

УДК 620.22-419.8

Изучение эффективности использования интеллектуальных материалов в композиционных структурах.

Кустов М.А.

Создание новых технологий и новых методов диагностики композитов, позволяющих, характеризовать их физическое и напряженно-деформированное состояние становится жизненно необходимым в связи с тем, что уровень температурно-деформационных воздействий в изделиях РКТ сместился в сторону увеличения, как на этапах технологических переделов, так и в момент функционирования.

С разработкой оптоволоконных датчиков становится реальным решение актуальных проблем оценки уровня напряженно-деформированного состояния в критичных зонах многослойных стенок, характерных для пластиковых корпусов типа «коккон» с закладными элементами и теплозащитными днищами. Характерные для эластомеров усадочные явления могут сдерживаться однонаправленными нитями, обладающими памятью формы.

Результаты первичных исследований позволяют рассчитывать на эффективное использование интеллектуальных материалов на этапах экспериментальной отработки новых образцов ракетно - космической техники.

Ключевые слова: интеллектуальные материалы; нитиноловая проволока; оптоволоконные датчики; внедрение в структуру композита.

Создание новых технологий и новых методов диагностики композитов, позволяющих, характеризовать их физическое и напряженно-деформированное состояние становится жизненно необходимым в связи с тем, что уровень температурно-деформационных воздействий в изделиях РКТ сместился в сторону увеличения, как на этапах технологических переделов, так и в процессе функционирования.

С разработкой оптоволоконных датчиков становится реальным решение актуальных задач оценки уровня напряженно-деформированного состояния в критичных зонах многослойных стенок, характерных для пластиковых корпусов типа «коккон» с закладными элементами и теплозащитными днищами.

Одним из наиболее перспективных направлений развития интеллектуальных структур является использование оптоволоконных датчиков для регистрации напряженно-деформационного состояния материала. Совмещение волоконных датчиков со структурой ПКМ на этапе технологии изготовления, обеспечивает их изоляцию от внешних воздействующих факторов и оставляет возможность мониторинга состояния материалов и конструкций в целом на всех этапах жизненного цикла изделия (начиная с этапов производства, эксплуатации, непосредственно работы и утилизации).

Исследования в области “интеллектуальных” материалов активно проводятся во всех промышленно развитых странах. Ведущая роль в области исследований по этим материалам принадлежит США. Такими исследованиями занимается ряд правительственных организаций, промышленных фирм и высших учебных заведений. Отечественные

разработки в данной области ведутся разрозненно и малоактивно, в связи с чем, следует отметить отставание исследований прикладной науки в отечественной промышленности.

С 2008 года по настоящее время ОАО «Композит» совместно с ОАО НПО «Искра» проводит исследования «умных» материалов с попыткой их адаптации к реальным технологиям производства изделий из КМ.

Целью опытно-конструкторской работы является создание технологии изготовления модельного изделия структурно содержащего элементы с информационными функциями. В рамках НИОКР рассматривались следующие задачи:

- возможность обеспечения замеров уровня деформации изделия в процессе полимеризации связующего в композите;
- возможность выполнения замеров уровня деформации при проведении испытаний внутренним давлением;
- оценка размеростабильности изделия путем использования нитиноловой проволоки, представляющей собой сплав с памятью формы.

Работа проводилась в два этапа. Первый этап предусматривал внедрение в модельное изделие оптоволоконных датчиков, используемых для регистрации напряженно-деформационного состояния материала. Как было отмечено, волоконные датчики позволяют объединить их со структурой ПКМ; технологически волокно вводится в структуру композита при его изготовлении, с выведением концов волокна на поверхность. Оптоволоконные системы позволяют создать простую схему сети, охватывающей изделие, что практически невозможно реализовать другими методами. Единичное волокно может обеспечить контроль в десятках и даже сотнях точек вдоль своей длины, таким образом, устранив необходимость использования сложной электронной системы связи. Оптоволоконные датчики, внедренные в структуру композита, позволяют получать информацию о напряженно-деформационном состоянии на любом этапе изготовления изделия, что представляет практическую значимость при отработке принципиально новых элементов конструкций из КМ.

