

## ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ И ИЗГОТОВЛЕНИИ СПЕЦИАЛЬНОЙ ПОГРУЗОЧНОЙ ОСНАСТКИ ДЛЯ ГРУЗОВЫХ РАМПОВЫХ САМОЛЕТОВ

© 2012 А.С. Константинов

ООО «Авиакомпания Волга-Днепр», г. Ульяновск

Поступила в редакцию 10.10.2012

Данная статья посвящена рассмотрению эффективности применения перспективных полимерных материалов для наземного специального погрузочного оборудования для рамповых самолетов. Рассматриваются основные преимущества полимерных композиционных материалов по сравнению с обычными конструкционными материалами. Поиск путей увеличения прочности без увеличения массы или снижения массы без уменьшения прочности при проектировании силовой схемы конструкции. Ключевые слова: Полимерные композиционные материалы, специальное погрузочное оборудование, погрузочная оснастка.

В настоящее время обращает на себя внимание смещение акцента на мировом рынке в применении конструкционных материалов от металлических к неметаллическим. Анализ зарубежных источников, а также общие тенденции развития материаловедения показывают, что сейчас интенсивно ведутся разработки и исследования в области композиционных материалов, армирующих компонентов, связующих для них и технологий их переработки в высокотехнологичную наукоемкую продукцию с большой долей инновационной составляющей. Такие разработки в области ПКМ проводят фирмы США, Японии, ЕС, Китая, Индии, Юго-Восточной Азии, Южная Америка, ориентирующиеся на переход от исследовательских работ к их коммерческому использованию.

Области применения композиционных материалов не ограничены. Они применяются в авиации для высоконагруженных деталей самолетов (обшивки, лонжеронов, нервюр, панелей и т. д.) и двигателей (лопаток компрессора и турбины и т. д.), в космической технике для узлов силовых конструкций аппаратов, для элементов жесткости, панелей. В автомобилестроении для облегчения кузовов, панелей кузовов, и т. д., в гражданском строительстве (пролеты мостов, элементы сборных конструкций высотных сооружений и т. д.) и в других областях.

Благодаря существенным преимуществам по удельной прочности и жесткости, исключительному сочетанию конструкционных, теплофизических, специальных свойств, ПКМ в большом объеме применяются в конструкциях ЛА (рис. 1 и рис. 2).

Если в конструкции планера и в интерьере самолета Ту-204 объем применения ПКМ соста-

вил 14% от массы, то в перспективных пассажирских аэробусах (типа А3XX) он достигнет 25%

Применение ПКМ на основе углеволокна – одно из эффективных средств снижения массы конструкции. Совершенствование прочностных, деформационных, теплофизических характеристик углепластиков и повышение их теплостойкости даст возможность использовать их не только в слабо- и средне-нагруженных конструкциях (рис. 3) пассажирских самолетов (интерьер, средства механизации крыльев, зализы и т.п.), но и, в перспективе, по аналогии с военными самолетами, в высоконагруженных деталях типа крыльев, вертикальных рулей и др.

По сравнению с обычными конструкционными материалами (алюминием, сталью и др.) полимерные композиционные материалы (ПКМ) на основе УВ обладают экстремально высокими характеристиками (табл. 1) – прочностью, сопротивлением усталости, модулем упругости, химической и коррозионной стойкостью, в разы превышающими аналогичные показатели стали при существенно меньшей массе.

По сочетанию прочности и модуля упругости армированные ПКМ с однонаправленной ориентацией волокон существенно превосходят все современные металлические конструкционные материалы. Эти преимущества оказываются тем более значительными, если принять во внимание низкую плотность ПКМ ( $1,5...2,0 \text{ гр/см}^3$ ).

Преимущества композиционных материалов:

- Высокая удельная прочность
- Высокая удельная жесткость (модуль упругости 130...200 ГПа)
- Высокая износостойкость
- Высокая усталостная прочность
- из ПКМ возможно изготовить размеростабильные конструкции.

