

УПРАВЛЕНИЕ СОСТОЯНИЕМ КОНСТРУКЦИЙ ИЗ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

В конструкции современных самолётов широко применяются композитные материалы (КМ). Их содержание в конструкции доведено до 50% от общего веса, что позволило уменьшить вес конструкции и обеспечить большую эффективность использования самолёта на воздушных линиях.

В авиационных конструкциях применяются КМ трёх видов: углеродное волокно, арамид и стекловолокно.

Эти композитные материалы используются в конструкциях трёх типов, что показано на рисунке 1:

1. Сэндвич-панель, созданная путём комбинирования обшивки и сотового заполнителя. Обшивка предназначена для защиты сотового заполнителя от попадания влаги и эрозии.

2. Монолитная конструкция используется для создания обшивки со стрингерами, нервюрами и балками. Эта конструкция имеет повышенную жёсткость и прочность.

3. Комбинированная конструкция выполняется частично из монолитной и частично из сэндвич-панелей.

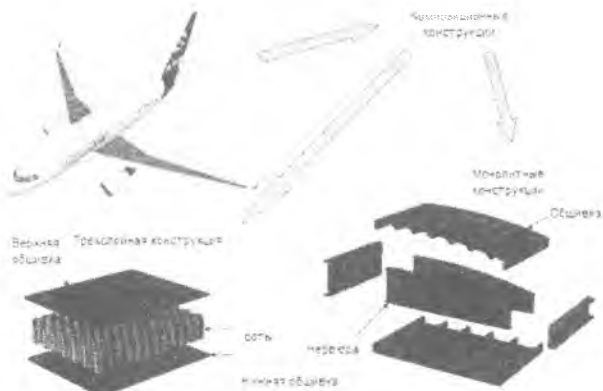


Рис. 1 Типы конструкций, выполненных из КМ

Рассмотрим отдельно каждый из типов КМ, применяемых в конструкции планера самолета.

1. АРАМИД. Более известный под торговым названием «Кевлар» — полипарафенилентерефталамид, синтетическое волокно высокой механической и термической прочности. Состоит из бензольных колец, соединённых друг с другом через группу $-NH-CO-$; между водородными и кислородными отростками молекул соседних цепей образуются прочные водородные связи, обеспечивающие высокую механическую прочность всего волокна.

Изначально арамидное волокно было создано для армирования автомобильных шин, где и сейчас с успехом применяется, но за счёт своих высоких характеристик нашло широкое применение в различных отраслях.

Внешний вид арамидной ткани показан на рисунке 2.

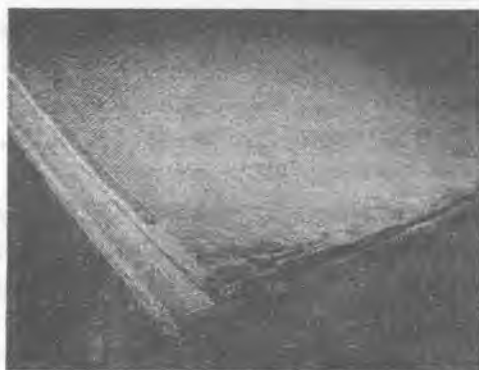


Рис. 2. Внешний вид арамидной ткани

Для арамидного волокна характерна высокая механическая прочность. В зависимости от марки, разрывная прочность волокна может колебаться от 280 до 550 кг/мм² (у стали, для сравнения, этот параметр находится в пределах 50-150 кг/мм², лишь самые высокопрочные сорта стали со специальной обработкой приближаются по прочности к наименее прочным сортам арамида). Такая высокая прочность сочетается с относительно малой плотностью — 1400-1500 кг/м³. Арамидное волокно отличается высокой термической стойкостью. Оно способно длительное время работать при температуре 250°C, на короткое время (несколько секунд) температура может повышаться до 400-500°C.

У арамидного волокна есть три основных недостатка: цена, «боязнь» воды и старение. При намокании в волокне нарушаются водородные связи, что снижает его механическую прочность почти в два раза. К счастью, при высыхании оно восстанавливает свои качества. Кроме того, со временем механическая прочность волокна теря-

ется безвозвратно. Как правило, производители дают пять лет гарантии на сохранение волокон своих свойств. К недостаткам арамидных волокон следует отнести и их плохую окрашиваемость.

