

способность (>100) в диапазоне масс до 150 а.е.м даже для температур порядка 1000К, тогда как масс-спектрометр с применением линейного зеркала, при том же температурном разбросе, имеет разрешение >100 только в диапазоне масс до 25 а.е.м.

Список использованных источников

1 Картаев, В.И. Новый принцип фокусировки ионных пакетов во времяпролетных масс-спектрометрах [Текст]/ В.И. Картаев, Б.А. Мамырин, Д.В. Шмикк //ЖТФ. -1971. -Т.41. -Вып.7.

2 Картаев, В.И. Новый безмагнитный времяпролетный масс-спектрометр с высокой разрешающей способностью [Текст]/ В.И. Картаев, Б.А. Мамырин, Д.В. Шмикк, В.А. Загулин// ЖТФ. -1973. -Т.64. -Вып. 1.

3 Шмикк, Д.В., Отражатель масс-рефлектрона [Текст]/ Д.В. Шмикк, Б.Н. Дубенский //ЖТФ. -1984. -Т.58. -Вып.1.

4 Глащенко, В.П. Расширение энергетического диапазона фокусируемых ионов во времяпролетном масс-спектрометре [Текст]/ В.П. Глащенко, Н.Д. Семкин //ЖТФ. 1985. -Т55. -Вып.5.

МОДЕЛИРОВАНИЕ И АНАЛИЗ ВОЗДЕЙСТВИЯ ПОТОКА ВЫСОКОСКОРОСТНЫХ ЧАСТИЦ НА МАТЕРИАЛЫ И ЭЛЕМЕНТЫ КОНСТРУКЦИИ КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА

Н.Д. Семкин, М.П. Калаев, А.М. Телегин

Самарский государственный аэрокосмический университет, г.Самара

Для экспериментального моделирования метеорного и техногенного воздействия на поверхности оптического стекла разработана и изготовлена установка, включающая электродинамический ускоритель и систему регистрации и обработки информации. Экспериментальный стенд позволяет решить следующие задачи:

- определение основных механизмов, приводящих к деградации материалов;
- определение экспериментальных зависимостей деградационных характеристик от массы и скорости потока частиц.

Введение

В последние годы сохраняется тенденция увеличения концентрации высокоскоростных техногенных пылевых частиц на околоземных орбитах. По некоторым данным уже сейчас концентрация техногенных пылевых частиц в три раза превышает концентрацию микрометеороидов естественного происхождения. Учитывая все повышающиеся требования к надежности и долговечности космических аппаратов, а также появление множества новых материалов, необходимо дальнейшее развитие

исследований процессов взаимодействия высокоскоростных пылевых частиц с материалами элементов конструкции космических аппаратов.

Стоит отметить, что в последнее время в космической промышленности появляются и находят применение новые материалы, что обуславливает необходимость проведения ударных экспериментов.

Для имитации воздействия микрометеоритов и техногенных частиц на материалы конструкций КА, а также для создания и калибровки новых микрометеороидных датчиков существуют различные способы ускорения пылевых частиц в лабораторных условиях.

1. Оборудование и методика проведения эксперимента

1.1 Ускоритель для моделирования микрометеороидов

В [1] приведены описание конструкции и принцип действия линейного ускорителя для моделирования микрометеороидов, использующего электродинамический метод ускорения частиц. Данный ускоритель позволяет моделировать в лабораторных условиях столкновения микрометеороидов размером $0,1 \pm 10$ мкм и скоростями 1 ± 15 км/с с различными материалами

На рис. 1 приведена структурная схема линейного ускорителя для моделирования микрометеороидов, тракт которого также как и у прототипа состоит из инжектора, линейного электростатического ускорителя (ЛЭСУ), линейного электродинамического ускорителя (ЛЭДУ), трех измерительных линеек и камеры для экспериментов. Вакуум в системе обеспечивают две откачные системы, каждая из которых состоит из вакуумного диффузионного масляного агрегата АВМД -250, форвакуумного насоса НВПР-16 и необходимых задвижек (КВЭ-63). Предельное остаточное давление в системе составляло 10^{-5} мм рт.ст. Фотография ускорителя для моделирования микрометеороидов приведена на рис 2.

Остановимся на основных узлах тракта. В конструкцию инжектора заряженных частиц [2] не было внесено никаких изменений, так как он достаточно хорошо зарекомендовал себя при работе с различными порошками. Однако при работе ускорителя наблюдалась неравномерность потока инжекторных частиц. Вследствие случайных процессов, протекающих в инжекторе, а также из-за флуктуаций напряжений на зарядном и бункерном электродах, интервалы следования между частицами не были периодичными. Это приводило к неравномерности разрядки конденсаторных батарей высоковольтного усилителя пачки, а, следовательно, к потере

