

Конструкции из полимерных композиционных материалов в самолетах-амфибиях типа Бе-200

Н.А. Лавро

доцент кафедры «109Б» МАИ (НИУ), заместитель начальника центра развития ПАО «ТАНТК им. Г.М. Бериева»; Ростовская область, г. Таганрог

Т.Ф. Вовк

инженер-технолог 1 категории ПАО «ТАНТК им. Г.М. Бериева»; Ростовская область, г. Таганрог

А.В. Евланов

Главный специалист по композиционным материалам ПАО «ТАНТК им. Г.М. Бериева»; Ростовская область, г. Таганрог

И.В. Ледовских

старший преподаватель кафедры «109Б» МАИ (НИУ), Главный специалист по расчетам МКЭ, начальник отдела ПАО «ТАНТК им. Г.М. Бериева»; Ростовская область, г. Таганрог
e-mail: brg1705@beriev.com

Аннотация. Технический прогресс XX века обусловил создание конструкционных материалов с высокой прочностью и жесткостью на полимерной, металлической и керамической основах. Есть все основания полагать, что роль композиционных материалов в создании изделий авиационной техники в XXI веке станет ведущей, так как применение таких материалов позволяет существенно снизить массу конструкций. В предлагаемой статье кратко изложен расчетно-экспериментальный подход проектирования из полимерных композиционных материалов одного из агрегатов самолета-амфибии Бе-200.

Ключевые слова: ПКМ (полимерные композиционные материалы), прочностные характеристики, испытания, образец-свидетель.

Современная авиация уже не мыслит своего существования без полимерных композиционных материалов, которые по сравнению с традиционными металлами имеют ряд преимуществ по весовой эффективности, коррозионной стойкости и возможности изготовления детали (агрегата), объединяющей в себе несколько функций, за один технологический процесс, минуя сборку.

К недостаткам следует отнести недостаточную водостойкость, старение матрицы и т.п. Практически все поверхности самолета, испытывающие аэродинамические нагрузки, уже давно (пример-

но 40 лет) делают из полимерных композиционных материалов (ПКМ) или клееных конструкций. В процессе эксплуатации изделий определились характеристики живучести и трещиностойкости, а также их ремонтпригодность.

Современные клеепрепреги расширили возможности изготовления деталей из ПКМ благодаря своим технологическим преимуществам:

- отсутствию растворителей при изготовлении препрегов, отсюда пониженная пористость (летучих не более 2%) и, как следствие, улучшенная водостойкость;
- достаточной технологической липкости;
- сравнительно невысокой температуре отверждения (до 175 °С).

Группа препрегов КМКС-2м.120 оказалась очень интересной. Кроме достижения улучшенной термостабильности механических свойств пластика была разработана еще одна группа клеепрепрегов на этой же основе из угольных материалов (угольная лента ЭЛУР, угольная ткань фирмы *PorcherInd.* 3692), которые позволяют перейти к проектированию и применению полимерных композитов в самых нагруженных конструкциях самолетов-амфибий Бе-200. Был выбран дефлектор, который расположен на створке водобака (на днище) Бе-200 и при посадке или взлете испытывает нагрузку в несколько тонн при габаритах 0,5×0,5×0,14 м. Этот агрегат взаимозаменяем.

Стоит подчеркнуть еще раз, почему стекло и углепластики на основе клеепрепрегов предпочтительнее, чем традиционные аналогичные материалы. Их отличают:

- более высокие трещиностойкость (на 40...50%) и усталостные характеристики; увеличенная прочность при межслоевом сдвиге (на 20...35%);
- способность сохранять высокий уровень прочностных характеристик после воздействия воды и влаги, повышенной температуры;
- более высокая ударная вязкость (у стеклопластиков такая же, как у органика);
- хорошая воспроизводимость технологического процесса в условиях серийного производства при минимальном числе контрольных операций;
- широкий выбор препрегов с различными наполнителями на основе одной и той же матрицы, позволяющий применить в одной конструкции за один технологический процесс материал, который необходим в данном месте конструкции.

Выяснилось также, что конструктивный подход к деталям (агрегатам) из ПКМ совершенно другой, чем к изделиям из металлов [1, 2]. Есть возможность варьировать направление укладки слоев препрега (0, 90, ±45°) так, как нужно конструктору.



Но эти вариации имеют не только технологические ограничения, но и прочностные.

Под технологическими ограничениями подразумевается, например, определенный порядок укладки слоев препрега, при котором после полимеризации возникают минимальные поводки детали и минимальные внутренние напряжения. Обычная термообработка не снимает напряжения, так как они возникают из-за различного для каждого слоя препрега (наполнителя и матрицы) коэффициента термического расширения. Внутренние напряжения могут привести к разрушению конструкции даже при незначительном нагружении, далеко от максимально рассчитанной нагрузки.

Что мы понимаем под прочностными ограничениями? Для примера берем однонаправленный препрег. Казалось, уложил слои в нужном направлении (согласно направлению максимальной нагрузки) – и задача решена. Но, во-первых, на самолете не существует деталей только с одноосным нагружением. Во-вторых, включается устойчивость монослоя однонаправленного препрега, т.е. мы не можем уложить все слои в одном направлении. Определенное количество слоев требуется для прокладки между пакетами однонаправленного препрега еще и в другом направлении. А это ведет к увеличению веса детали.

Места крепления детали также влияют на укладку слоев. Если агрегат крепится с помощью клея, то изменять укладку слоев в местах крепления нет необходимости. Но при механическом креплении уже нужны увеличенная толщина и другая схема укладки, а это все ведет к утяжелению веса.