Однако, применяя различные способы обработки, можно добиться практически полного устранения двух последних недостатков. Так, например, производители волокна Twaron утверждают, что добились надёжной защиты от воды и гарантируют не менее десяти лет стабильной эксплуатации. К недостаткам арамидных волокон следует отнести их плохую окрашиваемость.

2. УГЛЕВОЛОКНО. Углеродное волокно (УВ) – материал, состоящий из тонких нитей диаметром от 5 до 15 микрон, образованных преимущественно атомами углерода. Атомы углерода объединены в микроскопические кристаллы, выровненные параллельно друг другу. Выравнивание кристаллов придаёт волокну большую прочность на растяжение. Углеродные волокна характеризуются высокой силой натяжения, низким удельным весом, низким коэффициентом температурного расширения и химической инертностью.

УВ применяют для армирования композиционных, теплозащитных, химостойких в качестве наполнителей в различных видах углепластиков. Наиболее ёмкий рынок для УВ в настоящее время — производство первичных и вторичных структур в самолётах «Boeing» и «Airbus» (до 30 тонн на одно изделие). Для придания большей прочности композитов из УВ данные ткани кладут слоями, каждый раз меняя угол направления плетения. Слои скрепляются с помощью эпоксидных смол. Внешний вид ткани из УВ показан на рисунке 3.

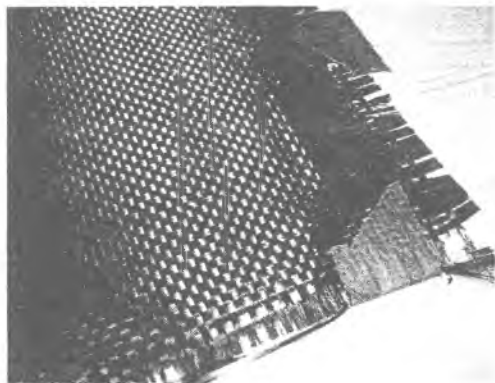


Рис. 3. Внешний вид ткани из углеродного волокна

УВ имеют исключительно высокую теплостойкость: при тепловом воздействии вплоть до 1600-2000°C в отсутствие кислорода механические показатели волокна не изменяются. Это предопределяет возможность применения УВ в качестве тепловых экранов и теплоизоляционного материала в высокотемпературной технике. На основе УВ изготавливают углеродные композиты, которые отличаются высокой абляционной стойкостью. УВ устойчивы к агрессивным химическим средам.

Композиты, выполняемые из углеродного волокна, отличаются высокой прочностью, жёсткостью и малым весом, часто прочнее стали, но гораздо легче (по удельным характеристикам превосходит высокопрочную сталь, например 25ХГСА).

Углеродные композиты окисляются при нагревании в присутствии кислорода. Нанесение на УВ тонкого слоя карбидов или нитрида бора позволяет в значительной мере устранить этот недостаток. Их предельная температура эксплуатации в воздушной среде составляет 300-350°C.

Основным недостатком является высокая стоимость производства композитов из углеродного волокна.

3. СТЕКЛОВОЛОКНО. Стекловолокно (стеклоткань) — волокно из тонких стеклянных нитей. В такой форме стекло демонстрирует необычные для стекла свойства: не бьётся и не ломается, а вместо этого легко гнётся без разрушения.

Конструкционные стеклоткани применяются для изготовления конструкционных стеклопластиков во многих отраслях промышленности (авиа-, судо-, автомобилестроения и других отраслях), где требуются высокопрочные облегчённые материалы. Внешний вид ткани из стекловолокна показан на рисунке 4.

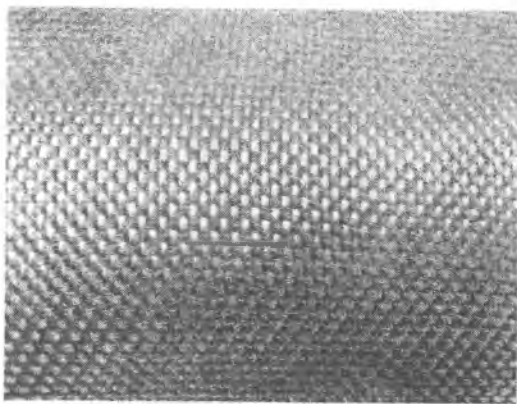


Рис. 4. Внешний вид ткани из стекловолокна

Основным преимуществом стеклотканей является жёсткость, высокие тепло-стойкость и химическая стойкость. Рабочий диапазон температур для конструкционных стеклотканей от -200 до +550°С.