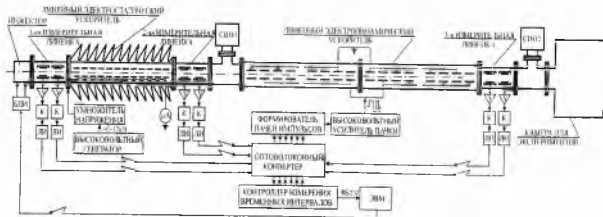


Рис. 1. Структурная схема линейного ускорителя микрометеоритов: У – усилитель, К – компаратор, ЛИ – лазерный излучатель, СВО1, СВО2 – система вакуумной откачки 1 и 2 соответственно, БПИ – блок литания инжектора

частиц. Иногда поток частиц был достаточно плотным даже для того, чтобы система измерения параметров частиц и формирователь пачки импульсов успевал идентифицировать каждую частицу. При работе ускорителя приходилось постоянно отслеживать интенсивность следования частиц, и, при необходимости, регулировать напряжения на бункерном электроде. Для автоматизации данного процесса в описываемом ускорителе управление блоком питания инжектора осуществляется по оптическому каналу через последовательный порт ЭВМ. Программа, которая осуществляет сбор и предварительную статистическую обработку данных о частицах, отслеживает периодичность следования частиц и регулирует напряжения на бункерном и зарядном электродах инжектора.

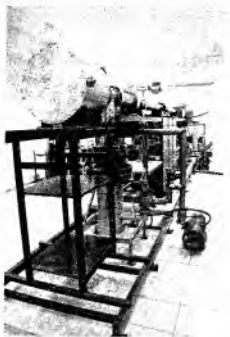


Рис 2. Ускоритель для моделирования микрометеороидов

2. Результаты экспериментов

2.1. Исследование кратеров после воздействия алюминиевых частиц на кварцевое стекло с нанесенной платиновой пленкой

В ходе данного эксперимента в камеру устанавливалось кварцевое стекло, на поверхность которого была нанесена пленка из платины толщиной $\sim 0,2$ мкм. Затем образец подвергался воздействию высокоскоростных

$$d_n \approx kd_k,$$

где E_p – удельная энергия кратерообразования; d_k – диаметр кратера; d_n – диаметр поврежденной зоны, k – коэффициент, характеризующий размер поврежденной околokraterной зоны. Для стеклянных поверхностей $k \approx 2.5$.

На рис.4. приведена расчетная зависимость диаметра кратера от диаметра частицы при различных скоростях соударения (кривая 1) и экспериментальная (кривая 2), полученная при усреднении результатов многократных экспериментов.

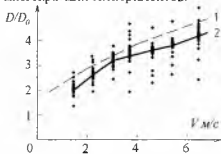


Рис.4. Зависимость диаметра кратера от диаметра частицы при различных скоростях соударения

2.2. Исследование кратеров после воздействия алюминиевых частиц на мишень из титана

Методика проведения эксперимента была такой же, как и в пункте 2.1.

На рис.5,а приведена зависимость атомарного состава в области кратера на поверхности титановой мишени. На рис.5,б – изображение кратера, полученное с помощью электронного микроскопа.

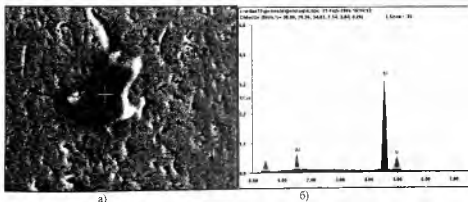


Рис. 5. Изображение кратера на поверхности титана и спектрограмма атомарного состава поверхности кратера

Как видно из рис.5,а. в области кратера остался материал частицы, что свидетельствует о том, что частица “застряла” в мишени. Скорость частицы в момент соударения составляла около 4 км/с.

2.3. Исследование оптических свойств кварцевого стекла после воздействия потока алюминиевых частиц

Как известно, характер рассеяния света в дисперсной среде зависит от типа неоднородностей и их расположения в пространстве. Эффективность рассеяния излучения на отдельном поверхностном дефекте, образованном в результате бомбардировки оптических элементов мелкодисперсными частицами, определяется оптическими постоянными вещества, из которого состоят эти элементы, размером дефекта, его формой, внутренней структурой и т.д. Диаметр и глубина проникновения дефекта зависят от размеров и кинетической энергии частицы, а также от физико-механических свойств материалов частицы и поверхности. Поверхностные дефекты можно разделить на три группы.

1. Пустотелые кратеры.

2. Кратеры, заполненные (частично или полностью) материалом аэрозольной частицы или продуктами сгорания.

3. Пустотелые или заполненные кратеры с ореолом из микродефектов в материале оптического элемента.

Пустотелые и заполненные кратеры можно считать сферически симметричными. Так как реальные кратеры имеют размеры 2-5 мкм, то необходимо использование модели, описывающей взаимодействие видимого и ИК-диапазона с такими типами неоднородностей. С элементами теории рассеяния волн в неоднородных средах можно ознакомиться в [4].

В ходе данного эксперимента в качестве мишени использовалось оптическое стекло. Материал частиц – алюминий. Фотографии кратеров приведены на рис. 6.

