

Департамент образования и науки Костромской области
ОГКОУ ДОД «Костромской областной центр детского (юношеского)
технического творчества»

Всероссийский конкурс
«Юные техники и изобретатели»

Номинация: «УЮТНЫЙ МИР»

**Тема: «Использование композиционных
материалов в авиации.
Новые производственные процессы.»**

Сергеев Арсений

ОГКОУ ДОД «Костромской областной центр детского (юношеского)
технического творчества», Костромского района
объединение «Авиационное моделирование», 5 год обучения

Научный руководитель:

Виктор Борисович Смирнов,
начальник отдела ОГКОУ ДОД «Костромского
областного центра детского (юношеского)
технического творчества», председатель федерации
авиамоделного спорта Костромской области

г. Кострома

2015 г.

Оглавление

Аннотация.....	с. 3
Введение.....	с. 4
1. Основное содержание.....	с.5-22
1.1. Что такое композиционные материалы	с. 5
1.2. Применение композиционных материалов на примере изготовления планера F1A.....	с. 10
Заключение.....	с. 22
Список литературы, программное обеспечение.....	с. 23
Приложения.....	с. 24

Аннотация

Темой данной работы является проектирование и изготовление авиационной модели планера, а также технология изготовления деталей из композиционных материалов (углепластика). В работе рассматриваются особенности применения композиционных материалов на примере изготовления планера F1-A, так как за счет применения высокопрочных композитных материалов (угле и органопластиков), вместо деревянных и металлических конструкций, повышаются летные и эксплуатационные характеристики летательных аппаратов.

Задача: на примере изготовления планера класса F1-A рассматриваются свойства композиционных материалов, проектирование конструкции из композиционных материалов, технология изготовления деталей и узлов, применяемые материалы. Тема данной работы актуальна для понимания развития современной техники, так как за счет применения высокопрочных композиционных материалов (угле и органопластиков) вместо металлических конструкций, повысилась дальность, высота и скорость летательных аппаратов.

Цель: Проектирование и изготовление модели планера, позволяющего показать высокие спортивные результаты на соревнованиях.

Использование композиционных материалов в авиамоделизме позволяет отработать технологию изготовления деталей без больших материальных и трудовых затрат. Это было продемонстрировано авиамоделистами, работающими на заводе АВИАСТАРе в городе Ульяновске при внедрении в производство изготовления деталей из композитов.

За счет применения высокопрочных композитных материалов (угле и органопластиков) вместо металлических конструкций, повысилась дальность, высота и скорость летательных аппаратов. На примере использования композитов при изготовлении модели планера F1A показано, как можно улучшить летные характеристики, а, следовательно, и результаты выступления на соревнованиях (третье место автора на первенстве России).

Используя композиты для обшивки летательного аппарата можно изменять радиолокационные характеристики самолета, что очень важно при изготовлении военной техники. Будущее за композитами!

Введение

«Человек не имеет крыльев и по отношению веса своего тела к весу мускулов он в 72 раза слабее птицы. Но я думаю, что он полетит, опираясь не на силу своих мускулов, а на силу своего разума»

Николай Егорович Жуковский

История самолетостроения начинается с деревянных конструкций, обтянутых тканью и покрытых защитной краской.

Стремление человечества улучшить летные характеристики самолетов привело к использованию в авиации металлических конструкционных материалов (сталь, алюминий, титан, бериллий и их сплавы).

Технический прогресс в XX веке привел к созданию новых конструкционных материалов с высокой удельной прочностью и жесткостью, с неприсущими природным материалам свойствами. К таким новым материалам относятся композиционные материалы.

Занимаюсь в объединении «Авиационное моделирование» ОГКОУ ДОД «Костромской областной центр детского (юношеского) технического творчества» с 2009 года и особое место в моих исследованиях занимает модель планера класса "F1A" - это модель, не оснащенная собственной тягой, находится в свободном полете и не управляется спортсменом. Считается, что именно этот класс и вид моделей породил весь авиамodelьный спорт. На сегодняшний день этот вид моделей является очень развитым классом в современном авиамodelизме.

Из-за жестких правил технических ограничений, конструкторам моделей для достижения победы на соревнованиях приходится изобретать и применять новые конструктивные решения, использовать самые передовые материалы и технологии. Изучению особенностей строения, настройки планеров моделей этого класса и тренировочным запускам и посвящено все мое свободное время.

Изучая материалы, особое внимание, считаю, следует уделить композиционным материалам.

Нынешний 21 век можно считать веком композиционных материалов, находящихся применение в самых различных областях техники и быта. Но чтобы узнать развитие авиамоделизма в дальнейшем, необходимо знать историю и авиастроения.

