

Разработка стенда для исследования стойкости материалов к воздействию факторов космического пространства

77-48211/511815

11, ноябрь 2012

Янович С. В., Литвак Ю. Н., Михалев П. А., Башков В. М.

УДК. 51-74

Россия, МГТУ им. Н.Э. Баумана

yourie@yandex.ru

bmstunc@mail.ru

mik2502@mail.ru

serg-1@bk.ru

Введение

Объекты, находящиеся в космическом пространстве, подвержены деструкции под воздействием ряда факторов. Высокий вакуум, циклически меняющаяся температура, высокоэнергетические излучения, поток микрометеоритов приводят к сублимации материалов и повышенному газовыделению с поверхностей, расположенных вне гермоотсеков. Образуется собственная внешняя атмосфера (СВА), которая негативно влияет на работоспособность космического аппарата (КА). Увеличение плотности атмосферы в окрестности аппарата за счет увеличения диэлектрической проницаемости, приводит к изменению параметров приемо-передающих СВЧ устройств. Изменение прозрачности влияет на искажение регистрируемых изображений и усилению оптических шумов. Осаждение продуктов СВА на различных поверхностях аппарата приводит к загрязнению оптических покрытий, ухудшению параметров работы терморегулирующих и защитных покрытий.

Плотность СВА определяется количеством источников газов (двигатели коррекции, блоки с избыточным давлением, шлюзовые камеры и др.) и суммарной площадью неметаллических материалов, подверженных влиянию космического вакуума. Космические аппараты новых поколений разрабатываются с учетом требований по увеличению экономической эффективности и применению новейшей аппаратуры. Одним из следствий этого является использование бескорпусных блоков бортовой аппаратуры. Это позволяет значительно снизить массогабаритные характеристики аппаратов, при увеличении количества используемой аппаратуры. Но при этом значительно увеличивается площадь материалов, подверженных воздействию космического вакуума. В результате такой аппарат обладает более плотной СВА с большим числом полимерных частиц с высоким молекулярным весом и большой активностью. Это приводит к увеличению скорости оседания этих частиц на поверхностях КА. Наиболее интенсивно процесс происходит на принудительно охлаждаемых поверхностях. Так как в оптических приборах нового поколения для снижения тепловых наводок используются захлаженные элементы, то быстрее всего именно оптические системы будут выходить из строя из-за роста загрязняющих пленок. Для некоторых современных оптических приборов критерием отказа является 10 процентное снижение светопропускания, тогда как пленка толщиной от 20 до 40 нм вызывает степень светопропускания от 4 до 5 %. Поэтому при расчёте надёжности данных приборов нельзя не учитывать данные процессы.

Таким образом, при проектировании новых КА необходимо учитывать проблемы образования СВА и её воздействие на функционирование КА. Одним из основных методов решения данной проблемы является отбор материалов по таким критериям, как кинетика газовой выделения, способность выделившихся частиц оседать в виде непрозрачных пленок и др. В настоящее время отбор материалов космического назначения регламентируется ГОСТ Р 50109-92 «Материалы неметаллические наружных

поверхностей изделий. Метод испытания на потерю массы и общее содержание в ней летучих конденсируемых веществ при вакуумно-тепловом воздействии». Данный стандарт предполагает термовакуумные испытания материалов в течении 24 часов и контроль двух параметров: потеря массы образцов и количество легко сконденсировавшегося вещества. Недостатками такого метода является отсутствие информации о кинетике процесса газовыделения, о качественном составе выходящих частиц, о параметрах пленки, образованной легко сконденсировавшимися частицами. По результатам таких испытаний невозможно спрогнозировать на срок функционирования аппарата качественный и количественный состав СВА, дать оценку скорости загрязнения и деградации оптических свойств светочувствительных элементов.

Была разработана новая методика ускоренных испытаний процессов газовыделения материалов. В качестве принципа ускорения в нашем случае используется экстраполяция по времени. В результате кратковременных испытаний определяются кинетические параметры газовыделения и пленкообразования. По этим данным осуществляется прогноз на срок функционирования изделия, в котором присутствует исследуемый материал. Для проверки математической модели на адекватность и разработки методики испытаний материалов на газовыделение был разработан универсальный стенд для термовакуумных испытаний.