*Константинов Александр Сергеевич, ведущий инженер по организации перевозок и логистике, аспирант УлГУ.  
E-mail: a.konstantinov@volga-dnepr.com*

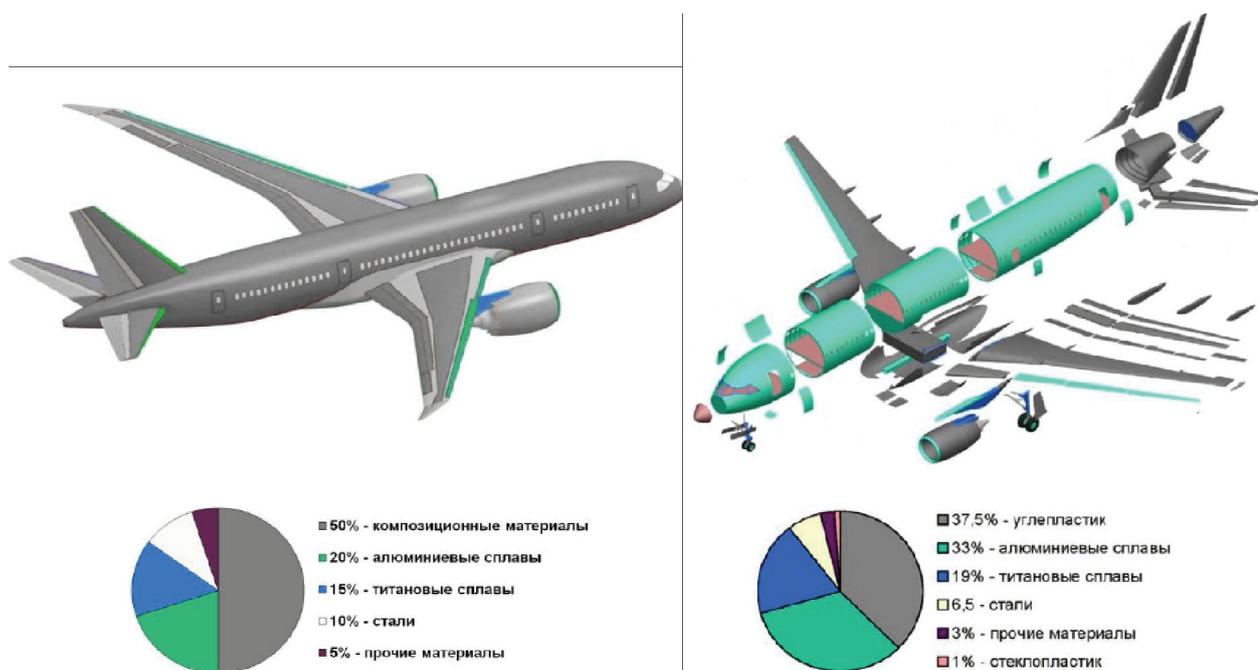


Рис.1. Применение композиционных материалов в авиационной конструкции



Рис. 2. Изготовление секции фюзеляжа из ПКМ

Применение композиционных материалов повышает жесткость конструкции при одновременном снижении ее металлоемкости. Прочность композиционных (волоконных) материалов определяется свойствами волокон; матрица в основном должна перераспределять напряжения между армирующими элементами. Поэтому прочность и модуль упругости волокон должны быть значительно больше, чем прочность и модуль упругости матрицы. Жесткие армирующие волокна воспринимают напряжения, возникающие в композиции при нагружении, придают ей прочность и жесткость в направлении ориентации волокон (табл. 2).

Для упрочнения алюминия, магния и их сплавов применяют борные ( $\sigma_B = 2500-3500$  МПа,  $E = 38-420$  ГПа) и углеродные ( $\sigma_B = 1400-$

$3500$  МПа,  $E = 160-450$  ГПа) волокна, а также волокна из тугоплавких соединений (карбидов, нитридов, боридов и оксидов), имеющих высокую прочность и модуль упругости. Так, волокна карбида кремния диаметром  $100$  мкм имеют  $\sigma_B = 2500-3500$  МПа,  $E = 450$  ГПа. Нередко используют в качестве волокон проволоку из высокопрочных сталей.