Задача: на примере изготовления планера класса F1-A рассматриваются свойства композиционных материалов, проектирование конструкции из композиционных материалов, технология изготовления деталей и узлов, применяемые материалы.

Тема данной работы актуальна для понимания развития современной техники, так как за счет применения высокопрочных композиционных материалов (угле и органопластиков) вместо металлических конструкций, повысилась дальность, высота и скорость летательных аппаратов.

Цель: Проектирование и изготовление модели планера, позволяющего показать высокие спортивные результаты на соревнованиях.

Значение работы: Применение для изготовления авиационных и ракетных систем композиционных материалов позволяет существенно повысить тактико-технические характеристики летательных аппаратов.

Что такое композиционные материалы

«Современный уровень развития техники вызывает необходимость создания новых материалов, обладающих особыми,

не присущими природным материалам свойствами. К таким новым материалам относят композиционные материалы.»

Генеральный директор ООО УК
«Рускомполит» Андрей Сергеевич
Никитин.¹

Технический прогресс в XX веке привел к созданию новых конструкционных материалов с высокой удельной прочностью и жесткостью – композиционных материалов или композитов.

Композиционные материалы представляют собой металлические и неметаллические матрицы (основы) с заданным распределением в них упрочнителей (волокон, дисперсных частиц и др.). При этом композиционные материалы позволяют эффективно использовать индивидуальные свойства составляющих композиции. По характеру структуры композиционные материалы подразделяются на волокнистые, упрочнённые непрерывными волокнами и нитевидными кристаллами, дисперсноупрочнённые композиционные материалы, полученные путём введения в металлическую матрицу дисперсных частиц упрочнителей, слоистые композиционные материалы, созданные путем прессования или прокатки разнородных материалов. Сплавы с направленной кристаллизацией эвтектических структур также представляют собой композиционные материалы. Комбинируя объемное содержание компонентов, можно, в зависимости от назначения, получать композиционные материалы с требуемыми значениями прочности, жаропрочности, модуля упругости, абразивной стойкости, а также создавать композиционные материалы с необходимыми магнитными, диэлектрическими, радиопоглощающими и другими специальными свойствами. Композиционные материалы своим

¹ Интервью с Генеральным директором ООО УК «Рускомполит» Андреем Сергеевичем Никитиным, к.э.н. «Перспективы применения композитных материалов».

прообразом имеют широко известный железобетон, представляющий собой сочетание бетона, работающего на сжатие, и стальной арматуры, работающей на растяжение. Волокнистые композиционные материалы, армированные нитевидными кристаллами и непрерывными волокнами тугоплавких соединений и элементов (SiC, Al₂O₃, углерод и др.), являются новым классом материалов.

Однако принципы армирования для упрочнения известны в технике с глубокой древности. Еще в Вавилоне использовали тростник для армирования глины при постройке жилищ, а в Древней Греции железными прутьями укрепляли мраморные колонны при постройке дворцов и храмов. В 1555-1560 годах при постройке храма Василия Блаженного в Москве русские зодчие Барма и Постник использовали армированные железными полосами каменные плиты.

Развитие современных композиционных материалов

Успешному развитию современных композиционных материалов содействовали: разработка и применение в конструкциях волокнистых стеклопластиков, обладающих высокой удельной прочностью (1940-50 года); открытие весьма высокой прочности, приближающейся к теоретической, нитевидных кристаллов и доказательства возможности использования их для упрочнения металлических и неметаллических материалов (1950-60 года); разработка новых армирующих материалов - высокопрочных и высокомодульных непрерывных волокон углерода, Al₂O₃, SiC и волокон других неорганических тугоплавких соединений, а также упрочнителей на основе металлов (1960-70 года).

Основные композиционные материалы

В технике широкое распространение получили волокнистые композиционные материалы, армированные высокопрочными и высокомодульными непрерывными волокнами, в которых армирующие элементы несут основную нагрузку, тогда как матрица передаёт напряжения волокнам. Волокнистые композиционные материалы, как правило,

анизотропны. Механические свойства композиционных материалов определяются не только свойствами самих волокон, но и их ориентацией, объёмным содержанием, способностью матрицы передавать волокнам приложенную нагрузку и др. Диаметр непрерывных волокон углерода, а также тугоплавких соединений (B_4C , SiC и др.) обычно составляет 100-150 мкм.

