышения жесткости элементов конструкции и ЭРИ в составе МБА является достаточно эффективным средством защиты. Учитывая высокую жесткость конструкций МБА, обусловленную как раз малыми габаритами, данный способ защиты обладает большим потенциалом и будет в ближайшей перспективе (несмотря на постоянный рост уровней механических воздействий) основным. При этом данный способ имеет один значительный недостаток, который в последнее время все больше ограничивает его применение – при полном заполнении аппаратуры компаундом прибор становится практически неремонтнопригодным при изготовлении и эксплуатации [1].

Таким образом, является актуальной разработка и отработка эффективных средств защиты МБА от вибрационных и ударных воздействий, которые позволяют производить ее ремонт и восстановление.

В данной работе в качестве альтернативы традиционно используемому методу виброзащиты (заливка электронных модулей и приборов пенопластами) предложено применить метод частотной отстройки за счет замены материала основания печатных плат на алюминиевый сплав. Рассмотрены технологии изготовления ПП на металлическом основании, разработаны и изготовлены макетные образцы печатных плат с применением двух базовых технологий: прессование медной фольги на алюминиевое основание через препрег (Технология 1) и прямое анодирование алюминия с гальваническим осаждением меди (Технология 2).

Технология 1 в настоящий момент хорошо отработана, и многие контрактные производители ПП предлагают к заказу одно-, двух- и многослойные ПП на алюминиевом или стальном основании.

Основой Технологии 2 является электрохимический процесс анодного окисления (анодирования) алюминия. Анодно-окисная пленка состоит из непосредственно примыкающего к металлу тонкого барьерного слоя и пронизанного многочисленными порами наружного слоя (рис. 1). Толщина пористого оксида может достигать сотен микрон. Технология 2 обычно применяется при изготовлении силовых гибридных интегральных схем (СГИС), которые могут функционировать при условии эффективного отвода тепла, осуществляемого через многослойную структуру к наружной поверхности корпуса. Отвод тепла обеспечивается применением медной токоведущей разводки и теплоотводящего алюминиевого основания с диэлектрическим алюмооксидным слоем. В рамках настоящей работы предлагается масштабировать данную технологию и применить ее для изготовления ПП [2].

Изготовление коммутационной платы на алюминиевом основании по Технологии 2 осуществлялось по разработанному технологическому процессу:

- химическая обработка алюминиевого основания;
- формирование диэлектрического слоя на алюминиевом основании;

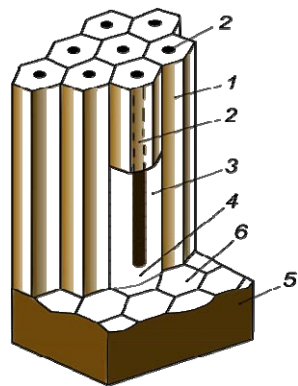


Рис. 1 Схематическое изображение структуры утолщенных анодных пленок: 1 – окисная ячейка, 2 – пора, 3 – стенка окисной ячейки, 4 – беспористый окисный слой барьерного типа, 5 – алюминий, 6 – отпечатки окисных ячеек на поверхности алюминия

- заполнение пор оксидированного алюминия органическим материалом;
- вакуумное напыление металлического слоя «ванадий-медь»;
- толстослойное гальваническое меднение;
- фотолитография (формирование топологии платы).

Химическая подготовка поверхности алюминиевых оснований проводилась в два этапа:

- травление поверхностного слоя (удаление с поверхности оснований различных дефектов и загрязнений, полученных в результате механической обработки);
- химическая полировка поверхности.

Формирование диэлектрического слоя проводилось на установке выращивания алюмооксидных слоев «Дельта-2/4. АНОКС-К» в 5 % растворе щавелевой кислот ($H_2C_2O_4$) в гальваностатическом режиме.

