

Исследование деградации изоляционных материалов с защитными газонепроницаемыми слоями под воздействием факторов открытого космоса

77-48211/515949

12, декабрь 2012

Башков В.М., Литвак Ю.Н., Макеев М.О., Михалев П.А., Осипков А.С.

УДК 51-74

Россия, МГТУ им. Н.Э. Баумана

bmstunc@mail.ru

yourie@yandex.ru

mstislavik@mail.ru

pamikhalev@bmstu.ru

ВВЕДЕНИЕ

Для повышения доли полезной нагрузки, выводимой на орбиту, сегодня de facto стандартом конструирования космических аппаратов (КА) является реализация радиоэлектронных модулей без гермоотсеков. В результате этого многократно повышается вероятность возникновения электрических пробоев между выводами электронных компонентов радиоэлектронной аппаратуры (РЭА). Кроме того, с повышением рабочих частот функционирования аппаратуры КА, повышаются требования к стабильности диэлектрических свойств электроизоляционных материалов при воздействии электрических полей высокой частоты.

Для обеспечения требуемой надежности космических аппаратов необходимо проводить сертификацию электроизоляционных материалов по критерию электрической прочности в условиях космического вакуума. Эти условия характеризуются давлением до $1 \cdot 10^{-7}$ Па, перепадами температур от -60 до 120 °С, а также радиационным воздействием (корпускулярные потоки, кванты высоких энергий) [1, 2]. Стойкость материала к действию высокого

напряжения характеризуют значением электрической прочности $E_{пр}$, под которой понимают минимальную напряженность однородного электрического поля, приводящего к электрическому пробое.

Нанесение защитных диэлектрических антидиффузионных покрытий замедляет диффузию компонентов газовыделения, что обуславливает снижение интенсивности массопотери образца и, как следствие, сохранение образцом своих диэлектрических свойств в течение большего времени по сравнению с образцом без покрытия при одинаковой интенсивности термовакuumного воздействия [3]. В качестве защитных антидиффузионных покрытий могут применяться алмазоподобные покрытия.

В ходе представленного исследования была разработана методика испытаний электроизоляционных материалов при воздействии следующих факторов космического пространства: повышенная температура, высокий вакуум. В совокупности данные факторы приводят к десорбции легколетучих компонентов из приповерхностных и внутренних слоев (в случае высокой диффузионной способности выделяющейся компоненты) и, как следствие, к снижению электрической прочности электроизоляционного материала. С использованием разработанной методики было проведено исследование степени массопотери и деградации электрической прочности образцов полимерного изоляционного материала космического назначения РАДПЛАСТ Т2 с нанесенными защитными алмазоподобными покрытиями и без них.

МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТОВ

Объектами исследования служили четыре группы образцов электроизоляционной термоусаживаемой трубки марки РАДПЛАСТ Т2, прошедших предварительную усадку в потоке горячего воздуха (температура потока воздуха - 150 °С) в течение 30 секунд с нанесенными защитными алмазоподобными покрытиями (образцы групп 1 и 2) и без них (образцы групп 3 и 4). В качестве антидиффузионного было использовано аморфное

углеродное покрытие, полученное методом химического осаждения в вакууме с ассистированием плазмой [4].

Экспериментальные исследования изоляционных материалов при воздействии повышенной температуры и вакуума проведены на стенде для воссоздания условий космического вакуума и проведения термовакuumных испытаний. В основе данной установки лежит вакуумный универсальный пост ВУП-4 (рисунок 1).

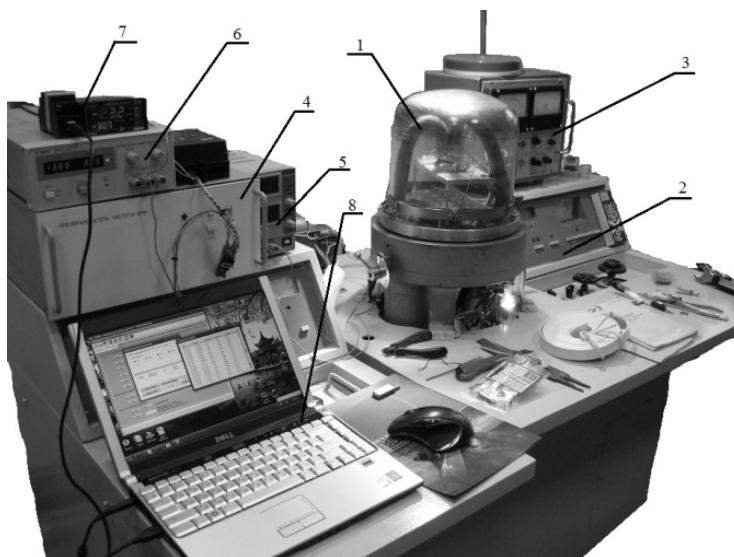
Специально разработанная оснастка для нагрева и захлаживания образцов позволяет воспроизводить следующие условия эксперимента:

- температура нагрева газовыделяющего материала – от 30 до 180 °С;
- температура охлаждения конденсационных подложек – от минус 25 до плюс 15 °С.