Важнейшими технологическими методами изготовления композиционных материалов являются: пропитка армирующих волокон матричным материалом; формование в пресс-форме лент упрочнителя и матрицы, получаемых намоткой; холодное прессование обоих компонентов с последующим спеканием, электрохимическое нанесение покрытий на волокна с последующим прессованием; осаждение матрицы плазменным напылением на упрочнитель с последующим обжатиением; пакетная диффузионная сварка монослойных лент компонентов; совместная прокатка армирующих элементов с матрицей и другие.

Композиционные материалы в конструкциях, требующих наибольшего упрочнения, характеризуются расположением армирующих волокон по направлению приложенной нагрузки. Цилиндрические изделия и другие тела вращения (например, сосуды высокого давления), в основе которых лежат композиционные материалы, армируют волокнами, ориентируя их в продольном и поперечном направлениях. Причем в поперечном направлении армируют большим количеством волокон. Увеличение прочности и надежности в работе цилиндрических корпусов, а также уменьшение их массы достигается внешним армированием узлов конструкций высокопрочными и высокомодульными волокнами, что позволяет повысить в 1,5-2 раза удельную конструктивную прочность корпусов из композиционных материалов по сравнению с цельнометаллическими корпусами.

Весьма перспективны композиционные материалы, армированные нитевидными кристаллами (усами) керамических, полимерных и др.

материалов. Размеры усов обычно составляют от долей до нескольких мкм по диаметру и примерно 10-15 мм по длине. Разрабатываются композиционные материалы со специальными свойствами, например, радиопрозрачные и радиопоглощающие материалы, композиционные материалы для тепловой защиты орбитальных космических аппаратов, композиционные материалы с малым коэффициентом линейного термического расширения и высоким удельным модулем упругости и другие.

Области применения

Композиционные материалы постепенно занимают все большее место в нашей жизни. Области применения композиционных материалов многочисленны. Кроме авиационно-космической, ракетной и других специальных отраслей техники, они могут быть успешно применены в энергетическом турбостроении, в автомобильной и горнорудной, металлургической промышленности, в строительстве и т.д. Диапазон применения этих материалов увеличивается день ото дня и сулит еще много интересного. Можно с уверенностью сказать, что это материалы будущего.

Итак, композиционный материал - конструкционный (металлический или неметаллический) материал, в котором имеются усиливающие его элементы в виде нитей, волокон или хлопьев более прочного материала. Примеры композиционных материалов: пластик, армированный углеродными, стеклянными волокнами, жгутами или тканями на их основе; алюминий, армированный нитями стали, бериллия. Комбинируя объемное содержание компонентов, можно получать композиционные материалы с требуемыми значениями прочности, жаропрочности, модуля упругости, абразивной стойкости, а также создавать композиции с необходимыми магнитными, диэлектрическими, радиопоглощающими и другими специальными свойствами.

Применение композиционных материалов на примере изготовления планера F1A

Использование композиционных материалов в авиации в прошлые времена ограничивалось изготовлением декоративных деталей внутренней отделки салонов самолета, неответственных деталей обшивки крыла, не несущих деталей конструкции. Но в наше время всё сильно изменилось. Теперь композиты используются не как вспомогательные материалы, а используются как основной конструкционный материал для изготовления силовых элементов конструкции планера самолета. Доля композиционных материалов в конструкции планера самолета доходит до 50% массы. В основном используется углепластики (карбон) органопластики (кевлар, СВМ) и стеклопластики.

В качестве наиболее часто встречающихся материалов для армирования композитов используются волокна, тканые материалы или пленки, изготовленные из углерода, арамида или стекла.

Для производства высококачественных композитов в качестве связующих используются эпоксидные, фенольные и полиэфирные смолы.

Изготовление высокопрочных композитов производится из углеродных волокон. Такое волокно чаще всего изготавливается путем воздействия высоких температур на нити из полиакрилонитрила. При этом после формирования углепластика получаются материалы с очень высокими удельными характеристиками. Так, например, модуль упругости углепластиков превышает модуль упругости стали в 1,5 раза. Предел прочности на разрыв может быть больше 200 кг/мм², а удельная плотность находится в пределах 1,45-1,7 г/см³, у стали плотность 7,85 г/см³. Органопластики (СВМ) имеют плотность 1,25 г/см³, а прочность, реализованную в реальных конструкциях, больше 45 кг/мм². Прочность лучших алюминиевых сплавов меньше или равно 48 кг/мм², а плотность равна 2,85 г/см³. Таким образом, удельная прочность композиционных материалов гораздо выше стали и алюминия.

Несмотря на столь высокие характеристики, использование композитов в авиации идет довольно медленно. Это прежде всего связано со специфическими свойствами этих материалов. Так эпоксидная смола не очень хорошо выдерживает атмосферные осадки. Значит, необходима защита от влаги. Углепластики, имея очень высокий модуль упругости, хорошо передают вибрацию, а органические пластики наоборот — гасят упругие колебания. Поэтому от конструктора зависит где, какой материал применять. Зная свойства материалов можно создать высокопрочную и легкую конструкцию самолета.