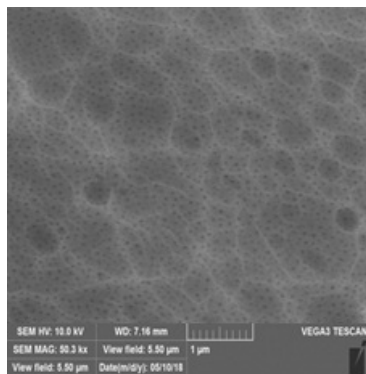
Поверхность и структура оксида алюминия после проведения процесса толстослойного анодирования представлена на рис. 2.

Заполнение пор оксидированного алюминия проводилось с применением органического материала. В качестве органического диэлектрика был выбран позитивный фоторезист ФП-2550.

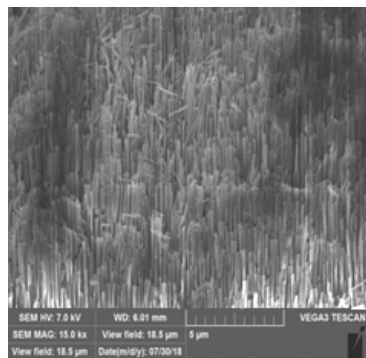
Данный способ позволил улучшить и стабилизировать электрофизические параметры диэлектрического слоя оксида алюминия. Сопротивление изоляции увеличилось на пять порядков, напряжение пробоя увеличилось в четыре раза.

Для формирования токопроводящего слоя на начальном этапе на алюминиевые основания с диэлектрическим слоем напылялись металлизированные слои «ваннадий-медь» толщиной от 3,0 до 3,5 мкм.

Электрохимическим методом на алюминиевых основаниях проводился процесс формирования толстослойного медного покрытия. В результате проведенного процесса толщина гальванического медного покрытия составила не менее 30 мкм.



а



б

Рис. 2 Оксид алюминия: а – поверхность оксида алюминия, б – структура оксида алюминия

Методом фотолитографии на металлизированных слоях «ваннадий-медь-гальваническая медь» была сформирована топология платы.

Плата силового модуля согласующего устройства на алюминиевом основании, изготовленная по Технологии 2, представлена на рис. 3.

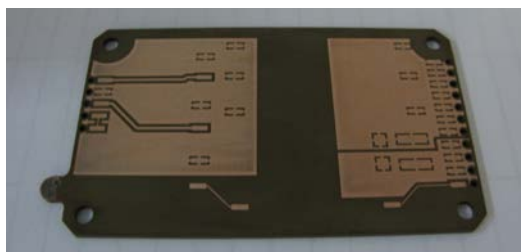


Рис. 3. Плата силового модуля согласующего устройства на алюминиевом основании

В процессе изготовления платы:

- выполнена проверка электрических параметров изготовленного образца. Проведена проверка отсутствия коротких замыканий и целостности электрических цепей, значения сопротивления цепей не превышали 0,06 Ом;

- проведена проверка электрического сопротивления изоляций цепей между электрически несвязанными цепями и сопротивление изоляции цепей относительно основания при напряжении 100 В, показания находились в диапазоне значений от 10^{10} до 10^{10} Ом; проведена проверка электрической прочности изоляции между контактными площадками и

сердечником платы при постоянном испытательном напряжении 500 В, а также проверка электрической прочности изоляции электрически несвязанных цепей при постоянном испытательном напряжении 1200 В. В результате испытаний замыканий, искр, дугообразования и пробоя не наблюдалось. Тестовые напряжения выдержали все образцы плат;

- проведена проверка стойкости к воздействию пониженной и повышенной температуры среды в диапазоне от минус 45 до плюс 65. Короблений платы и отслоений металлизации не зафиксировано.

Для исследования возможности повышения механической прочности путем введения металлического основания для печатных плат и для получения сравнительных результатов были изготовлены три электронных модуля:

- модуль 1 – изготовлен из стеклотекстолита FR4 в ООО «Резонит»;

- модуль 2 – на основании из алюминиевого сплава 5052, изготовлен в ООО «Резонит» (Технология 1);

- модуль 3 – на основании из алюминиевого сплава АМг3, изготовлен по алюмооксидной технологии в отделении микроэлектроники ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ» (Технология 2).

