

Учитывая представленные материалы, можно с уверенностью говорить, что нейтрализацию сорбента, загрязненного окислителем, можно проводить как химическим, так и физическим (жидкостным) методом – промывкой водой. При этом количество образовавшихся промстоков в первом и во втором случае будет практически одинаковым.

Результаты отработки технологии нейтрализации сорбента, загрязненного горючим, показали, что использование жидкостного и химического методов, является недостаточным для достижения ПДК (в промстоках) даже после двух циклов нейтрализации (см. табл. 2, 3). Это свидетельствует о том, что значительное количество горючего проникло достаточно глубоко внутрь структуры гранул сорбента.

Применение комбинированного метода на основе физических процедур позволило обеспечить высокое качество нейтрализации сорбента, загрязненного горючим. Это обусловлено тем, что использование водяного пара позволяет интенсивно удалять продукты химической нейтрализации с наружной поверхности гранул сорбента и освобождает поры сорбента.

**Выводы.** Выполненный комплекс работ по нейтрализации сорбента, загрязненного парами окислителя тетраоксид азота и горючего несимметричный диметилгидразин, показали следующее:

1. Для нейтрализации сорбента, загрязненного парами окислителя, эффективным является жидкостной метод – промывка сорбента водой в количестве, превышающем массу сорбента в 6–10 раз, с

добавлением в образующейся раствор 5 % перекиси водорода в количестве 10–15 % от массы сорбента. Достоинством метода является простота и надежность, недостатком – большое количество образующихся слабых промстоков, которые, в свою очередь, требуют утилизации.

2. Для нейтрализации сорбента, загрязненного горючим, использование химического метода нейтрализации растворами уксусной и щавелевой кислоты является неэффективным (ПДК не было достигнуто). Дальнейшая нейтрализация сорбента с использованием оригинального комбинированного метода, включающего обработку сорбента водяным паром с последующим вакуумированием и продувкой сорбента газом, позволила снизить загрязнение сорбента до значений ниже ПДК.

#### **Библиографические ссылки.**

1. Касаткин А.Г. Основные процессы и аппараты химической технологии. Государственное научно-техническое издательство химической литературы. Москва, 1960. 531–545 с.

2. Савенко В.П., Петрусенко Л.И., Федё Е.В. Космическая техника. *Ракетное вооружение* : сб. науч.-техн. ст. 2017. Вып. 1. Днепр : ГП «КБ «Южное». 115 с.

3. Михальская Л.Л. Отчет о научно-исследовательской работе. ООО «Харьковский научный центр военной экологии». № государственной регистрации 0112U005984, 2013. 71 с.

*Надійшла до редколегії 06.07.2018 р.*

УДК 620.171.2

## **ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ СВОЙСТВ УГЛЕРОДНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ТРУБЧАТЫХ МОДЕЛЯХ**

Т. А. Манько<sup>1</sup>; И. А. Гусарова<sup>2</sup>; О. П. Роменская<sup>2</sup>;  
А. А. Самусенко<sup>2</sup>; И. И. Деревянко<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Днепропетровский национальный университет имени Олеся Гончара

<sup>2</sup> Государственное предприятие «Конструкторское бюро «Южное» им. М. К. Янгеля»

На теперішній час вуглецеві композиційні матеріали широко використовуються в конструкціях космічної техніки. Тенденція до розширення споживання вуглецевого волокна при виготовленні деталей

© Манько Т.А., Гусарова И.А., Роменская О.П., Самусенко А.А., Деревянко И.И., 2018

та конструкцій потребує вивчення нових способів його одержання. В роботі застосовували спосіб модифікацій вуглецевих волокон атмосферою плазмовою обробкою в двох різних середовищах: акрилової кислоти і алліламіна та проводили дослідження наповнювача на трубчастих моделях. В результаті випробувань встановлено, що атмосферо-плазмова обробка в середовищі акрилової кислоти сприяє підвищенню характеристик вуглепластика на ~ 25 % ефективніше, ніж обробка в алліламіні для типів наповнювачів, що досліджували.