Для достижения высокого вакуума ($1,3 \cdot 10^{-3}$ Па) в рабочем объеме камеры используется турбомолекулярный насос ВМН 500.

Измерение веса испытываемых образцов проводилось на высокоточных аналитических весах Sartorius MSA225S-100-DI. Основные технические характеристики данного прибора: цена деления 0,01 мг, наибольший предел взвешивания 220 г, наименьший предел взвешивания 20 мг.

Измерение электрической прочности изоляционного материала осуществлялась при помощи мегаомметра UT511, который позволяет определять сопротивление изоляции в диапазоне от $5 \cdot 10^5$ до $1 \cdot 10^{10}$ Ом при напряжении 100, 250, 500 и 1000 В в зависимости от значения сопротивления изоляции.



1 – вакуумная камера; 2 – блок управления вакуумными насосами; 3 – вакуумметр ВИТ-2; 4 – блок управления турбомолекулярным насосом ВМН 500; 5, 6 – блоки питания нагревательного элемента и элемента Пельтье, соответственно; 7 – двухканальный позиционный измеритель-регулятор температуры ТРМ202 (Овен, Россия); 8 – компьютер для управления температурами нагревателя и охладителя с возможностью протоколирования данных.

Рисунок 1 – Стенд для проведения термовакuumных испытаний

Методика исследований деградации изоляционных материалов космического назначения с защитными газонепроницаемыми слоями под воздействием факторов открытого космоса состоит из следующих основных этапов: измерение массы и измерение сопротивления изоляции до испытаний; проведение термовакuumных испытаний; измерение массы образцов и измерение сопротивления изоляции после испытаний; определение массопотери образцов в результате испытаний (рисунок 2).

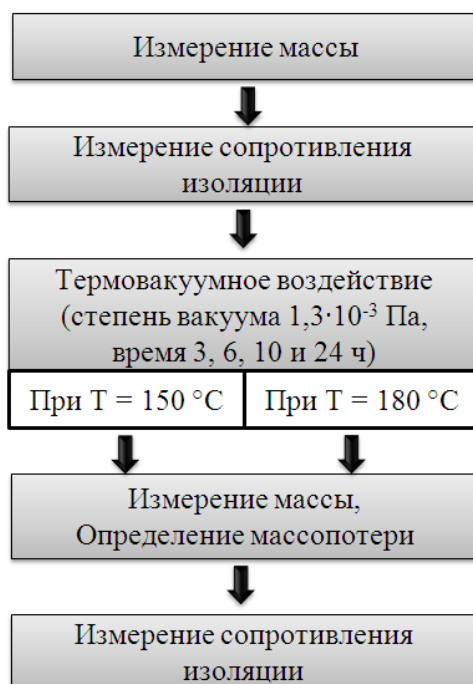


Рисунок 2 – Методика проведения термовакuumных испытаний электроизоляционных материалов космического назначения

Параметры термовакuumного воздействия распределялись по группам образцов следующим образом: температура 150 °C (группы образцов 1 и 3) и 180 °C (группы образцов 2 и 4); степень вакуума $1,3 \cdot 10^{-3}$ Па; время воздействия 3, 6, 10 и 24 ч.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

В результате проведения термовакuumных испытаний были проведены измерения массопотери и электрической прочности образцов четырех групп (таблица 1). Для удобства интерпретации полученных данных построены зависимости измеренных параметров от времени воздействия (рисунки 3 и 4).

Таблица 1 – Результаты измерения потери массы и электрической прочности образцов материала РАДПЛАСТ

Измеряемая величина (среднее значение)	Время термовакuumного воздействия, ч.	Группа образцов			
		№ 1	№ 2	№ 3	№ 4
Массопотеря образца, %	0	0	0	0	0
	3	0,02	0,03	0,09	0,14
	6	0,04	0,07	0,21	0,38
	10	0,05	0,09	0,47	0,56
	24	0,05	0,1	0,96	1,16
Электрическая прочность, В/м	0	25000	25000	25000	25000
	3	24200	23900	22700	22500
	6	24000	23100	21900	21500
	10	23700	22800	20400	19800
	24	23200	22100	18500	17600

Анализ полученных зависимостей показывает, что десорбция легколетучих компонентов из объема материала образцов при термовакuumном воздействии приводит к снижению электрической прочности. Кроме того, нанесение защитных алмазоподобных покрытий позволяет снизить интенсивность газовыделения и, соответственно, массопотери, что, в свою очередь, приводит к сохранению заданной электрической прочности образца в ходе воздействия высоких температур в условиях вакуума.