Основная причина столь бурного развития полимерных композиционных материалов – это то, что традиционные “чистые” полимеры в значительной степени исчерпали свои возможности, а научно-технический прогресс требует материалы с новыми свойствами.

Существует ряд преимуществ ПКМ над традиционными видами материалов (металлов, керамики, дерева и т.п.):

Таблица 1. Сравнение ПКМ с другими материалами

Тип материала	Прочность, МПа	Модуль упругости, ГПа	Плотность, гр./куб. см
Композит на основе углеродного среднепрочного волокна УВ СПУ (S – Strength)	1900	135	1,6
Композит на основе углеродного высокопрочного волокна УВ ВПУ (HS – High Strength)	3000	154	1,6
Композит на основе углеродного высоко модульного волокна УВ ВМУ (HM – High Modulus)	2400	> 230	1,6
Композит на основе стекловолокна S класса СВ - S	870	40	1,8
Алюминиевый сплав (2024-T4)	450	73	2,7
Титан	950	110	4,5
Малоуглеродистая сталь (55 сорт)	450	205	7,8
Нержавеющая сталь (А5-80)	800	196	7,8
Быстрорежущая сталь (17/4 H900)	1241	197	7,8

Таблица 2. Механические свойства композиционных материалов на металлической основе

Материал	$\sigma_B$	$\sigma_{-1}$	$E$ , ГПа	$\sigma_B/\gamma$	$E/\gamma$
	МПа				
Бор-алюминий (ВКА-1А)	1300	600	220	500	84,6
Бор-магний (ВКМ-1)	1300	500	220	590	100
Алюминий-углерод (ВКУ -1)	900	300	220	450	100
Алюминий-сталь (КАС-1А)	1700	350	110	370	24,40
Никель-вольфрам (ВКН-1)	700	150	-	-	-

1) уникальное сочетание свойств, нехарактерное для других материалов (прочностных, деформационных, ударных, упругостных, температурных, реологических, адгезионных, электрических, фрикционных, теплопроводных и других);

2) возможность управления свойствами ПКМ путем простого изменения состава и условий получения;

3) сохранение основных достоинств полимеров:  
- сравнительная легкость переработки;  
- низкая плотность.

Главное из преимуществ ПКМ по сравнению с традиционными материалами – это уникальное сочетание свойств. Как правило, композиционные материалы не являются “чемпионами” по отдельно взятому свойству. Но по сочетанию определенных свойств им нет равных.

Особенностью изготовления изделий из армированных полимерных материалов является во многих случаях образование материала в процессе изготовления изделия.

Применяются следующие основные методы: прессование, послойная выкладка на макете, пултрузия, прокатка, напыление, формование в стягиваемой форме и термокомпрессионное формование, намотка и обмотка тел вращения, пропитка армирующего наполнителя в разъемной форме, вакуумный и вакуумно-автоклавный методы, пресс-камерный метод и др.

Для соединения деталей из волокнистых полимерных материалов применяются процессы сварки, склеивания, механической сборки.

Для заключительной обработки изделий из волокнистых полимерных материалов применяются: термическая стабилизация (релаксация), радиационная и лазерная обработка, механическая обработка и другие методы.

Необходимость развития и внедрения инновационных технологий создания конструкций из ПКМ вызвана пониманием того, что применение ПКМ в конструкции гражданских самолетов обеспечивает:

- снижение веса планера самолета (до 15%);
- повышение топливной эффективности;
- повышение ресурса;
- уменьшение эксплуатационных расходов и

расходы на ТО из-за большей стойкости к коррозии и преимуществ по усталостной устойчивости (одна проверка каждые 600 л.ч. по сравнению с 300 л.ч. для металла), что в пересчете на пассажиромиллю приводит к сокращению затрат до 10% и ожидаемой экономии затрат на техобслуживание самолета до 30%;

- меньшее количество деталей в конструкции, и, соответственно, снижение трудоемкости и стоимости сборки (киль самолета А340 состоит из 300 металлических деталей и 5-6 тыс. заклепок. Композитный киль состоит менее, чем из 100 деталей).