В конце 70-х годов прошлого века была разработана оперативно-тактическая ракета «ОКА», корпус которой был изготовлен из композитного материала. При изготовлении ракет класса воздух-поверхность в качестве теплозащитного покрытия (ТЗП) в соплах ракетных двигателей твердого топлива (РДТТ) используют композитный материал типа АГ4-В – это стекловолокно, пропитанное фенолформальдегидной смолой. Теплопроводность этого материала небольшая, при соприкосновении с высокотемпературными газами идет пиролиз, на который тратится много энергии, поэтому прогара в критической зоне сопла не происходит.

Из материала типа АГ4-В полностью изготовлены сопла системы аварийного спасения (САС) космического корабля «СОЮЗ». Спускаемые отсеки всех космических кораблей имеют защитную обмазку, выполненную из углеволокна, пропитанного смолой.

На самолетах МИГ-23 использовался радиопрозрачный обтекатель, изготовленный из стеклоткани, пропитанной смолой.

В 1989 году беспосадочный кругосветный перелёт совершил построенный энтузиастами в единственном экземпляре самолет Voyager, углепластиковый планер которого весил всего 450 кг. Конструктор Б. Рутан. (приложение 1, рис. 1)

В системах, где необходима термостабильность используют углепластики. У них получается очень низкий коэффициент линейного термического расширения порядка $1 \cdot 10^{-6}$ при малой массе.

Рассмотрим применение композитов на примере изготовления авиационной спортивной модели планера F1A. Тем более, что габариты модели планера F1A соизмеримы с беспилотными летательными аппаратами, изготавливаемыми нашей авиационной промышленностью.

Модель планера F1A (приложение 1, рис. 2) должна соответствовать требованиям FAI:

1. Общая несущая площадь должна быть 32-34 дм².
2. Масса модели должна быть не менее 410 г.
3. Длина леера, на котором затягивается планер — 50 м max.

Рассмотрим полет планера при выступлении на соревнованиях.

Участник с помощью леера затягивает планер на определенную высоту, после чего планер отцепляется от леера и начинает свободный полет. Суть соревнований в том, что, кто больше продержится в воздухе, тот и победитель. Длина леера у всех одинаковая, проверяется перед стартом под нагрузкой в 5 кг. Нагрузка на несущую поверхность одинаковая, результат полета зависит от качества самого планера и высоты, на которую может подняться планер во время затяжки на леере. Для того чтобы увеличить продолжительность полета предлагается при отцепке от леера планер разгонять до больших скоростей, а после отцепки переводить его на траекторию набора высоты.

Для этого спроектирован специальный механизм, состоящий из программного механизма и крючка, позволяющего разгонять планер до нужной скорости (приложение 2, рис. 1).

Таким образом, был разработан алгоритм запуска планера:

1. Планер поднимается на высоту 50 м (длина леера)

2. После этого начинается движение по образующей сферы радиусом 50 м (длина леера), при этом скорость самого планера будет равна $\omega \cdot R_K$, где ω — угловая скорость (1 круг — 5 сек = 6,28/5),

R_K — радиус круга движения планера по образующей сферы

$R_{50} \approx 10$ м

$V_{\text{пл. по сфере}} = 12,56$ м/сек – скорость планера на леере при полете по сфере.

3. Участник начинает бежать с леером со скоростью $V = 7 \div 8$ м/сек (с большей скоростью бежать по пересеченной местности невозможно)

4. В момент, когда планер находится в верхней точке, делается рывок леера, раскрывается защелка крючка (усилие раскрытия = 7,5 кг) и планер, получив дополнительное ускорение, начинает свободный полет.

При этом программный механизм переводит, за счет изменения углов атаки, планер в набор высоты.

За время набора высоты скорость планера уменьшается и когда она достигнет скорости планирования планера под действием силы тяжести, программный механизм переводит планер в планирующий полет.

Таким образом, имея первоначальную высоту 50 м (длина леера), планер за счет динамического старта получает дополнительный прирост высоты, а соответственно и времени полета.