**Ключові слова:** вуглецеве волокно, атмосферна плазма, трубчасті моделі, внутрішній надлишковий тиск, тензодатчики, деформації, модуль пружності.

At present, carbon composite materials are widely used in space technology. The tendency to expand the consumption of carbon fiber in the manufacture of parts and structures requires the study of new ways of obtaining it. A method of modifying carbon fibers by atmospheric plasma treatment in two different media was used: acrylic acid and allylamine, and fillers were studied on tubular models. As a result of the tests, it was found that atmospheric plasma treatment in acrylic acid environment, contributes to the improvement of the characteristics of CFRP by ~ 25 % more efficiently than processing in allylamine for the types of fillers studied.

**Keywords:** carbon fiber, atmospheric plasma, tubular models, internal overpressure, strain gauges, deformations, modulus of elasticity.

В настоящее время углеродные композиционные материалы широко применяются в конструкциях космической техники. Тенденция к расширению потребления углеродного волокна при изготовлении деталей и конструкций требует изучения новых способов его получения. В работе применяли способ модифицирования углеродных волокон атмосферной плазменной обработкой в двух разных средах: акриловой кислоты и аллиламина и проводили исследования наполнителей на трубчатых моделях. В результате испытаний установлено, что атмосферная плазменная обработка в среде акриловой кислоты, способствует повышению характеристик углепластика на ~ 25 % эффективнее, чем обработка в аллиламине для исследуемых типов наполнителей.

**Ключевые слова:** углеродное волокно, атмосферная плазма, трубчатые модели, внутреннее избыточное давление, тензодатчики, деформации, модуль упругости.

**Введение.** Композиционные материалы на основе углеродных волокон в настоящее время широко применяются в конструкциях космической техники. Благодаря тому, что углеродное волокно представляет собой материал низкой плотности с очень высоким соотношением прочности к весу, оно является перспективным для использования в конструкциях РКТ [1–2].

Тенденция к расширению потребления углеродного волокна при изготовлении деталей и конструкций требует изучения новых способов его получения.

**Постановка задачи.** На Государственном предприятии «Конструкторское бюро «Южное» им. М.К. Янгеля (ГП «КБ «Южное») применяют способ модифицирования коммерческих волокон атмосферной плазменной обработкой в двух разных средах: акриловой кислоты и аллиламина. Данный способ обработки наполнителя (углеродного волокна) позволяет получать углепластики с повышенными свойствами (на ~15–25 % по сравнению с углепластиковыми на основе традиционных волокон). Представленные в

работе [3] результаты были получены на однонаправленных образцах, изготовленных методом «мокрой» намотки.

Целью данной работы является исследование свойств модифицированного атмосферной плазмой наполнителя при изготовлении трубчатых моделей.

**Объект исследований.** Объектом исследований служили тонкостенные оболочки трубчатой формы высотой 390 мм, диаметром 146 мм, толщиной стенки 2 мм и укладкой наполнителя тремя слоями геодезической намотки под углом 57°. Данные размеры были выбраны исходя из геометрии изготавливаемых на ГП «КБ «Южное» конструкций РКТ (корпусов РДТТ и баков жидкостных ракет) [4–5].

В качестве наполнителя применяли традиционные углеродные волокна типов: Т300 и Т800, а также эти же волокна, модифицированные атмосферной плазменной обработкой. Модифицированные волокна получали двухточечной обработкой плазмой традиционных волокон в среде акриловой кислоты и аллиламина.

**Методология исследований.** Наиболее информативным методом оценки характеристик материала трубчатых моделей является определение прочности при воздействии внутреннего избыточного давления.

Избыточное давление внутри модели создавали на высоконапорной водяной установке АСН СВД 500/23-22, которая предназначена для создания и поддержания давления в замкнутом объеме на протяжении длительного времени с возможностью управления регулировкой и заданием режимов нагружения с помощью персонального компьютера со специальным программным обеспечением.