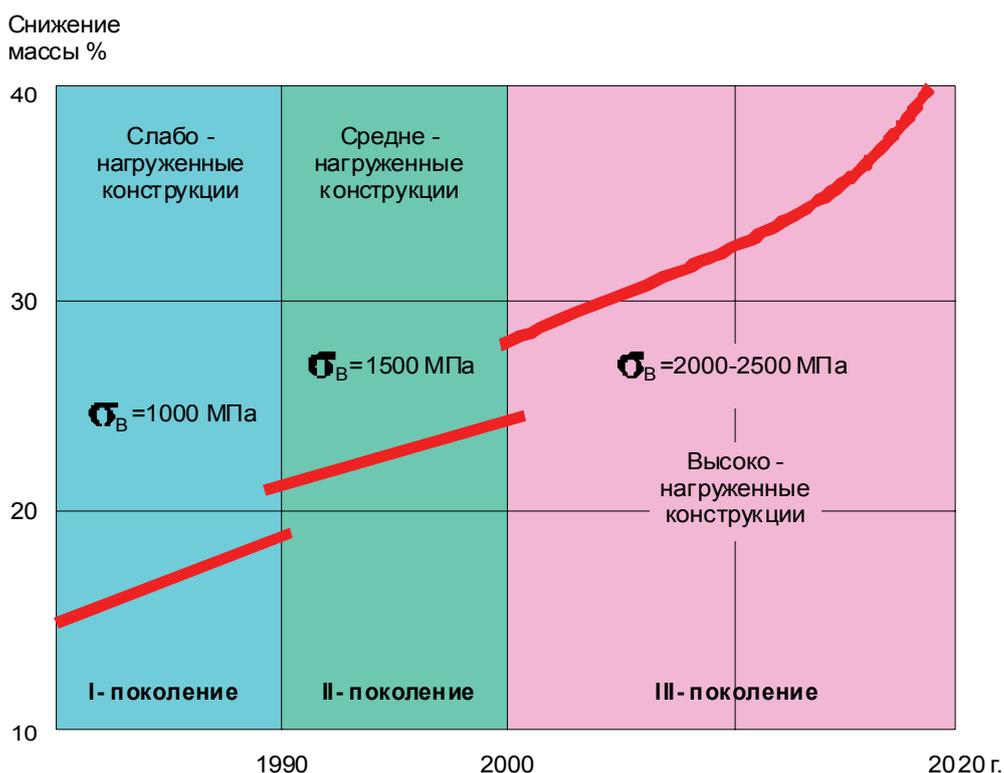


Рис. 3. Эффективность применения ПКМ в конструкции планера

Тем не менее, несмотря на все особенности и преимущества ПКМ по сравнению с другими привычными материалами композиты имеют недостатки:

- высокая стоимость;
- повышенная наукоёмкость производства, необходимость развитого промышленного производства и научной базы страны.

Общественно значимой необходимостью развития и внедрения инновационных технологий является:

- создание на территории Российской Федерации инновационного производства конструкций, узлов и агрегатов для авиационной промышленности с применением современных композиционных материалов;
- создание центра компетенции, разработки и изготовлению агрегатов из композиционных материалов в области гражданского авиастроения.

Принято, что основой конструкции самолетов нового поколения являются крупногабаритные силовые конструкции высокой степени интегральности, обеспечивающие:

- повышение несущей способности благодаря улучшенным механическим свойствам применяемого материала и обеспечению соответствия упругих характеристик конструкции характеру внешних нагрузок при выборе рациональной схемы армирования;
- снижение массы конструкции благодаря сокращению количества механических соедине-

ний и близкого к оптимальному распределению материала в зависимости от действующих на агрегат нагрузок;

- снижение трудоемкости сборочных работ вследствие уменьшения числа деталей и сокращения количества подгоночных операций из-за повышения качества и точности механической обработки составных частей.