Целью проводимых работ является разработка стенда, обеспечивающего технические параметры согласно новой методике исследований с использованием универсальных узлов, позволяющих проводить дополнительные экспериментальные исследования образцов различных габаритов, а также отдельных макетов и миниатюрных узлов КА. При разработке необходимо было решить следующие задачи: 1) разработать вакуумную камеру с использованием универсальных быстроразъемных соединений; 2) разработать вакуумную систему; 3) разработать систему

универсальную комплексную систему охлаждения; 4) разработать систему нагрева; 5) разработать варианты установки источника потока корпускулярных частиц.

Основная часть

Экспериментальный стенд состоит из вакуумной камеры, системы откачки, стойки и системы управления. Вакуумная камера (рисунок 1) из коррозионностойкой стали имеет цилиндрическую форму с диаметром 320 мм и высотой 200 мм. Все присоединительные отверстия выполнены в соответствии с ISO под резиновые уплотнения, что позволяет при необходимости оперативно устанавливать дополнительные стандартные модули или заглушки. Камера укомплектована сигнальными и сильноточными токовводами, вводом хладагента, теплосъёмником, набором холодильников и нагревателей, системой теплоизолирующих экранов, смотровым окном.



Рисунок 1. Вакуумная камера

Вакуумная система

Безмасляная вакуумная система состоит из механического мембранного (NI) и турбомолекулярного (NR) насосов (рисунок 2). Такая схема обеспечивает предельное значения давления в камере – 5×10^{-4} Па. Система оснащена конвекционным и ионизационным датчиками давления и электронными блоками индикации. На вакуумной камере (CN) установлен натекательный клапан (VF) и клапан подачи рабочего газа (VE), подключенный к регулятору расхода газа (MFC).

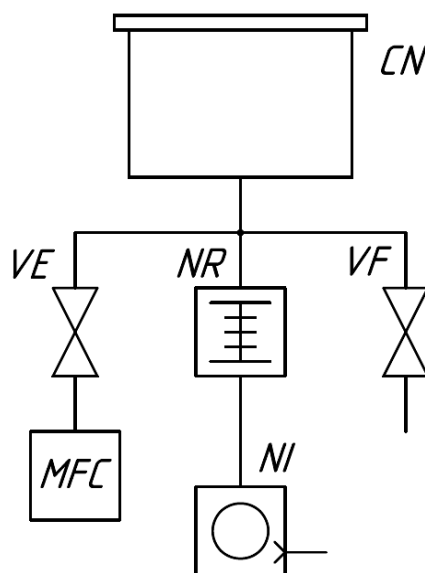


Рисунок 2. Вакуумная схема стенда

Система охлаждения

Основой холодильного тракта установки является универсальный ввод хладагента, соединенный с теплосъёмником внутри камеры (рисунок 3), который позволяет использовать в качестве теплоносителя как дистиллированную воду, так и жидкий азот и его пары.

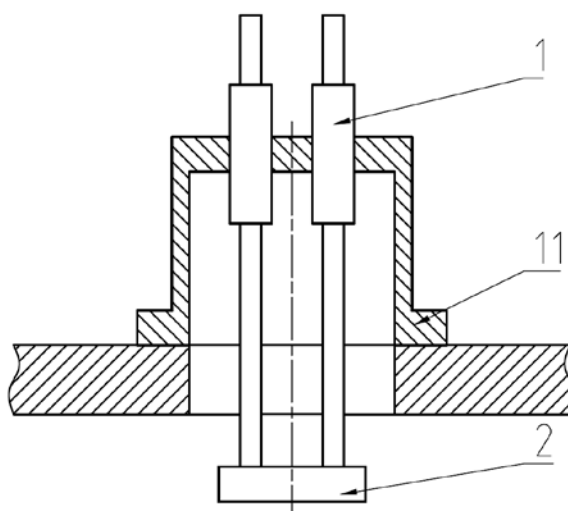


Рисунок 3. Система охлаждения (1 - терморазвязка, 2 - теплосъёмник, 11 - стакан)

Диапазон рабочих температур на теплосъёмнике составляет от минус 196 до плюс 200 °С. Для обеспечения рабочего температурного диапазона резинового уплотнения (от минус 60 до плюс 150 °С), в месте герметизации стакана ввода, предусмотрена терморазвязка.

