

- 13/00/ А.С. Козерук, И.П. Филонов; заявитель БНТУ - № а 20030242; заявл. 2003.03.18; опубл. 2006.04.30// Офиц. бюл. / Нац. центр интел. собственности. – 2006. – №2. – С. 158.
2. Станок для одновременной двусторонней обработки линз с кривыми вогнутыми поверхностями: пат. 10726 Респ. Беларусь, МПК В 24В 13/00/ А.С. Козерук, И.П. Филонов, А.А. Сухоцкий, В.Ф. Климович, Е.С. Таболина; заявитель БНТУ - № а 20060589; заявл. 2006.06.14; опубл. 2008.06.30// Офиц. бюл. / Нац. центр интел. собственности. – 2008. – №3. – С. 76.
3. И.П. Филонов, Ф.Ф. Климович, А.С. Козерук. Управление формообразованием прецизионных поверхностей деталей машин и приборов. Мн., ДизайнПРО, 1995. – 208 с.

УДК 629.7

ИЗДЕЛИЯ АЭРОКОСМИЧЕСКОЙ ТЕХНИКИ ИЗ ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

Колаша С.С.¹, Фёдорцев Р.В.²

¹ ОАО «Пеленг», г. Минск, Республика Беларусь,

² Белорусский национальный технический университет, Минск, Республика Беларусь

В современной аэрокосмической технике широко используются различные полимерные композиционные материалы (ПКМ). В частности, при разработке и создании средств космического базирования целесообразно применение новых материалов, которые способны обладать стойкостью к воздействию внешних возмущающих факторов (ВВФ) космического пространства таким как: высокое давление и вибрационные нагрузки на этапе выведения на орбиту; резкие колебания температуры и глубокий вакуум, радиационное воздействие и проникновение микрочастиц в процессе полёта и т.д.

ПКМ состоят из двух или более компонентов, количественное соотношение которых должно быть сопоставимо. Один из компонентов образует непрерывную фазу, которая называется матрицей, другой компонент является наполнителем. Между ними создается адгезионное взаимодействие, которое обеспечивает монолитность материала.

В ПКМ матрица полимерная, а наполнитель представляет собой частицы и волокна, обладающие более высокими физико-механическими характеристиками по сравнению с полимерной матрицей.

Классификацию ПКМ можно осуществить по следующим признакам:

1. По природе матрицы:
 - терморезистивная;
 - термопластичная;
 - гибридная.
2. По природе и форме наполнителя:
 - органические и неорганические вещества природного или искусственного происхождения;
 - дисперсно-наполненные композиты;
 - материалы на основе коротких и непрерывных волокон.
3. По функциональности и др [1].

Применение ПКМ позволяет снизить вес космического аппарата (КА) на 10...50% в зави-

симости от типа конструкции и, соответственно, сократить расход топлива, повысив при этом надежность изделия [2].

ПКМ является основным материалом для изготовления таких элементов конструкции КА как защитные кожухи антенн, трубчатые фермы, панели, брусья, несущие конструкции теплозащиты, каркасы солнечных батарей и другие несущие и вспомогательные элементы.

На рисунке 1 изображен адаптер, изготовленный из ПКМ, в ракетноносителе «Протон-М» для вывода тяжелых спутников на геостационарную орбиту.

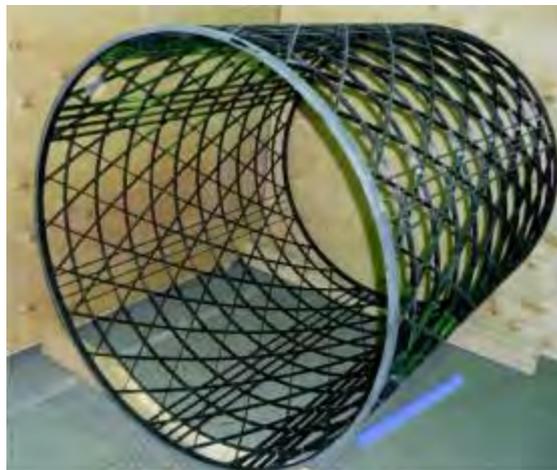


Рисунок 1 – Адаптер из ПКМ в ракетноносителе «Протон-М»