Внешний вид и расположение измерительных датчиков на электронном модуле показаны на рис. 4. Тип измерительных датчиков – АР1019.

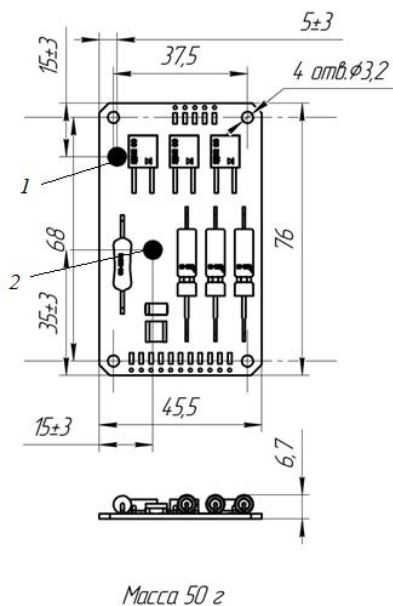


Рис. 4. Внешний вид и расположение измерительных датчиков 1 и 2 на макете силового модуля согласующего устройства

Макеты последовательно подвергнуты воздействию синусоидальной вибрации в диапазоне частот от 10 до 2000 Гц с ускорением 1g, в направлении перпендикулярном плоскости ПП. Скорость прохождения диапазона частот – 1 окт./мин. Макеты также подвергнуты воздействию широкополосной случайной вибрации (ШСВ) со среднеквадратическим значением ускорения $137,2 \text{ м/с}^2$ (14g) с равномерным распределением спектральной плотности мощности

ускорения в диапазоне частот от 10 до 2000 Гц, направление – перпендикулярно плоскости ПП.

Записанные амплитудно-частотные характеристики (АЧХ) электронных модулей приведены на рис. 5–8.

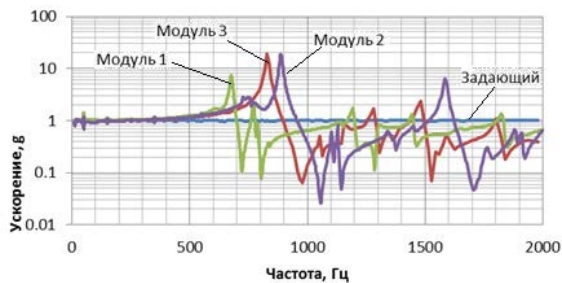


Рис. 5. АЧХ макетов при воздействии СВ (датчик 1)

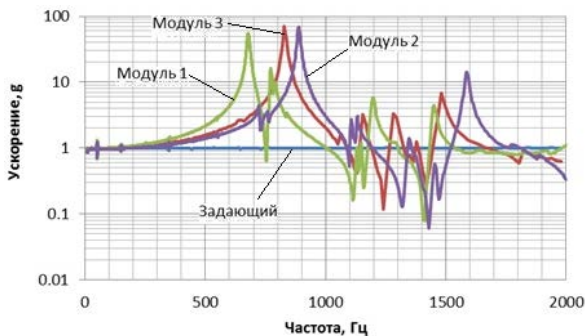


Рис. 6. АЧХ макетов при воздействии СВ (датчик 2)

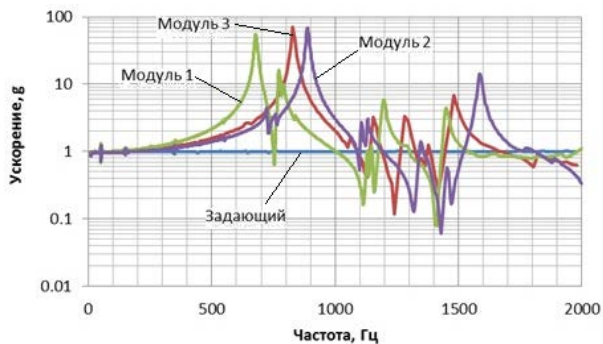


Рис. 7. АЧХ макетов при воздействии ШСВ (датчик 1)