Вакуумная часть магистрали хладагента выполнена как единый контур, без швов и разъёмных соединений, что исключает попадание жидкости во внутренний объем камеры в ходе эксперимента, обеспечивая надежную работу стенда. Для минимизации тепловых потерь внешние магистрали подачи хладагента, находящиеся в атмосфере, теплоизолированы. Ввод имеет присоединительный фланец ISO 63, что позволяет оперативно переставлять его в разные части вакуумной камеры, моделируя узлы КА. Теплосъёмник позволяет осуществлять быструю установку «холодильников» разных форм и габаритных размеров, а также предусматривает установку термоэлектрического преобразователя (элемента Пельтье), для увеличения мощности и снижения предельной температуры.

Система нагрева

Основными элементами нагревательной системы являются вспомогательные модули, обеспечивающие равномерный нагрев образцов различной формы и габаритов, а также, нагревательные элементы. Используются компактные нагревательные элементы, различных размеров и мощностей (таб. 1). Они выполнены в корпусах из коррозионностойкой стали.

Таблица 1. Габариты нагревателей

№	Размеры, мм	Мощность, Вт
1	40x40	50
2	50x50	50
3	120x220	150

Система крепления нагревательных элементов позволяет располагать их в разных местах рабочего объема и включает теплоразвязку с внутренними стенками вакуумной камеры и тепловые экраны. Экраны необходимы для локализации излучения, снижения тепловпотерь и защиты от перегрева внутренних элементов экспериментальной оснастки.

Источник потока корпускулярных частиц

Для моделирования процессов газовойделения при взаимодействии с потоками корпускулярных частиц в систему «нагреватель - холодильник» был добавлен источник ионов. Формируемый поток ионов направляется на исследуемый образец (рисунок 4), что приводит к изменению динамики образования летучих конденсируемых веществ. Оценка проводится по методике комплексного измерения приращений массы на образце и

подложке. Также возможен структурный и фазовый анализ полученных тонких пленок.

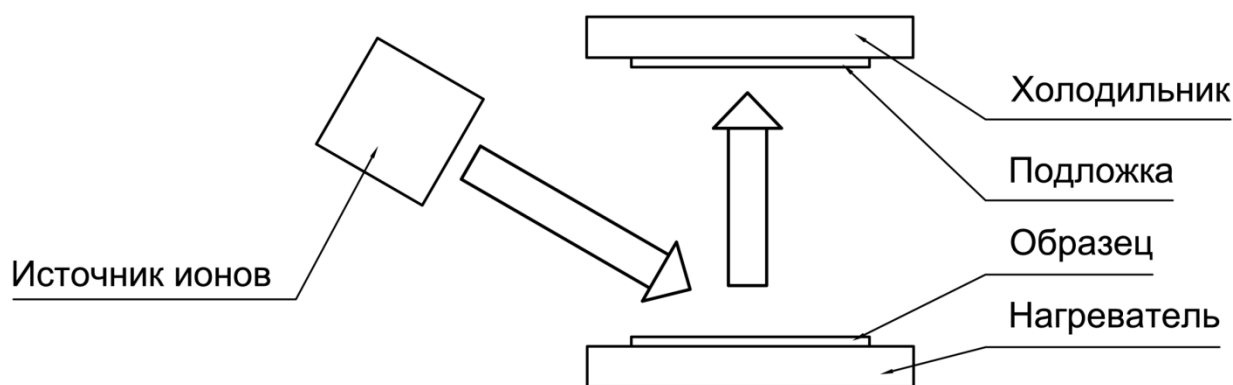


Рисунок 4. Схема процесса исследования

Система «холодильник – нагреватель» используется как термостат, поддерживающий широкий диапазон температур (от минус 160 до плюс 400 °С), а также позволяет задать температурный градиент в случае исследования физической модели или макета (рисунок 5).