Аналитический метод исследования состоит в том, что он дает ясное представление о взаимосвязи параметров конструкции с ее несущей способностью, возможностью параметрического анализа и формулировки новых закономерностей. Кроме того, современными универсальными пакетами нетрудно рассчитать любую конструкцию, но перед проектантом стоит другая задача: как быстро и грамотно определить параметры конструкции минимальной массы, принять рациональные конструкторские решения?

Учитывая, что перевозка уникальных сверхтяжелых крупногабаритных моногрузов представляет сложную инженерную задачу, т.к. геометрические параметры грузов максимально приближены к габаритам грузовой кабины ВС. Существующая система погрузки (выгрузки), транспортировки уникальных негабаритных грузов тяжелыми рамповыми самолетами осуществляется с помощью специального погрузочного оборудования, применяемого в основном для конкретного типа воздушного судна (ВС) среднего класса или больших рамповых "грузовиков".

Начиная расчет и делая окончательный вывод о возможности перевозки конкретного груза, а также о прочности и жесткости проектируемого оборудования, необходимо представлять порядок величин конечного результата, получая их упрощенными, но абсолютно понятными методами, а иногда на уровне “здорового смысла”. Особенно это касается расчетов, проводимых при компьютерном моделировании. Самая совершенная техника не избавляет проектанта от необходимости думать и считать “на пальцах”, тем более решая не всегда корректные задачи.

Проектирование силовой конструкции погрузочной оснастки представляет собой сложный многоступенчатый процесс, своеобразие которого определяется в основном двумя требованиями к конструкции: прочность или механическая надежность, минимальная масса. Эти два требования – взаимопротиворечащие, так как, очевидно, проще всего обеспечить механическую надежность, увеличив массу, и соответственно, снизить массу конструкции, уменьшив запасы прочности. Поиск путей увеличения прочности без увеличения массы или снижения массы без уменьшения прочности и составляют творческое содержание процесса проектирования силовой схемы конструкции.

Для погрузки (выгрузки) и транспортировки широкой номенклатуры грузов рамповые самолеты оснащены грузовыми люками рамповой конструкции. А также верхним и нижним погрузочным оборудованием, включающим бортовые погрузочные комплексы, грузовые погрузочные лебедки и необходимое подъемное и швартовочное оборудование.

Однако для погрузки самоходных тяжелых и уникальных моногрузов собственного погрузочного оборудования самолетов недостаточно.

Для транспортировки таких грузов в авиакомпаниях, например в АК “Волга-Днепр”, разработано специальное погрузочное оборудование, укрупнено включающее в себя:

- погрузочные эстакады;
- грузоносители;
- ходовые части (роликовые или скейт-балки);
- грузовые платформы;
- специальные подставки и распределители;
- оборудование для двухъярусной перевозки автомобилей

Разработанное оборудование в ряде случаев не имеет аналогов в своем классе и защищено патентами на изобретение Российской Федерации.

Платформы предназначены для перевозки моногрузов большой массы и сравнительно небольших размеров. Недостатками имеющих платформ являются большой собственный вес и большая высота конструкции.

Погрузочные эстакады являются продолжением плоскости грузового люка, и служат для погрузки (выгрузки) моногрузов и колесной техники с земли, с трейлеров или при установке грузов с помощью кранов. Прочность эстакад достаточна для восприятия погонной нагрузки 9600 кг/м или нагрузки от колесной техники до 18 тонн на ось.

К недостаткам указанного оборудования относятся их значительный вес, большая избыточность располагаемой несущей способности, дискретность передачи нагрузок.

Имеющийся опыт эксплуатации наземного погрузочного оборудования при коммерческих перевозках грузов грузовыми рамповыми самолетами позволяет наметить перспективные пути совершенствования наземного оборудования и технологии погрузочно-разгрузочных работ:

1. Создание оборудования малых объемов в транспортном положении и малой массой, например, эстакад из ПКМ с грузоносителем в качестве верхнего пояса;

2. Разработка принципиально новых схем погрузки, например, без использования рампы и трапов грузолюка при их недостаточной прочности с помощью специальных погрузочных балок;

3. Широкое применение для наземного погрузочного оборудования перспективных полимерных материалов.