Из аэродинамики известно:

$$F_{\text{подъемная сила}} = \rho V^2 \cdot C_y S / 2 ,$$

где F – подъемная сила

ρ – плотность воздуха

V — скорость полета

S — площадь несущих поверхностей

C_y — коэффициент подъемной силы

C_y — зависит от профиля крыла и для ламинарных профилей, используемых для планеров F1A $C_y \approx 0,5$ при этом

C_x — коэффициент сопротивления $\approx 0,007$, что позволяет его исключить из расчета высоты полета из — за малых значений сопротивления.

$$V_{\text{пол.}} = 4\sqrt{p/C_y} - \text{ скорость планирования планера}$$

где p — удельная нагрузка на несущие поверхности

$V_{\text{пол.}} = 6,2$ м/сек — скорость полета модели планера при планировании

$C_x = C_{x_p} + C_{x_i}$ - коэффициент полного сопротивления

C_{x_p} — коэффициент профильного сопротивления

C_{x_i} — коэффициент индуктивного сопротивления

$$C_{x_i} = C_y^2/\pi \square$$

\square — удлинение крыла

$$\square = L^2/S_{\text{кр}}$$

L — размах крыла

$S_{\text{кр}}$ — площадь крыла

Использование ламинарных профилей позволило уменьшить размах крыла, а, следовательно, увеличилась прочность крыла на изгиб и дало возможность исключить из расчета высоты индуктивное сопротивление, так как набор высоты происходит за счет кинетической энергии, а подъемная сила крыла ≈ 0 — взлет вертикальный.

Кинетическая энергия взлета планера

$$E = mV_{\text{вз}}^2/2 \text{ — } mV_{\text{пол}}^2/2 = mQH$$

равна потенциальной энергии планера на высоте взлета

$$V_{\text{вз}} = V_{\text{пл. пол. по сфере на леере}} + V_{\text{скор}} + V_{\text{скор рыв.}}$$

$$(at_{\text{рыв}}) = V_{\text{скор рыв.}}$$

a — ускорение рывка

$$a_{\text{min рыв.}} = F/m$$

F — усиление раскрытия защелки

$$F = 7,5 \text{ кгс} = 73,5 \text{ Н}$$

t — время рывка

$$t = 0,04 \text{ сек}$$

$$V_{\text{скор рыв.}} = 7,17 \text{ м/сек}$$

$$V_{\text{взл}} = 27,73 \text{ м/сек} - \text{взлетная скорость планера в момент отцепки.}$$

Зная взлетную скорость $V_{\text{взл}}$, можно определить высоту, на которую может взлететь планер после отцепки от леера.

$$mgH = \frac{mV_{\text{взл}}^2}{2} - \frac{mV_{\text{пл}}^2}{2}$$

$$H = \frac{V_{\text{взл}}^2 - V_{\text{пл}}^2}{2g} = 37,27 \text{ м}$$

Но это не полная высота, ведь планер находился у нас на леере, а длина леера 50 м. Реально, в момент отцепки, планер находится на высоте 44 — 45 м из-за угла наклона под которым леер находится к земле.

Итак, полная высота на которую может взлететь модель планера составляет 82,27 м.

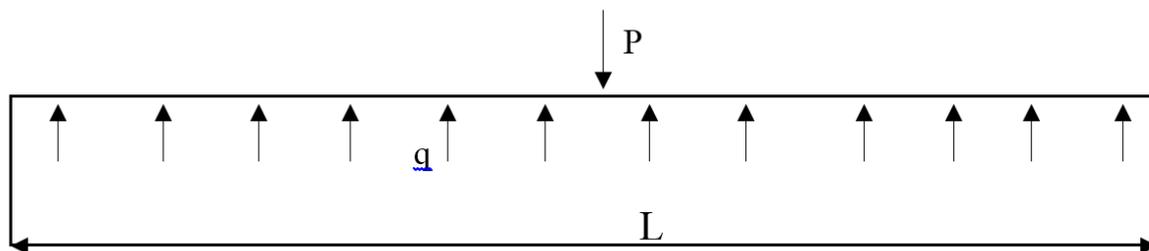
Возникает вопрос, а причем здесь композиционные материалы?

Ранее все модели и не только модели изготавливали из дерева, потом в больших самолетах основным конструкционным материалом стал металл (сталь и алюминий), а модели как делали из дерева так и продолжали делать. В 60-е годы в СССР появилось дерево-бальза, которое произрастает в Южной Америке (Эквадор), удельная прочность бальзы удовлетворяла все запросы авиамоделлистов (удельная плотность бальзы составляет $0,05\text{г/см}^3 - 0,2\text{г/см}^3$, а прочность приближается к прочности липы). Технологические возможности использования бальзы были очень хорошие: она легко обрабатывалась и хорошо клеивалась.

Металл в авиамоделях ранее мало использовался из-за технологических сложностей. Но в процессе изготовления моделей наступил такой момент, что прочность деревянных моделей перестала удовлетворять предъявляемые к ним требования.