ОАО «Пеленг» при создании опико-электронных аппаратов (ОЭА) космического базирования осуществляет комплексные исследования свойств ПКМ на различных стадиях проектирования с целью определения соответствия разрабатываемого изделия предъявляемым требованиям:

– аналитический метод (проверка КД на ОЭА в части обеспечения требований устойчивости к воздействию ВВФ);

- расчетный метод (математическое моделирование ВВФ на конструкцию ОЭА космического базирования в специализированных программных пакетах);
- экспериментальный метод (макетно-конструкторские, динамические, термовакуумные и другие испытания аппаратуры);
- комбинированные методы.

Основными методами получения необходимой информации при испытаниях являются расчетно-экспериментальный и экспериментальный. Сравнение полученных данных проводится методом сличения.

Для проверки разработанного ОЭА космического базирования на работоспособность при воздействии различных ВВФ принято проводить следующий ряд испытаний:

Таблица 1 – Режим испытаний изделия на вибропрочность

По оси Z						
Диапазон частот (Гц)	5–8	8–25	25–30	30–60	60–65	65–100
Амплитуда виброускорения при приемке, g (0...P)	1–3	3	3–5	5	5–3	3
По осям X, Y						
Диапазон частот (Гц)	5–8	8–30	30–35	35–60	60–65	65–100
Амплитуда виброускорения при приемке, g (0...P)	1,5–4,5	4,5	4,5–6	6	6–4,5	4,5
Скорость сканирования	при аттестации	2окт/мин.				
	при приемке	4окт/мин.				

1. Стойкость и устойчивость к климатическим ВВФ. Испытуемый ОЭА устанавливается в климатическую камеру, где его подвергают воздействию циклического изменения температуры. Проводят 18 температурных циклов из следующих друг за другом полуциклов испытаний на холодо- и теплоустойчивость в последовательности от 0°C до +40°C со скоростью изменения температуры 0,5 °C/мин при времени выдержки 4 ч.

2. Прочность к воздействию линейных перегрузок. Линейные перегрузки, действующие на ОЭА, в продольном направлении (в направлении Z) составляют 8g, в поперечном направлении (в направлении X/Y) – 3g. В соответствии с отраслевым стандартом если значение максимального линейного ускорения на аппаратуру не превышает 10g, то воздействие линейных перегрузок допускается подтверждать расчетным методом.

3. Прочность к воздействию широкополосных случайных и синусоидальных вибраций. Для проверки на конструктивную прочность при вибрационном воздействии проводится серия испытаний на вибростенде ES-70-480/VT100M. ОЭА фиксируется так, как будет зафиксирован в КА, и подвергается вибрациям по трём осям одновременно в исследуемом диапазоне частот (обычно от 0 Гц до 2000 Гц или от 0 Гц до 3000 Гц). С установленных в различных частях конструкции акселерометров поступает информация о возникающих в конструкции виброускорениях. Так формируется механическая амплитудно-частотная характеристика, которая показывает резонансные частоты конструкции и максимальные уровни виброускорения, возникающие в ней. Параметры режима испытаний представлены в таблице 1.

4. Прочность к ударно-импульсным воздействиям. Испытание проводится при помощи ударно-импульсного силовозбудителя на режимах, представленных в таблице 2 и в форме ударного спектра, определенного при добротности Q=10 в трех взаимно перпендикулярных направлениях. При проведении испытаний осуществляется измерение виброускорений с помощью анализатора спектра Zet 017-U4 по трем осям в точках крепления ОЭА.

Таблица 2 – Режим воздействия ударно-импульсного нагружения на ОЭА

Диапазон частот, Гц	100–500	500–3000
Величина при аттестации (g) Q	10	
Точность воспроизведения	±6 dB/oct	
Направление нагрузки	По трем осям	
Количество ударов по каждой из осей	3	

Отрицательным фактором проведения указанных испытаний является то обстоятельство, что в ряде случаев изделие может частично или полностью утратить свою работоспособность, что повлечёт дополнительные финансовые и временные затраты, которые тем не менее будут способствовать усовершенствованию изделия путём изготовления новых деталей и узлов.