На основе проведенного рассмотрения резюмированы особенности полимерных композитов по сравнению с другими материалами, которые можно суммировать в виде следующих основных положений:

1. Сочетание различных видов наполнителей и матриц (связующих) позволяет регулировать свойства ПКМ в широком диапазоне, выбирая оптимальные показатели.

2. Изделия из ПКМ маломатериалоемки, технологичны в получении, переработке и обработке по сравнению со многими традиционными материалами.

3. Изделия из композитов имеют высокую эксплуатационную надежность, практически не подвержены коррозии и не требуют специальной защиты или периодической покраски их поверхности.

По удельным массовым характеристикам ПКМ могут во много раз превосходить изделия из традиционных материалов (металлов и др.). Поэтому массовые характеристики изделий из композитов могут быть существенно снижены, что особенно важно для применения их в транспортных средствах, летательных аппаратах, а в частности в средствах погрузки и специальной погрузочной оснастке.

Рынок перевозок уникальных нестандартных грузов, который требует применения специального погрузочного оборудования, будет принадлежать авиакомпаниям, имеющим технически более совершенное и универсальное погрузочное оборудование. Поэтому изготовление нового оборудования, в том числе из перспективных ПКМ, имеющего меньший вес, является жизненно важным вопросом для авиакомпаний, позволяющим повысить свой имидж и укрепить позиции на новом сегменте перевозок грузов воздушным транспортом.

*Степень полезности изложенного зависит от степени подготовленности читателя – для опытного специалиста это в чем-то забавная беллетристика и объект для критики, для начинающего работать в этой области – прежде всего полезный материал и ответ на вопрос, с чего начинать и к чему стремиться...*

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Пережелкин К.Е.* Полимерные волокнистые композиты, их основные виды, принципы получения и свойства // Химические волокна. 2005. № 4. С. 7 - 22.; № 5. С. 55-69; 2006.
2. Композиционные материалы: Справочник/*В.В.Васильев, В.Д.Протасов, В.В.Болотин и др.*; Под общ. ред. В.В.Васильева, Ю.М.Тарнопольского. М.: Машиностроение, 1990, 512 с.
3. *Васильев В.В.* Механика конструкций из композиционных материалов. М.: Машиностроение, 1988. 272 с.
4. *Лизин В.Т., В.А. Пяткин В.А.* Проектирование тонкостенных конструкций. М.: Машиностроение, 2003.
5. *Окопный Ю.А., Радин В.П., Чирков В.П.* Механика материалов и конструкций. 2002.
6. Технологичность авиационных конструкций, пути повышения. Часть 1: Учебное пособие / *И.М.Колганов, П.В.Дубровский, А.Н.Архипов.* Ульяновск: УлГТУ, 2003. 48 с.
7. *Климакова Л.А., Комиссар О.Н.* Перспективные конструкции авиационного назначения из полимерных композиционных материалов // Авиационная промышленность. 2001.
8. *Renaud C.* USA Composite Bridge Decks Program/Conference FRP Composites in Bridge Design and Civil Engineering. Porto, Portugal, 12–14 November, 2003.

## POLYMER COMPOSITES EFFECTIVENESS IN DESIGN AND PRODUCING OF SPECIAL LOADING EQUIPMENT FOR RAMP AIRCRAFTS

© 2012 A.S. Konstantinov

Volga-Dnepr Airlines LLC, Ulyanovsk

This paper deals with the effectiveness to use of advanced polymer composites for special loading equipment of ramp aircrafts. The basic advantages of polymer composites as compared to conventional construction materials. Finding ways to increase strength without adding weight or reducing weight without reducing strength in designing the circuit design of construction.

Keywords: polymer composite materials, ground handling equipment, special loading equipment.