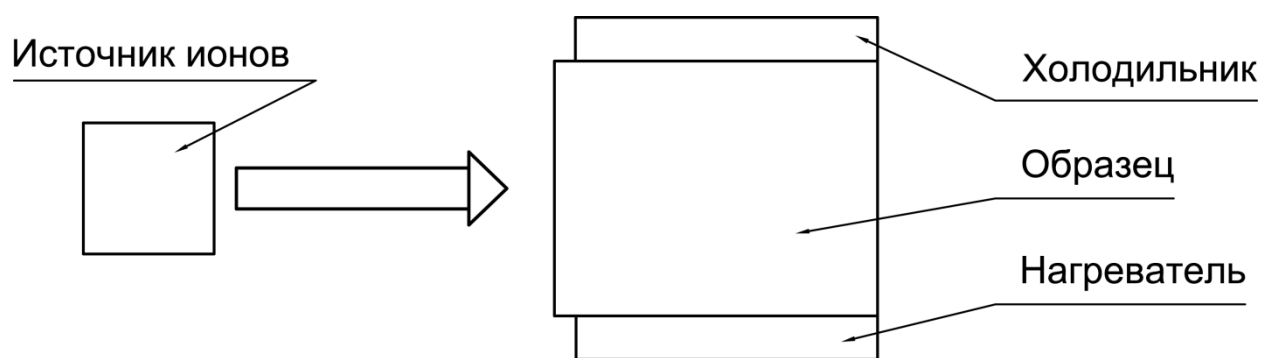


Рисунок 5. Схема исследования макета

В камере установлен модифицированный ионный источник типа «Радикал», который позволяет формировать пучек ионов с различной энергией и плотностью. Изменение распределения энергии частиц и скорости травления производится изменением мощностных характеристик, давления в вакуумной камере и геометрических соотношений между элементами ячейки.

Проектирование экспериментальной оснастки для оценки газовыделения материалов

Для проведения испытаний по оценки газовыделения были разработаны блоки холодильника и нагревателя, а так же испытательные контейнеры (рисунок 6). Блок холодильника предназначен для крепления и охлаждения сменных стеклянных пластин (4), на которых конденсируется поток вещества, выходящий из контейнера. Блок включает основание (3) с хорошей теплопроводностью, прижим для стеклянных пластин (5) и систему тепловых экранов (10). Основание закрепляется на теплосъемнике (2). На нем установлен термодатчик (термосопротивление).

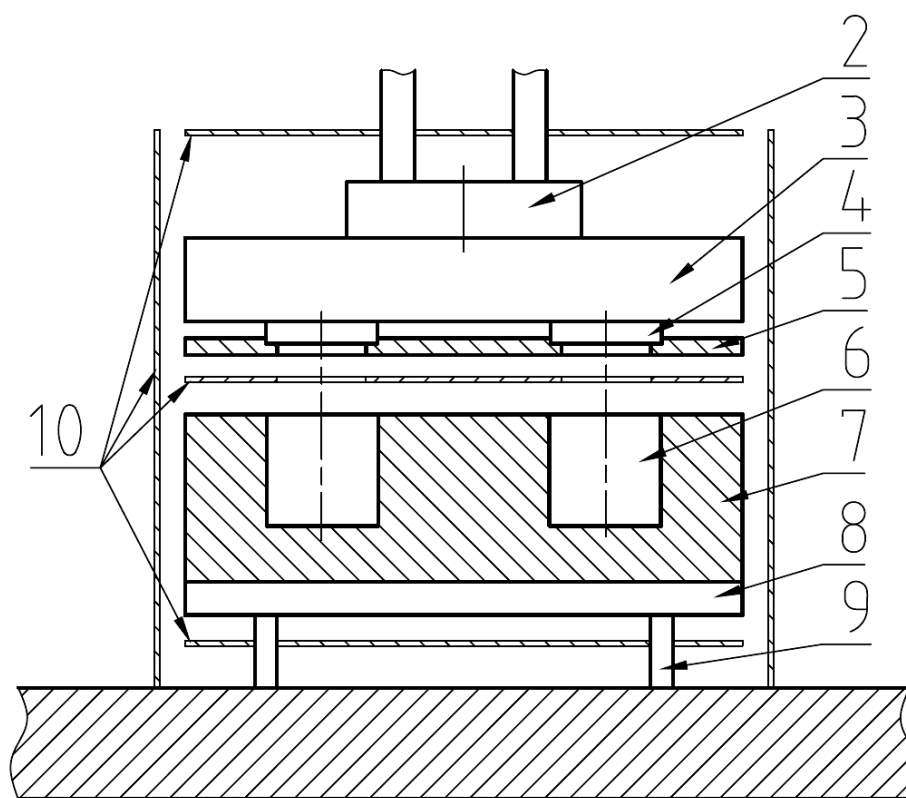


Рисунок 6. Экспериментальная оснастка (2 – теплосъёмник, 3 – основа блока холодильника, 4 – стеклянные пластинки, 5 – прижим, 6 – контейнер, 7 – основание блока нагревателя, 8 – нагревательный элемент, 9 – система крепления, 10 – тепловые экраны)