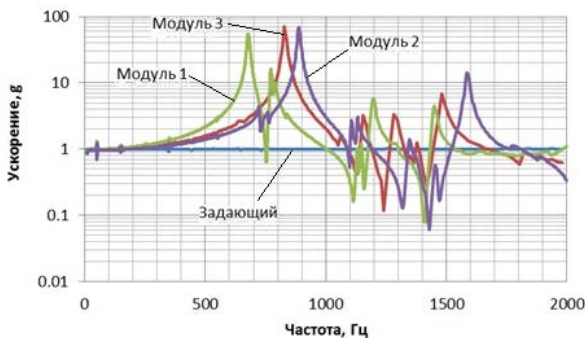


Рис. 8. АЧХ макетов при воздействии ШСВ (датчик 2)

Макеты поочередно подвергнуты воздействию механического удара одиночного действия с амплитудой 9800 м/с^2 (1000 g); воздействию механического удара одиночного действия амплитудой 17150 м/с^2 (1750 g); воздействию механического удара одиночного

действия с амплитудой 58860 м/с^2 (6000 g) в направлении, перпендикулярном плоскости ПП.

Амплитудно-временные характеристики (АВХ) приведены на рис. 9–10.

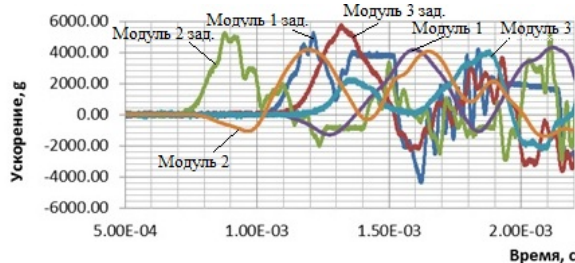


Рис. 9. АВХ макетов при амплитуде 6000 g (датчик 2)

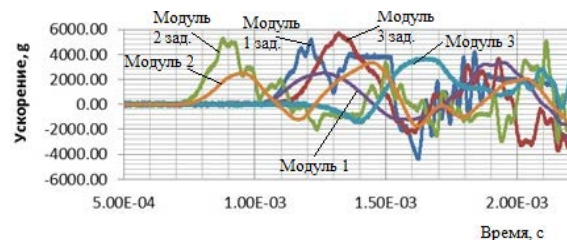


Рис. 10. АВХ макетов при амплитуде 6000 g (датчик 1)

По результатам испытаний конструкционная прочность всех макетов электронных модулей сохранена.

После проведения испытаний выполнена проверка электрического сопротивления цепей, проверка электрического сопротивления изоляции модулей. Результаты проверки – положительные.

По результатам проведённых испытаний сделаны следующие выводы:

- при воздействии вибрации наименьшей динамичностью обладает модуль 1, при этом значения резонансной частоты минимальны, что характерно для каждого вида воздействия;

- наибольшая эффективность от внедрения ПП на металлическом основании возможна при условии вывода первой резонансной частоты за пределы 2000 Гц;

- ПП на металлическом основании целесообразно использовать при малых габаритных размерах разработанных электронных модулей, возможная область применения – гибридные силовые сборки, металлическое основание которых выполняет одновременно несколько ролей: теплоотвод, элемент топологии, средство защиты от механических воздействий;

- технология прямого анодирования алюминиевого основания с последующим гальваническим меднением поверхности основания, изначально предназначенная для изготовления СГИС, может быть применена для изготовления печатных плат.

Список литературы

1. Иванов А. В. Защита малогабаритной бортовой аппаратуры от механических воздействий / Сборник статей // Саров: ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ», 2018. С. 74.
2. Томашев Н. Д., Тюкин М., Заливалов Ф. П. Толстослойное анодирование алюминия и алюминиевых сплавов М.: Машиностроение, 1986.