К недостаткам следует отнести более низкую прочность по сравнению с другими композиционными материалами

Остановимся на возможных дефектах этих материалов в составе авиационных конструкций.

В процессе эксплуатации встречаются следующие виды дефектов (таблица 1):

- царапина;
- расслоение многослойной обшивки из КМ;
- отслоение обшивки;
- вмятины;
- пробоины обшивки;
- образование трещин;
- попадание влаги во внутренние полости сотовых конструкций (СК).

Таблица 1 -- Виды дефектов встречающиеся в процессе эксплуатации

Наименование дефекта	Место расположения дефекта (зона агрегата)	Причина возникновения дефекта	Характеристика дефекта
1. Царапина	По всему полю агрегата	Небрежные транспортировка, хранение, эксплуатация	
1.1. Неглубокая царапина на обшивке из КМ	По всему полю агрегата		Щелевое несквозное повреждение глубиной менее 25% толщины обшивки
1.2. Глубокая царапина в КМ	По всему полю агрегата	Небрежные транспортировка, хранение, эксплуатация	Щелевое несквозное повреждение глубиной более 25% толщины обшивки

2. Расслоение обшивок из КМ	По всему полю агрегата	Недостаточная пропитка слоев препрега при формировании пластика; загрязнение слоев препрега; проникновение влаги между слоями пластика; механические повреждения при эксплуатации; нагрузки, превышающие расчётные; накопление влаги из-за длительного хранения готовых обшивок при повышенной влажности.	Разрушение межслойных связей в обшивке
3. Отслоение	Обшивка – соты Каркас-соты Каркас – обшивка По всему агрегату	Негерметичность элементов конструкций, нарушение технологии хранения и производства, механические повреждения	Нарушение целостности клеевых соединений
4. Вмятина в обшивке, выполненной из КМ	По всему агрегату	Небрежное обслуживание в эксплуатации, столкновения с посторонними предметами	Разрушение обшивки и деформация сотозаполнителя
5. Пробойна	По всему агрегату	Механические повреждения от столкновений с посторонними предметами (камни из-под колёс); небрежное хранение или работа с инструментами	Сквозное отверстие в обшивке
6 Трещина	По всему полю агрегата	Неравномерные напряжения; механические повреждения; высокие акустические и аэродинамические нагрузки, превышающие расчётные	Щелевое сквозное нарушение целостности обшивки
7 Попадание влаги	Внутренний объём агрегата	Образование отслоения обшивки, нарушение герметичности клеевого шва	Наличие воды в ячейках сотового заполнителя

Для обнаружения перечисленных дефектов в процессе технической эксплуатации применяют следующие методы неразрушающего контроля:

- визуально-оптический метод;
- метод красок;
- импедансный метод;
- ультразвуковой метод;

- акустико - эмиссионный метод,
- ударно-акустический метод,
- тепловой метод,
- рентгеновский метод.

Так как наибольшее распространение получили сотовые конструкции, то и наибольшее число дефектов связано с ними: отслоение обшивки от сот (образование хлопнунов), попадание влаги во внутреннюю полость сотовых конструкций, разрушение сот. Соответственно большая часть объема работ при диагностике авиационных конструкций из КМ выполняется для определения технического состояния сотовых конструкций. Дефекты сотовых конструкций (СК) и способы их обнаружения вынесены в таблицу 2.

Таблица 2 – Дефекты СК и способы обнаружения их

Метод \ Дефект	Непроклей	Разрушение сот	Наличие воды
Импедансный	Да	Да	Да
Ультразвуковой	Да	Да	неэффективно
Тепловой	Да	Да	Да
Ударно-акустический	Да	Да	Нет
Рентгеновский	Да	Да	Да

С середины 80-х годов на регулярных пассажирских линиях начали эксплуатироваться воздушные суда (ВС), в конструкции которых нашли широкое применение (около 30% по площади крыла и фюзеляжа) СК. В настоящее время внедряются в серийное производство широкофюзеляжные самолёты, в которых до 50% конструктивных элементов выполнено из КМ.

Однако анализ статистики отказов и неисправностей зарубежных и отечественных типов ВС показал, что с увеличением наработки наблюдается рост количества дефектов СК. Следует отметить, что до 80% отказов и неисправностей возникают из-за разрушения клевого соединения элементов сотовых конструкций и нарушения герметичности последних. Это может быть как следствием производственных дефектов, так и разрушением СК под действием эксплуатационных нагрузок.