Рассмотрим на примере планера силы, действующие на модель в полете. Почти все нагрузки в полете действуют на крыло.

Рассмотрим крыло, как балку с распределенной нагрузкой.



$$qL=P$$

$L=2$ м -размах крыла

q – распределенная нагрузка

P – усилие расцепки леера = $7,5\text{кг} = 73,5\text{н}$

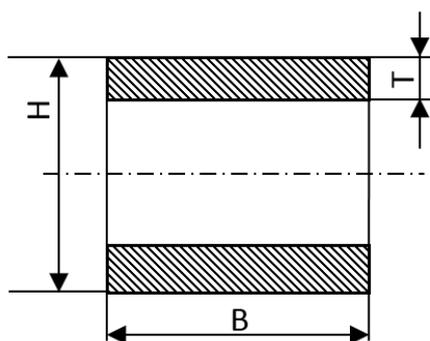
$$M_{\text{кр.маx}} = PL/8 = 1,875 \text{ кгм} = 1875 \text{ кгмм}$$

Сильным элементом крыла является лонжерон (приложение 2, рис. 2), он воспринимает силовые нагрузки, появляющиеся в полете,

$\delta_{\text{из.}}=M_{\text{кр.}}/W$ – допустимое напряжение на изгиб

W – момент сопротивления

W – зависит от геометрии поперечного сечения лонжерона. В нашем случае – лонжерон двухполочный и имеет сечение, указанное на чертеже.



$$\text{Тогда } W_x = \frac{B[H^3 - (H-2T)^3]}{6H}.$$

//

Исходя из строительной высоты профиля крыла и необходимости соединения консолей крыла, с помощью стального высокопрочного штыря имеем

$$B=10\text{мм}$$

$$H=10\text{мм}$$

$$T=1\text{мм}$$

$$W_x = 81,3 \text{ мм}^3$$

$$\delta_{\text{из.}} = M_{\text{кр.}}/W = 23\text{кг/мм}^2$$

$$\delta_{\text{из.}} - \text{ для лучших сортов дерева допускается } \leq 8,5 \text{ кг/мм}^2$$

Лонжерон, изготовленный из дерева, сломается при старте планера.

$$\delta_{\text{из.}} \text{ углепластика } \approx 100 \text{ кг/мм}^2 \text{ (точных данных нет)}$$

Лонжерон из углепластика выдержит возникающие нагрузки при старте планера с большим запасом, но в данном случае критическим является соединение консолей с помощью стального штыря. Из конструктивных соображений диаметр штыря = 7,5 мм, тогда $W = 42,18\text{мм}^3$

$$\delta_{\text{из.шт.}} = 44,45 \text{ кг/мм}^2$$

$$[\delta_{\text{из.}}] = 62 \text{ кг/мм}^2 - \text{ для стали 50ХФА}$$

Стальной штырь из высокопрочной легированной стали выдержит нагрузки, возникающие при старте планера с небольшим запасом. На соревнованиях были случаи, когда подобные штыри разрушались от приложенных нагрузок. Сейчас есть тенденция использовать штырь из углепластика.

Теперь посмотрим, что бы было при изготовлении модели планера по «деревянно – текстильной» технологии. По этой технологии изготавливаем самолеты в начале эры авиации.

$$\delta_{\text{из.шт.}} = 6,5 \text{ кг/мм}^2 - \text{ допускаемые напряжения сосны на изгиб.}$$

$$W_x = 81,3 \text{ мм}^3 - \text{ момент сопротивления лонжерона на изгиб.}$$

$M_{\text{кр.}} = \delta_{\text{из.}} \cdot W_x = 528,45 \text{ кг/мм}$ – допустимый момент, который выдержит сосновый лонжерон.

Вычислим усилие, которое выдержит лонжерон.

$$P = M_{\text{кр.}} \cdot 8 / L = 2,11 \text{ кг} - \text{ это будет равно подъемной силе.}$$

$$P = qV^2/2 \cdot S \cdot C_y, \text{ откуда скорость полёта}$$

$$V_{\text{пол.}} = 14,1 \text{ м/сек.}$$

Тогда определим прибавку при старте

$$mV^2/2 = mg\Delta H$$

$$\Delta H = V^2/2g = 10,14 \text{ м}$$

При использовании в конструкции сосновых лонжеронов прибавка высоты может быть не более 10 м. Это исходя из прочностных характеристик деревянных лонжеронов. При использовании лонжеронов из углепластика прибавка высоты может быть до 27 м, т.к. углепластик допускает более высокие удельные нагрузки. При этом разрушения конструкции не происходит. Использование других конструкционных материалов приводит или к разрушению конструкции – при возникновении в полете нагрузки, или к перетяжелению конструкции.