Блок нагревателя состоит из алюминиевого основания (7) с глухими отверстиями диаметром 26 мм под контейнеры (6), тепловых экранов и нагревательного элемента (120x220 мм). Блок нагрева обеспечивает температуру до 400 С. На основании блока закреплен термодатчик. Основание имеет подвижную систему (9) крепления к дну вакуумной камеры и включает теплоразвязку. Одновременно в блоке можно установить 13 контейнеров, состоящих из дна и крышки цилиндрической формы. Выполнены контейнеры из коррозионностойкой стали.

При проектировании экспериментальной оснастки проведены тепловые расчеты в среде COMSOL Multiphysics, на основании которых были выбраны габариты и форма блоков. Также подобрана форма экранов и тепловая развязка стакана ввода хладагента. На рисунке 7 изображен разрез основы блока нагревателя в сборе с контейнерами. В нижней части блок (7) имеет температуру 400 С обеспеченную нагревателем. Отверстия в верхней части крышки контейнера (6.1.) находятся вблизи блока холодильника и имеют температуру 293 ° С.

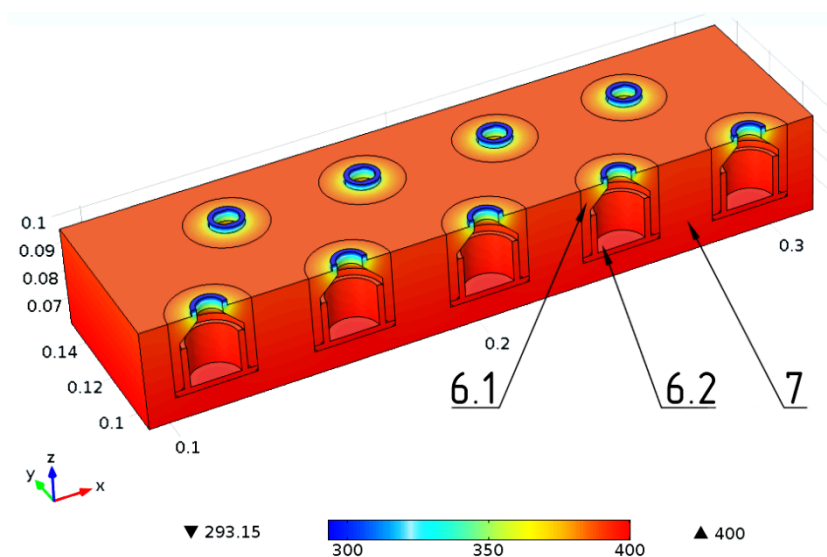


Рисунок 7. Распределение температуры в блоке нагревателя (6.1 – крышка контейнера, 6.2 – дно контейнера, 7 – основание блока нагревателя)

Несмотря на перепад температур, расчетное распределение температуры показывает равномерный прогрев дна стакана (6.2), в котором находится исследуемый материал. Форма и габариты блока были подобраны так, чтобы нагрев всех контейнеров был равномерен.

Работа выполнена в рамках государственного контракта №14.518.11.7032 ФЦП «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2007-2013 годы».

Выводы

- 1) Разработан универсальный стенд для термовакуумных испытаний материалов, макетов и миниатюрных узлов КА.
- 2) Проведена конструктивная оптимизация узлов системы охлаждения и нагрева на основе тепловые расчетов.
- 3) Предложены варианты исследования материалов при дополнительном воздействии пучка корпускулярных частиц.
- 4) Разработанная оснастка имеет стандартные присоединительные фланцы, что позволяет гибко изменять и дополнять экспериментальный стенд.

Список литературы

1. В.И. Костюк, Р.Х. Хасаншин // «К вопросу моделирования газовой выделения материалами покрытий КА при термовакуумном воздействии», Космонавтика и Ракетостроение, 2002, вып. № 28, с. 155-163.
2. R.H. Khassanchine, A. V. Grigorevskiy, Y.P. Gordeev // «Some aspects of simulation of outgassing processes in thermal vacuum exposure of coatings applied to space», Protection of Materials and Structures from Space Environment. ICPMSE-6. 2004. vol. 5. P.P. 327-334. DOI: 10.1007/1-4020-2595-5_28