Несмотря на наличие большого числа современных методов и средств, способных выявить основные дефекты сотовых конструкций, на эксплуатирующих предприятиях сотовые конструкции контролируются преимущественно при помощи метода сво-

бодных колебаний (простукивание изделия с регистрацией изменений характера звука на слух). Это связано с тем, что новейшие средства неразрушающего контроля требуют как значительных финансовых затрат, связанных с их приобретением, так и значительно увеличивают трудоёмкость выполняемых работ. В связи с этим современные средства используются лишь для уточнения размеров дефектов при ремонте. В результате из-за несовершенства методов и методик контроля технического состояния СК происходит увеличение простоев ВС на техническом обслуживании, что значительно снижает эффективность их использования. Поэтому оперативная оценка состояния сотовых конструкций является актуальной задачей.

Наиболее перспективным для этих целей является ударно-акустический метод (называемый также «методом свободных колебаний»). Суть метода заключается в том, что по поверхности контролируемого изделия наносятся механические удары и с того же участка поверхности снимается сигнал, определяемый упругими колебаниями, возбуждаемыми в контролируемом изделии этим ударом. После регистрации сигнала производится его анализ для определения собственных частот колебания и параметра демпфирования, по значениям которых определяется техническое состояние агрегата.

Поэтому одним из актуальных направлений оценки состояния является разработка методов и средств обнаружения неисправностей, на базе которых возможна реализация упреждающих технологий технического обслуживания авиационных конструкций из КМ.

Библиографический список

1. Бугаков И.С. Определение внутренних дефектов многослойных композиционных конструкций путем послойной визуализации их структуры компьютерным томографом [Текст]/И.С.Бугаков, В.И. Митряйкин, В.А. Шувалов//Вестник КАУ.-Казань,КАУ.-2007.-Вып.9 - С.76-77.
2. Воробьев, В.Г. Диагностирование и прогнозирование технического состояния авиационного оборудования [Текст]: Учеб. пособие для вузов гражд. авиации / Под ред. И.М. Синдеева. / В.Г. Воробьев, В.В. Глухов, Ю.В. Козлов и др. – М.: Транспорт, 1984. — 191с.
3. ГОСТ ИСО 7626-5-99. Вибрация и удар. Экспериментальное определение механической подвижности. Часть 5. Измерения, использующие ударное возбуждение возбудителем, не прикрепляемым к конструкции [Текст] – Введ. 2001-01-01.- М.: Издательство стандартов, 2001.- 16с.
4. Ендогур, В.В. Сотовые конструкции. Выбор параметров и проектирование[Текст]/

- А. И. Ендогур, М.В. Вайнберг, К.М. Иерусалимский. – М.: Машиностроение. - 1986. - 200с.
5. Ключев, В.В. Приборы для неразрушающего контроля материалов и изделий. Справочник. [Текст]. в 2-х книгах. Кн.2. / В.В. Ключев. – М.: Машиностроение, 1986. – 352с.
 6. Крысин В.Н. Слоистые клееные конструкции в самолётостроении [Текст]/ В.Н. Крысин.-М.:Машиностроение.-1980.-218с.
 7. Тиц, С.Н. Формирование требований к современному методу неразрушающего контроля используемого при дефектации сотовых конструкций планера АН-124 «Руслан» [Текст]/С.Н. Тиц//Вестник СФ МГУП. – М., 2004.- Вып. 4. – С.79-84.
 8. Тиц, С.Н. Обзор современных аппаратных средств неразрушающего контроля используемых при дефектации сотовых конструкций [Текст]/С.Н. Тиц// Вестник СФ МГУП. – М., 2005.- Вып.6 . – С.48-61.
 9. Tong P., Mei C. C. Mechanics of composites of multiple scales // Comput. Mech.- 1992.- № 9.- P. 135-210.
 10. Yam L. H., Yan Y. J., Cheng L., Jiang J.S. Identification of complex crack damage for honeycomb sandwich plate using wavelet analysis and neural networks//Smart Mater. Struct. – 2003. - №12. – P. 661-671.
 - 11 Renji K., Nair P. S., Narayanan S. Modal density of composite honeycomb sandwich panels // J Sound Vib - 1996.- № 195 - P. 687-699.