1. Кербер, М.Л. Полимерные композиционные материалы: структуры, свойства, технология: учеб. Пособие / М.Л. Кербер, В.М. Виноградов, Г.С. Головкин и др.; под ред. А.А. Берлина. – СПб.: «Профессия», 2008. – 560 с.

2. Ракетостроение. Отраслевые решения. Холдинговая компания «Композит». Россия. Москва. 2009 – 2014. <http://www.hccomposite.com/sectors/126/>.
3. Сетчатые конструкции из органо-углепластиков. ФНПЦ ОАО «Центральный научно-исследовательский институт специального машиностроения». Россия. Хотьково. http://www.tsniism.ru/production_4.htm.
4. Коваленко, В.А. Применение полимерных композиционных материалов в изделиях ракетно-космической техники как резерв повышения её массовой и функциональной эффективности. / В.А. Коваленко, А.В. Кондратьев – Журнал «Авиационно-космическая техника и технология», №5 (82), 2011. – С.14-20.

УДК 620.22

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЧНОСТНЫХ СВОЙСТВ ПОВЕРХНОСТЕЙ ДЕТАЛЕЙ ИНЖЕКТОРА НАНОИНДЕНТИРОВАНИЕМ

Кузнецова Т.А.¹, Ширяева Т.И.¹, Чижик С.А.¹, Кравчук А.С.²,
Мищак А.³, Фриц М.³, Чабан А.³

¹ Белорусский национальный технический университет, Минск, Республика Беларусь

² Белорусский государственный университет, Минск, Республика Беларусь

³ Морская академия, Гдыня, Республика Польша

Для большинства деталей машин прочностные свойства поверхности являются определяющими для надежной работы всего механизма. Под прочностью материала понимают его способность сопротивляться разрушению в результате силового воздействия [1]. Характеристиками, позволяющими достоверно оценить прочностные свойства материалов, являются микротвердость и модуль упругости. В данной работе оценка изменения прочностных характеристик поверхностных слоев детали вследствие ее работы проводилась на примере деталей инжектора топлива (рисунок 1).



Рисунок 1 – Корпус и игла инжектора топлива

Внутренняя поверхность корпуса и наружная поверхность иглы подвергаются гидродинамическому давлению $12 \cdot 10^6 - 18 \cdot 10^6$ Па. При использовании топлива низкого качества помимо общего давления добавляется воздействие примесных абразивных частиц размером от десятых долей микрометра до нескольких микрометров, что ведет к образованию царапин и углублений в зазоре между корпусом и иглой и может привести к разгерметизации узла и его разрушению ранее запланированных 6000 часов.

Для исследования изменения микротвердости

и модуля упругости рабочих поверхностей корпуса и иглы инжектора топлива применяли наноиндентирование, основанное на локальном силовом воздействии с одновременной регистрацией деформационных откликов [2]. Для исследования зависимости прочностных свойств от расстояния до рабочей поверхности из образцов были изготовлены поперечные шлифы, одновременно обеспечивающие необходимую степень шероховатости для работы в режиме наноиндентирования. Исследования проводились на наноинденторе модели 750 Ubi фирмы Hysitron (США) путем внедрения алмазного наконечника Берковича, в виде трехгранной пирамиды с радиусом закругления острия 100 нм. Высокая точность позиционирования и малый радиус закругления острия индентора позволяют производить оценку механических свойств отдельных фаз многофазных материалов.

Для контроля качества исследуемой поверхности материала и точного выбора места индентирования были получены изображения топографии поверхности методом сканирующей зондовой микроскопии. Точность измерений обеспечивалась путем набора статистических данных в массиве из 20 точек на каждом поле. Индентирование проводилось с постоянной нагрузкой равной 5000 мкН по схеме: 10 с нагружение – 10 с разгружение. В результате внедрения в поверхность материала получали кривые нагружения-разгружения (зависимость силы от глубины внедрения) (рисунок 2), по которым проводился расчет микротвердости и модуля упругости по методу Оливера-Фарра. Метод Оливера-Фарра позволяет корректно определять микротвердость, контактную жесткость, модуль упругости, пластичность и другие характеристики материала с учетом реального закругления в вершине пирамидального индентора, упругого прогиба поверхности в области контакта,