Реальная прибавка высоты деревянных конструкций еще меньше, так как должен быть и запас прочности при возникновении экстремальных ситуаций, связанных с турбулентностью атмосферы и порывами ветра. Прибавка высоты таких моделей составляет 6 – 7 м., прибавка высоты углепластиковых моделей лучших спортсменов страны доходит до 50 м. Таким образом, высота взлета углепластиковой модели планера F1A при длине леера 50 м. составляет около 100 м., что резко повышает результаты выступлений на соревнованиях.

При полете планера на крыло действуют не только изгибающие нагрузки, но и крутильные, которые создают низкочастотные колебания типа флаттера приводящие к разрушению крыла.

Конструкция крыла состоит из продольных и поперечных элементов. К продольным элементам относятся передняя и задняя кромка и лонжерон. К поперечным элементам относятся нервюры и законцовки. Для того чтобы увеличить прочность крыла на кручение, на переднюю часть профиля крыла ($\approx 25\%$ хорды) устанавливается углепластиковый кессон (Приложение 3, рис. 1), изготовленный из углеткани. Волокна углеткани располагаются под углом 45° к продольной оси крыла. Кессон на эпоксидной смоле приклеивается к

нервиюрам и лонжерону, получается очень жесткая, коробчатая конструкция из-за высокого модуля упругости углеволокна и расположения волокон под углом 45° к продольной оси. Хвостики нервюр, изготовленные из бальзы, приклеиваются к задней кромке крыла, которая также изготовлена из углепластика.

На верхнюю и нижнюю поверхность нервюр наклеиваются накладки из углепластика сечением $3 \times 0,2$ мм с нахлестом на кессон и заднюю кромку.

Получается очень прочная конструкция. Итак, для изготовления крыла использованы нервюры из бальзы, а всё остальное изготовлено из углепластика. Для склейки лучше всего использовать клей ВК-9 (без наполнителя) или смолу ЭЛАТ-187(167) с отвердителем. Клей ВК-9 имеет лучшую адгезию, но надо всегда иметь свежий компонент ПО-300.

Рассмотрим технологию изготовления кессона. Для изготовления кессона используется углеткань саржевого переплетения толщиной 0,2 мм. Формовка производится на металлических оправках (алюминиевых) повторяющих профиль носовой части крыла с учетом толщины углеткани.

Оправки (приложение 3, рис. 2) разные для центроплана и ушей (периферийная часть крыла). В качестве разделительного слоя используется фторопластовая лента Ф4 толщиной 0,02 мм. Волокна углеткани располагаются под углом 45° к продольной оси оправки. Пропитка углеткани смолой производится при помощи резиновых валиков от старой стиральной машины (для равномерности) и равномерно укладывается на оправку через разделительный слой. После этого на углеткань накладывается фальш-кессон также через разделительный слой и обматывается сверху изоляцией «ЛЕТСАР». Фальш-кессон (приложение 4, рис. 1) изготовлен из трех слоев стеклоткани $\delta=0,1-0,15$ мм на этой же оправке и служит для равномерного обжатия кессона из углеткани.

После этого весь этот слоеный пирог укладывается в мешок из прорезиненной перкали, из которого откачивается воздух для лучшего

обжатия кессона на оправке. Затем мешок укладывается в автоклав с температурой 80-100⁰ С. Процесс формирования происходит в течение 1,5-2 часов и зависит от типа используемой смолы. После чего мешок извлекается из автоклава и охлаждается. Кессон снимается с оправки и подгоняется по размерам с помощью режущего инструмента.

Для изготовления лонжеронов используются пластины S=1мм отформованные из высокопрочной углеленты толщиной 0,13 мм. Формовка таких пластин производится на авиационных предприятиях на смоле горячего отверждения. Лонжероны до нужных размеров доводятся с помощью механической обработки.

Изготовление корпуса фюзеляжа производится путем формования двух половинок корпуса из углеткани в пресс-форме, изготовленной из нескольких слоев стеклоткани по мастер-форме, повторяющей наружные размеры фюзеляжа планера.

Пропитанная смолой углеткань выкладывается в пресс-форму через разделительный слой, нужное количество слоев, а после этого в герметичный мешок из которого выкачивается воздух и происходит отверждение смолы. За счет атмосферного давления все детали, которые были в пресс-форме хорошо отформируются. Нужны две пресс-формы, правая и левая. После чего детали фюзеляжа обрабатываются механически и склеиваются.