Вторым этапом данной работы являлось введение в структуру изделия сплава с эффектом памяти формы. Примененный сплав нитинола (Ni + Ti) обладает необычным свойством «помнить» о деформациях. Этот эффект состоит в каучукоподобном поведении, при котором в сплаве титана с никелем восстанавливаются большие деформации при постоянной температуре, а также - в полном восстановлении деформации в результате изменения температуры. Применение материалов с эффектом «памяти» формы в качестве структурно чувствительных элементов ПКМ предназначается для осуществления композитом «интеллектуальной» функции – исполнительной (изменение, стабилизация) для конструкции. В качестве материала, обладающего памятью формы, в работе была использована нитиноловая проволока, $d = 0,3$ мм.

В качестве опытного изделия был спроектирован и изготовлен корпус противораковой ракеты. (рисунок 1), который в дальнейшем был доработан для решения поставленных задач. На данном корпусе отработывалась технология внедрения оптического волокна во время намотки изделия. Так же, во избежание возможных обрывов, была разработана технология внедрения датчиков в структуру готового корпуса.



Рисунок 1. Схема опытного корпуса.

Оптические датчики были внедрены в краевую и в центральную зону корпуса как в продольном так и в поперечном направлении (рисунок 2).

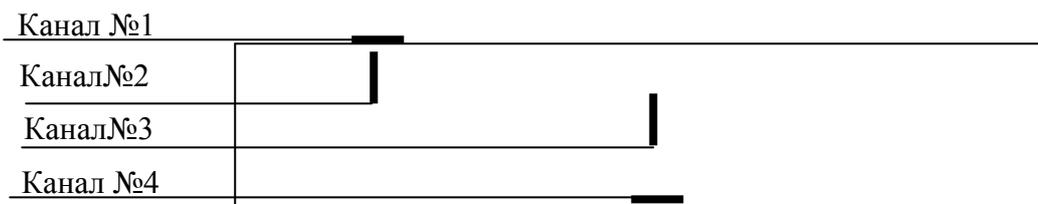


Рисунок 2. Схема расположения оптических датчиков

Для оценки уровня внутренних напряжений и деформаций с помощью оптоволокна, методом намотки изготовлено три корпуса из разных композиционных материалов: углепластика, органопластика и стеклопластика. После намотки корпуса подвергались режимам полимеризации, в ходе которых внедренные датчики, в реальном времени, фиксировали деформированное состояние материала и температуру слоев внутри композита, что является инновацией технологического контроля (рисунок 3).

Для сравнительной оценки уровней деформаций, при проведении испытаний, информация снималась дополнительно с помощью штатных датчиков (тензодатчиков), наклеенных на поверхность корпусов.

Изготовленные опытные корпуса испытывались по специально разработанной методике, с целью оценки уровня деформаций под воздействием внутреннего давления.



Рисунок 3. Корпус в печи для полимеризации с подключенным оборудованием для регистрации показаний оптического волокна.

Все корпуса нагружали корпусом давлением до 100 атм. Корпус из углепластика доводился до разрушения; разрушение корпуса произошло в краевой зоне при давлении 140 атм.

Для сравнения, наиболее подвержен деформациям органопластиковый корпус, при 100 атм уровень деформации внутри композита составил 0,35%.

Как и ожидалось, наименьшие деформации проявлялись в корпусе из углепластика (рисунок 4).