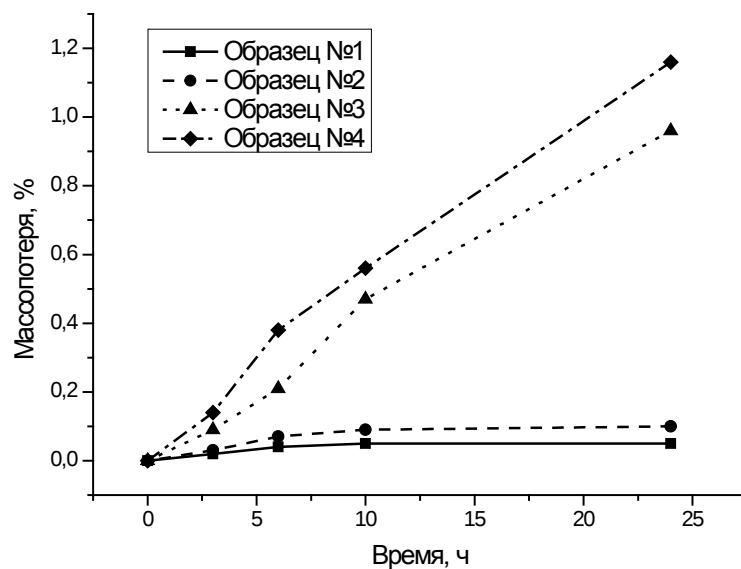


Рисунок 3 – Кинетика потери массы материала РАДПЛАСТ в результате термовакuumного воздействия

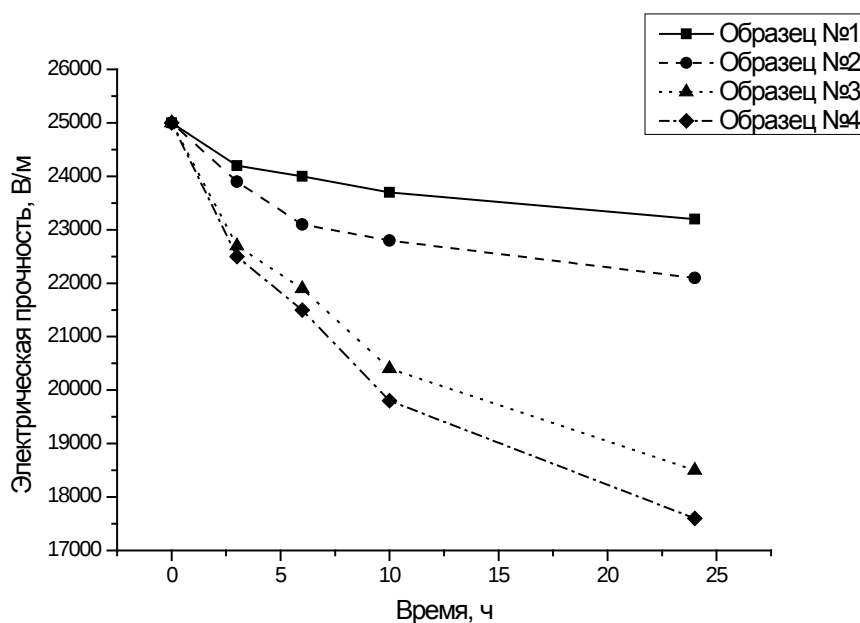


Рисунок 4 – Кинетика снижения электрической прочности материала РАДПЛАСТ в результате термовакuumного воздействия

ВЫВОДЫ

В результате термовакуумных испытаний были получены значения массопотери образцов материала РАДПЛАСТ Т2. Была измерена электрическая прочность образцов материала, подвергнутых термовакуумному воздействию, и установлено наличие взаимосвязи между величиной массопотери и снижением электрической прочности образца.

Выявлено, что нанесение алмазоподобных пленок позволяет снизить интенсивность массопотери в ходе термовакуумного воздействия, обеспечивая тем самым сохранение электрической прочности электроизоляционных материалов на большем временном интервале. Данные результаты позволяют говорить о возможности создания барьерных покрытий для повышения срока службы электроизоляционных материалов, что позволяет обеспечивать надежность функционирования РЭА КА в условиях космического вакуума.

Работа выполнена в рамках государственного контракта № 11.519.11.3035 ФЦП «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2007-2013 годы».

Список цитированных источников

1. *Акишин А.И., Новиков Л.С., Черник В.Н.* Воздействие на материалы и элементы оборудование космических аппаратов вакуума, частиц ионосферной плазмы и солнечного ультрафиолетового излучения // Новые наукоемкие технологии в технике. Энциклопедия. Том 17. Воздействие космической среды на материалы и оборудование космических аппаратов / Под ред. Новикова Л.С., Панасюка М.И., М.: ЗАО НИИ «ЭНЦИТЕХ», 2000, с.100-138
2. *Нусинов М.Д.* Влияние космического вакуума на материалы и устройства научной аппаратуры. – М.: Машиностроение, 1987, 48 с.

3. *Акишин А.И., Докторов Ю.А.* К вопросу об электрическом пробое в высоком вакууме // ЖТФ, 1964, т. XXXIV, в. 2, с. 352-353
4. *Н.В. Гаврилов, А.С. Мамаев, А.С. Кайгородов.* Осаждение алмазоподобных а-С:Н покрытий в несамостоятельном разряде с плазменным катодом // Письма в ЖТФ, 2009, том 35, вып. 1. С. 69-75.