Модели устанавливали вертикально на технологическую балку, закрепленную на универсальной плите. На оба торца объекта исследований устанавливали



Рис. 1. Подсоединение высоконапорной водяной установки к трубчатой модели

Тензодатчики предназначены для непрерывной (на протяжении всего времени испытаний с шагом в 0,5 секунды) фиксации деформационных изменений трубчатой модели в локальных точках

вставки (заглушки), укомплектованные штуцерами для подачи и замера давления, а также резиновыми кольцами для герметизации. Заглушки через пластины закрепляли к технологическим балкам таким образом, что обеспечивался свободный ход модели (около 10 мм с каждой стороны) при нагружении. На рис. 1 представлена схема подсоединения водяной установки к трубчатой модели, закрепленной в оснастке. Оснастка помещена за специальной защитной металлической конструкцией, так как нагружение проводили при высоких давлениях (до 12 МПа).

При сборке оснастки на трубчатую модель помещали тензодатчики приклеивкой специальной клеевой массой (рис. 2).



Рис. 2. Модель с тензодатчиками

установки датчиков. Тензодатчики, которые применяли для фиксации деформации, устанавливали по схеме, приведенной на рис. 3.

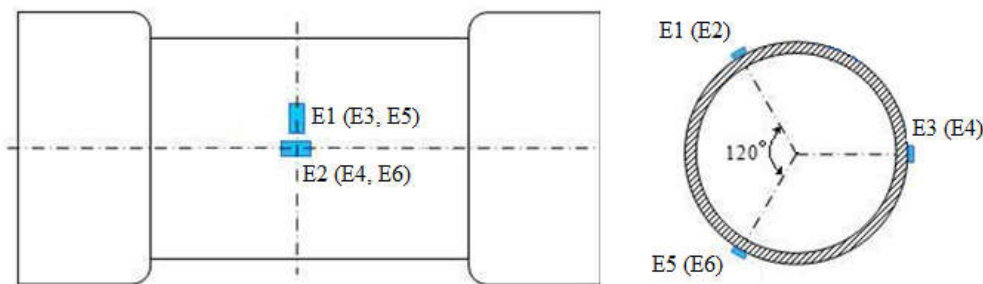


Рис. 3. Схема установки тензодатчиков на трубчатой модели

Разработанная схема позволяет фиксировать деформации в осевом и кольцевом направлениях на трех осях (через каждые 120°) оболочки.

Во время испытаний нагрузку прикладывали линейно. Подъем внутреннего избыточного давления



проводили от 1 атм до разрушения целостности трубчатых моделей.

**Результаты исследований.** На рис. 4 показано визуальное представление деформации оболочки под действием внутреннего давления: левая часть – вид до нагружения, правая – при давлении 100 атмосфер.



Рис. 4. Визуальное представление деформации макета под действием внутреннего давления

Во время нагружения моделей из традиционных и модифицированных атмосферной плазмой угленаполнителей в конструкциях было зафиксировано (визуально и по показаниям датчиков) сжатие в осевом направлении и растяжение в кольцевом.

С целью определения упругих характеристик трубчатых моделей из

углепластика в работе проведены замеры деформаций, результаты которых приведены на рис. 5. Представленные данные оценены на моделях из традиционного (1), обработанного плазмами в среде акриловой кислоты (2) и аллиламина (3) наполнителя Т300, а также традиционного наполнителя Т800 (4) и обработанного плазмами в среде акриловой кислоты (5) и аллиламина (6).

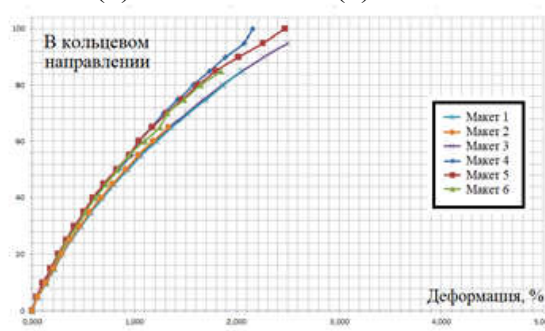
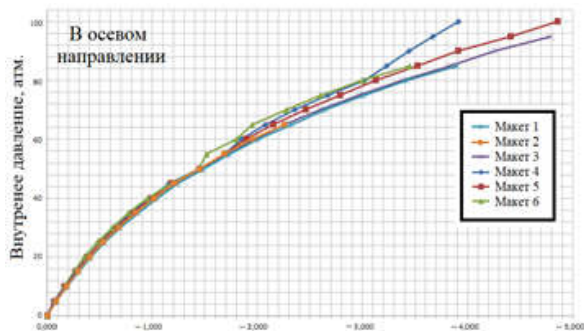