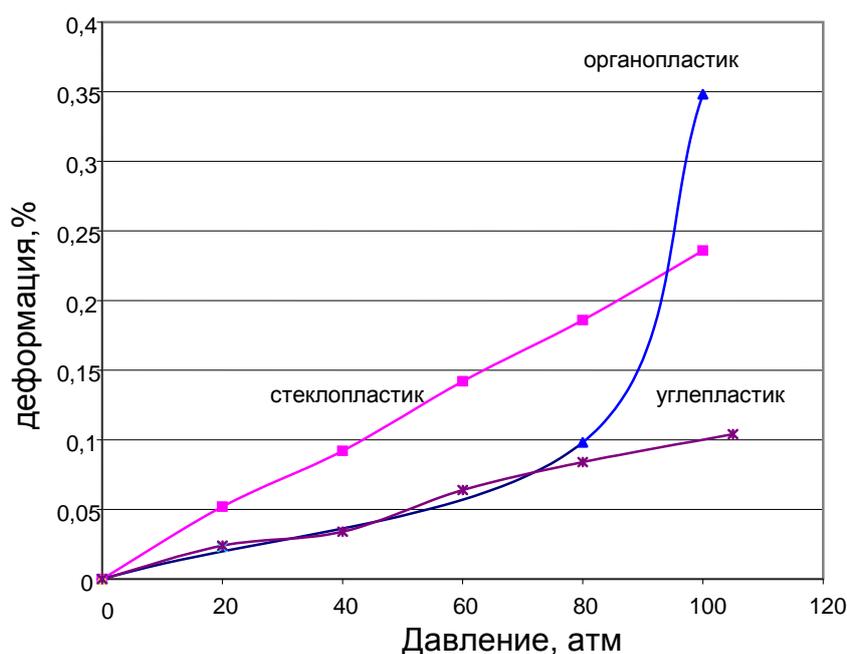


Рисунок 4. Показания оптических датчиков в центральной зоне, во время нагружения внутренним давлением (на корпусе из углепластика обрыв оптического кабеля произошел при $P \approx 105$ атм)

Сплав NiTi – нитинол, обладает большой величиной восстанавливаемой деформации и электрохимической коррозионной устойчивостью. Нитинол внедрялся в опытное изделие в виде проволоки $d = 0,3$ мм, с целью обеспечения размеростабильности изделия. Проволока

наматывалась на центральную зону стеклопластикового корпуса с шагом 1 мм, затем подматывалась 3 слоями стеклопластиковой ленты. Корпус подвергался гидроиспытаниям, по результатам которых установлено, что использование нитинола (масса нитинола - 0,1% от общей массы) позволило снизить уровень поперечных деформаций практически в 2 раза по сравнению с неармированным корпусом.

В результате проведенной работы, были достигнуты следующие результаты:

1. Показано, что волоконно-оптические датчики типа брегговской решетки (ВБР) и нитиноловая проволока могут быть эффективно внедрены в слои композиционного материала на стадии изготовления. Проведенные замеры уровня деформации и температуры в слоях различных композиционных материалов, в процессе полимеризации корпусов, с помощью оптических датчиков позволяют реально получать достоверную информацию о деформациях и температуре в слоях композиционного материала и на поверхности корпусов при их полимеризации.

2. Проведены сравнительные испытания с замером уровня деформаций в композитах, при помощи штатных измерительных приборов (тензодатчиков) и оптоволоконными датчиками. Анализ результатов испытаний выявил некоторое различие в уровнях деформаций при одинаковом характере протекания деформирования, наблюдаемых в слоях вариантов композитов и на поверхности корпусов (по показаниям тензодатчиков).

3. Оптические датчики сохраняются в структуре изделия после проведения испытаний корпусов давлением и обеспечивают свое назначение, что позволяет использовать их в дальнейшем для мониторинга всего жизненного цикла изделия.

4. Испытаны давлением корпуса с внедрённой нитиноловой проволокой и идентичный корпус без внедрения нитинола с помощью штатных измерительных приборов (тензодатчиков). Установлено, что введение нитиноловой проволоки, в силовую оболочку корпусов, по результатам программных измерительных испытаний подтверждает целесообразность ее использования в целях обеспечения размеростабильности изделий с отработкой, в дальнейшем, основной функции нитинола - «памяти формы».

5. Внедрение интеллектуальных материалов в практику отработки новейших образцов РКТ является перспективной и актуальной задачей.

Сведения об авторе

Кустов Михаил Алексеевич; инженер-исследователь ОАО НПО «Искра»;

тел.:(342)262-72-48, e-mail: mikhail-kustov@mail.ru; kma615@mail.ru