В процессе эксперимента изменялся коэффициент полного пропускания:

$$K_t = \frac{F_t}{F_e},$$

где F_t и F_e — соответственно воздействующий и обратный световые потоки, в зависимости от длины волны. Исходным значением является коэффициент пропускания чистых образцов.

Коэффициент ослабления равен:

$$K_s = \frac{K_{11}}{K_{12}}$$

где K_{11} — коэффициент пропускания чистых образцов; K_{12} — коэффициент пропускания после экспонирования.

Функциональная схема экспериментальной установки представлена на рис. 7.

В качестве источников световых волн использована матрица ярких светоизлучающих диодов с длиной волны 0,35-0,9мкм, а также светодиод белого свечения со спектром излучения, близким к солнечному свету. Это позволяет измерить изменение характеристик во всём диапазоне длин световых волн, а также выявить специфические эффекты при размерах МДЧ, близких к длине волны источника света.

Использование двух каналов (опорного и измеряемого) с инструментальным усилителем на входе позволило свести к минимуму составляющие погрешности, вызванные изменением температуры окружающей среды и изменением свойств источников световых волн. Начальный разброс характеристик опорного и измеряемого каналов устраняется фазой калибровки, которая происходит автоматически при включении устройства.

Данные измерений и настройки устройства передаются в ЭВМ, где производится дальнейший анализ результатов.

Комплекс принятых мер позволил получить точность измерения не хуже 0,02%.

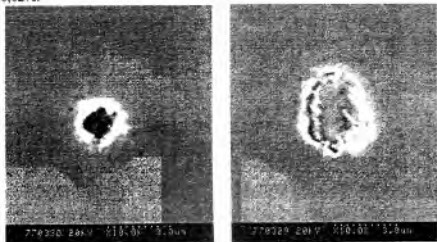


Рис 6. фотографии кратеров на поверхности стекла

Параметры частиц измеряются при помощи двух датчиков на выходе ускорителя – индукционного и ионизационного. На входе индукционного датчика установлена заземленная экранирующая сетка, осуществляющая защиту от наводок, источником которых является электродинамический контур ускорителя

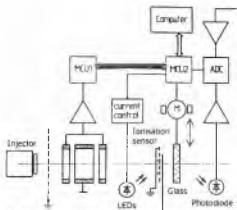


Рис.7. Функциональная схема измерительной установки

На рис. 8 показано изменение коэффициента полного пропускания стекла в зависимости от количества попавших на поверхность частиц для различных длин световой волны.

Также проводилось исследование прозрачности стекла при помощи спектрофотометра. На рис. 9 (кривая 1) измерялся коэффициент пропускания до воздействия на стекло частицами, а кривая 2 – снята для того же самого образца, но после проведения экспериментов на электродинамическом ускорителе.

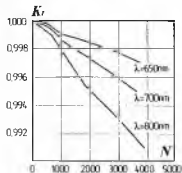


Рис 8 Изменение коэффициента пропускания стекла в зависимости от количества частиц

Как видно из рис.9, в диапазоне длин волн от 500 до 870 нм при воздействии на поверхность стекла площадью 5 см² потоком из 3000 частиц наблюдается уменьшение коэффициента пропускания примерно на 0,7%. Кроме того, проводилось сравнение экспериментальных данных с теоретическими расчетами, полученными с использованием теории о рассеянии волн в неоднородных средах [4].

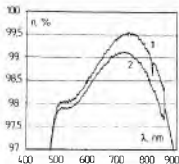


Рис.9. Зависимость изменения коэффициента пропускания стекла от длины световой волны

С помощью разработанного прибора для измерения деградации материалов под воздействием высокоскоростных пылевых частиц возможно исследование как поведения элементов конструкций КА в условиях воздействия потоков пылевых частиц, так и выполнение тарировки различных детекторов микрометеороидов и частиц космического мусора.

Список использованных источников

1. Семкин Н.Д., Пияков А.В., Воронов К.Е., Богоявленский Н.Л., Горюнов Д.В. Линейный ускоритель для моделирования микрометеороидов // Приборы и техника эксперимента. - 2007, №2. - С. 140-147.
2. Семкин Н.Д., Пияков А.В., Воронов К.Е., Богоявленский Н.Л., Шепелев С.М. Инжектор заряженных пылевых частиц // Приборы и техника эксперимента. 2006, №3. - С. 154-159.
3. Хэллон Ф. Сфифт. Механика соударения со сверхвысокими скоростями/В кн.: Динамика удара. - М: Мир, 1985. - 256 с.
4. Исимару А. Распространение и рассеяние волн в случайно-неоднородных средах. - М.: Мир, 1981. - 356 с.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОВОДИМОСТИ ДИЭЛЕКТРИКОВ И ПОЛУПРОВОДНИКОВ ПОД ВЫСОКИМ ДАВЛЕНИЕМ (обзор)

А.М. Телегин, М.П. Калаев, Н.Д. Семкин

Самарский государственный аэрокосмический университет, г. Самара

Введение

В твердых телах под высоким давлением, создаваемым высокоскоростным ударом имеет место множество самых разнообразных явлений: вспышка, ионизации при высокоскоростном соударении,