Хвостовая балка отформована на круглой металлической оправке. Она состоит из трех слоев. Первый слой выполнен из анодированной фольги Д16Т толщиной 0,03 мм, второй слой из углеленты толщиной 0,13 мм, пропитанной смолой, третий слой из фольги Д16Т. Обжатие производится с помощью резинового катетора. Можно использовать и изолену «ЛЕТСАР», она тянется и создает нужное давление и не разрушается до t=300⁰ С.

Киль и стабилизатор модели выполнены аналогично крылу.

На примере изготовления модели планера рассматриваются вопросы аэродинамики, механики полета, вопросы прочности элементов конструкции

под действием возникающих нагрузок, вопросы технологии изготовления деталей планера и применяемых композиционных материалов.

Таким образом, мы видим, что для изготовления модели планера F1A в основном использован углепластик и лишь на нервюры и законцовки использовано дерево бальза, которое по массе не превышает 5% массы планера.

Применение углепластика позволило увеличить прочность планера, его живучесть. Улучшить летные характеристики за счет возможности эксплуатировать планер с большими перегрузками, а также результаты выступления на соревнованиях.

Конечно, углепластики – очень прочный конструкционный материал, но у них есть и недостатки, например, хрупкость. Этот недостаток можно исправить, применив углеволокно совместно с органопластиками (СВМ, кевлар). Так, например, в резиномоторных моделях F1B в качестве силовой балки под резиномотор используется материал, сотканный из углеволокна и СВМ. При разрыве резиномотора (что случается на соревнованиях довольно часто) получается сильный удар о поверхность силовой трубки. Трубка из углепластика разваливается на мелкие кусочки, а трубка с использованием СВМ выдерживает все подобные удары (приложение 4, рис. 2)

Таким образом, комбинируя различными свойствами композиционных материалов, можно получать конструкционные материалы с заданными характеристиками./

В настоящее время все больше композиционных материалов применяется не только в авиамоделизме, но и в большой авиации. Многие детали планера самолета Suhoi Super JET-100 изготовлены из композиционных материалов. Детали обшивки перспективного истребителя ПАК ФА Т-50 также изготовлены из композиционных материалов Это все, конечно, требует большого количества испытаний и отработки технологий.

Использование композиционных материалов в авиамоделизме позволяет отработать технологию изготовления деталей без больших материальных и трудовых затрат. Это было продемонстрировано авиамоделистами, работающими на заводе АВИАСТАРе в городе Ульяновске при внедрении в производство изготовления деталей из композиционных материалов.

Заключение

Применение для изготовления авиационных и ракетных систем композиционных материалов позволило существенно повысить тактико-технические характеристики летательных аппаратов. Упростилась технология изготовления, теперь конструктор сам может проектировать свойства применяемых материалов.

За счет применения высокопрочных композиционных материалов (угле и органопластиков) вместо металлических конструкций, повысилась дальность, высота и скорость летательных аппаратов. На примере использования композиционных материалов при изготовлении модели планера F1A показано, как можно улучшить летные характеристики, а, следовательно, и результаты выступления на соревнованиях (третье место автора на первенстве России). Используя композиционные материалы для обшивки летательного аппарата можно изменять радиолокационные характеристики самолета, что очень важно при изготовлении военной техники. Будущее за композиционными материалами!

Список литературы

1. А.А. Болонкин. /Теория полета летающих моделей. М.: ДОСААФ, 1962 год.
2. Э.П. Смирнов. /Как сконструировать и построить летающую модель. М.: ДОСААФ, 1973 год.
3. В.И. Анурьев. /Справочник конструктора – машиностроителя. М.: «Машиностроение», 1973.
4. Советский Энциклопедический Словарь, Москва, 1988 год.
5. С.В. Мартовский, М.Ю. Ощепков. /Журнал «Composite 21 century». 2011/Май
6. http://www.ft-publishing.ru/upload/file/books/article_06.pdf
Интервью с Генеральным директором ООО УК «Рускомполит» Андреем Сергеевичем Никитиным, к.э.н. «Перспективы применения композитных материалов».

Приложение 1.



Рис. 1. Углепластиковый самолет Voyager. Конструктор Б. Рутан.



Рис. 2. Авиационная спортивная модель планера F1-A.

Приложение 2.



Рис. 1. Программный механизм с крючком на модели планера.



Рис. 2. Лонжерон крыла модели планера из углепластика.

Приложение 3.



Рис. 1. Кессон крыла модели планера из углепластика.



Рис. 2. Оправка для изготовления кессона.

Приложение 4.



Рис. 1. Фальш-кессон из стеклоткани.



Рис. 2. Фюзеляж резиномоторной модели из органоластика (СВМ)