Рис. 5. Результаты замеров осевых и кольцевых деформаций

Используя представленные значения деформаций, был проведен расчет модуля упругости при изгибе конструкций в двух направлениях для каждой модели. В соответствии с [6], модуль упругости рассчитывали как отношение приращения напряжения, действующего на материал конструкции, к перемещению материала под действием напряжения:

$$E = \frac{\Delta\sigma}{\Delta l}$$

где  $E$  – модуль упругости при изгибе конструкции, МПа;

$\Delta\sigma$  – приращение напряжения, действующего на материал конструкции;

$\Delta l$  – перемещение материала под действием напряжения.

Результаты расчета приведены в табл. 1.

Значения модуля упругости при изгибе конструкций

Тип наполнителя	В осевом направлении		В кольцевом направлении	
	$E$ , ГПа	$\Delta$ , %	$E$ , ГПа	$\Delta$ , %
T300 традиционный	8,00	–	28,52	–
T300, модифицированный плазмой в среде акриловой кислоты	9,03	+12,76	30,99	+8,63
T300, модифицированный плазмой в среде аллиламина	8,84	+9,98	30,68	+7,55
T800 традиционный	10,18	–	31,89	–
T800, модифицированный плазмой в среде акриловой кислоты	10,96	+7,69	33,52	+5,11
T800, модифицированный плазмой в среде аллиламина	10,67	+4,82	33,19	+4,07

Примечания:  $\Delta$  – величина повышения, которая рассчитывалась как отношение значения модуля упругости модели с модифицированным волокном к значению модуля упругости модели из исходного материала.

**Выводы.** В работе опробована методология исследований материалов на основе традиционных и модифицированных атмосферной плазмой наполнителей на трубчатых моделях, имитирующих конструкции корпусов РДТТ и баков жидкостных ракет.

Путем фиксации деформаций трубчатых моделей при нагружении внутренним избыточным давлением проведен расчет упругих характеристик конструкции.

Установлено, что величины деформаций для материалов типа T800 ниже материалов типа T300, как следствие, их модуль упругости выше, что в этом случае справедливо для сравнения материалов между собой, поскольку теоретические модули упругости для однонаправленных исходных материалов соответственно 160 и 120 ГПа.

Величины деформаций оболочек из модифицированных материалов выше аналогичных из исходных материалов, как следствие модуль упругости модифицированных материалов выше модуля исходных. Это подтверждают табличные значения величины превышения  $\Delta$ .

Эффективность модифицирования материала типа T300 в среднем выше, чем материала типа T800 (средняя величина повышения прочности для T300 ~ 9,73 %, для T800 ~ 5,42 %), что дает возможность с помощью плазменной обработки улучшать свойства низкопрочных волокон.

Также установлено, что атмосферная плазменная обработка в среде акриловой кислоты способствует повышению

характеристик углепластика (средняя величина повышения в ~ 8,55 %), а это на ~ 2 % эффективнее атмосферной плазменной обработки в среде аллиламина (средняя величина повышения ~ 6,61 %) исследуемых типов наполнителей.

#### Библиографические ссылки

1. Коваленко В.А., Кондратьев А.В. Применение полимерных композиционных материалов в изделиях ракетно-космической техники как резерв повышения ее массовой и функциональной эффективности. *Авиационно-космическая техника и технология*. 2011. № 5 (82). С. 14–20.
2. Буланов И.М., Воробей В.В. Технология ракетных и аэрокосмических конструкций из композиционных материалов. Москва : Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 1998. 516 с.
3. Манько Т.А., Гусарова И.А., Роменская О.П., Самусенко А.А. Исследование механических свойств углепластиков с модифицированным наполнителем. *Научно-технический журнал «Технологические системы»*. 1(82)/2018. С. 21–26.
4. Ракеты и космические аппараты конструкторского бюро «Южное» / под ред. С.Н. Конюхова. Днепропетровск : ООО «КолорГраф», ООО РА «Тандем-У», 2001. 240 с.
5. Композиционные материалы в разработках ГП «КБ «Южное» / А.М. Потапов, Ю.Г. Артеменко, В.Г. Тихий [и др.]. *Композиционные материалы в промышленности*: сб. мат. XXX межд. конф. 7–11 июня 2010 г., Ялта – Киев :

УИЦ «Наука. Техника. Технология», 2010. С. 111–119.

6. ОСТ 92-1461-77 «Пластмассы теплозащитного и конструкционного

назначения. Метод определения упругих характеристик при растяжении и сжатии».

*Надійшла до редколегії 01.06.2018 р.*

УДК 629.7.023.224:621.454.3

## **РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ВНУТРЕННИХ ТЕПЛОЗАЩИТНЫХ ПОКРЫТИЙ ИЗДЕЛИЙ РАКЕТНО-КОСМИЧЕСКОЙ ТЕХНИКИ**

Т.А. Манько<sup>1</sup>, К.В. Козис<sup>2</sup>

<sup>1</sup> *Днепропетровский национальный университет имени Олеся Гончара, г. Днепр*

<sup>2</sup> *ГП «Конструкторское бюро «Южное» им. М.К. Янгеля, г. Днепр*

Наведено основні результати робіт, пов'язані зі створенням, дослідженням матеріалів та розробкою технології виготовлення та контролю якості внутрішнього теплозахисного покриття ракетного двигуна твердого палива з композиційних матеріалів в ДП «КБ «Південне».

**Ключові слова:** тверде паливо, двигун, композиційні матеріали.

The article presents the main results of works related to material creation and study, and development of manufacturing of inter heat-protection cover made of composite materials in Yuzhnoye SDO for solid propellant rocket engines.

**Keywords:** solid fuel, engine, composite materials.

В статье приведены основные результаты работы, связанные с исследованием материалов, разработкой технологии изготовления и контроля качества внутреннего теплозащитного покрытия ракетного двигателя твердого топлива из композиционных материалов в ГП «КБ «Южное» им. М.К. Янгеля.

**Ключевые слова:** твердое топливо, двигатель, композиционные материалы.

**Введение.** В настоящее время среди конструкций ракетно-космической техники наибольшую популярность имеют двигатели твердого топлива из полимерных композиционных материалов. Это связано с простотой эксплуатации, автономностью работы, возможностью длительного хранения и надежностью. Однако, несмотря на преимущества ракетного двигателя твердого топлива, при проектировании и изготовлении существует проблема создания внутренних теплозащитных покрытий (ВТЗП), обеспечивающих их работоспособность. Эта задача может быть решена путем отбора и исследования специальных современных материалов для каждого слоя теплозащитного покрытия, оценки их качества, разработки основ технологии производства и контроля их работоспособности [5].

### **Разработка и исследование внутреннего теплозащитного покрытия.**

Внутреннее теплозащитное покрытие современных ракетных двигателей твердого топлива представляет собой многослойную конструкцию (рис. 1), состоящую из крепящего, барьерного, герметизирующего и адгезионного слоев. Крепящий слой совместно с барьерным образуют защитно-крепящий слой.

Для создания многослойного внутреннего теплозащитного покрытия необходимо выбрать и исследовать материалы, с учетом требований, которые предъявляются к каждому слою.

К материалам крепящего слоя предъявляются требования по удельному весу, который не должен превышать 500 г/м<sup>2</sup>, и для соединения со следующим барьерным слоем они должны иметь объемную структуру плетения.