При проектировании конструкции из ПКМ возникают также противоречия между технологическими возможностями и требованиями прочности агрегата. В агрегате разные места нагружаются не только по-разному, но и в разных направлениях, что порой приводит к необходимости в одних и тех же порядковых номерах слоев иметь разные направления основы препрега (в пределах одного слоя). Особенно это проявляется в интегральных конструкциях с ребрами жесткости. Возникают дополнительные перестыковки слоев, которые приводят к нарушению симметрии при укладке (поводке детали), изменению толщин (усложнению оснастки) и т.п.

Разброс толщин по сечениям детали – это тоже технологические трудности для изготовления ресурсной детали без поволодок и круток. Идеальный вариант – разброс толщин не более 2%.

Детали из ПКМ толщиной 10 мм и более (а не 1...5 мм) имеют свой технологический процесс. Наполнитель препрега тоже оказывает свое влияние.

Необходимо было также создать такой образец-свидетель, по которому можно будет точно судить о качестве изготовленной детали (размерах и укладке слоев). До сих пор мы использовали для этих целей стандартный образец на сжатие толщиной 2 мм и размерами по ГОСТам, который заме-

чательно характеризует качество полимеризации смолы. Толщина изделия (порядка 10 мм) требует другого образца. Укладка слоев препрега в разных местах интегральной конструкции разная, отсюда и разная величина упрессовки. Для определения качества изготовления и толщины монослоя с помощью экспериментальных данных был принят образец на изгиб:

- габариты 250×40 мм;
- толщина соответствует толщине основного полотна дефлектора, его днищу;
- схема укладки слоев препрега соответствует схеме укладки основного полотна дефлектора.

Методика испытаний соответствует ГОСТу.

С учетом вышесказанного были определены и предварительно рассчитаны силовая схема конструкции, толщины, материалы и технология изготовления дефлектора [3, 4].

Последующие расчеты помогли скорректировать не только толщины (количество слоев) дефлектора, но и основную ось нагрузки, которая первоначально была принята параллельной основной оси самолета. Она стала перпендикулярна профилю на задней кромке дефлектора. Расчеты показали, что в консольной части дефлектора необходимо изменить направление основы укладки слоев препрега (рис. 1-3).

На образцах-свидетелях была также отработана технология изготовления дефлектора. Принята технология предварительного пакетирования, отработаны время и температура отверждения.

Выбранную схему укладки слоев проверили на образцах на изгиб [5] (рис. 4) и после испытаний, сохранив то же количество слоев (0, 90, ±45°), скорректировали порядок их укладки. Расчеты и испытания показали, что имеется возможность корректировки конструкции дефлектора с помощью материалов, имеющих меньший удельный вес, в менее нагруженных местах конструкции.

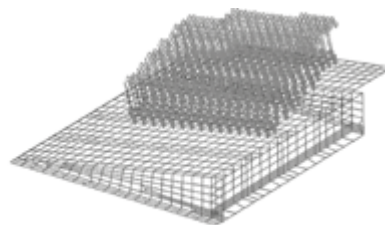


Рис. 1. Дефлектор изд. Бе-200 под воздействием клеточной нагрузки от воды в консольной его части



Рис. 2. Деформированное состояние дефлектора изд. Бе-200 от клеточной нагрузки воды, приложенной в его центральной части



Рис. 3. Поле индекса разрушения по поверхности дефлектора изд. Бе-200 от клеточной нагрузки, приложенной в его консольной части

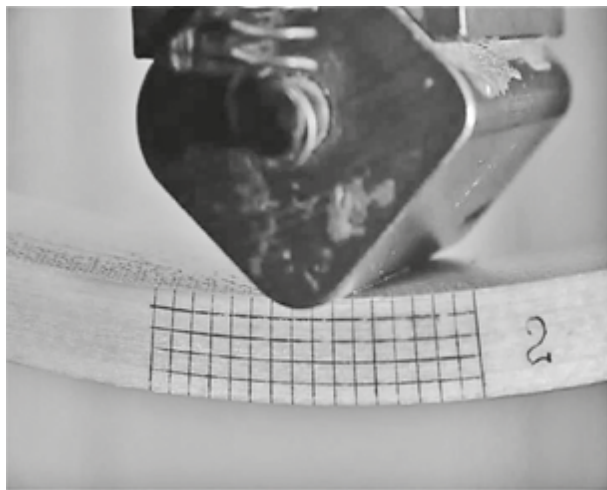


Рис. 4. Испытание образцов на изгиб

Первый изготовленный дефлектор из КМКС-2м.120.Т60 и КМКС-2м.120.Т15 подтвердил правильность выбора схем укладки и технологию изготовления дефлектора:

- отклонение от оснастки, определяемое по стандартной методике, вдвое меньше допустимых норм;
- разброс толщин по основному полотну днища дефлектора составил 0,22 мм, обнаружилось отклонение толщины монослоя примерно на 12% от теоретического;
- прочность образца-свидетеля такая же, как и у образцов, подтвердивших выбранные схемы укладки препрега и технологию изготовления.

В настоящее время дефлектор проходит испытания.

Литература

1. Сироткин О.С., Гришин В.И., Литвинов В.Б. Проектирование, расчет и технология соединений авиационной техники. – М.: Машиностроение, 2006. – 330 с.
2. Скороход В.В., Никифоров Н.А., Резник С.В. и др. – Материалы и покрытия в экстремальных условиях. Взгляд в будущее: в 3 т. Т.2. Передовые технологии производства. / Под ред. С.В. Резника. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2002. – 296 с.
3. MSC. Software: виртуальная разработка конструкций из композиционных материалов. MSC. Software Corporation. Москва. 2009. – 112 с.

4. Расчет напряженно- деформированного состояния дефлектора изд. Бе-200. Отчет ТАНТК им. Г.М. Бериева, 2012. – 40 с.

5. Пластмассы. Метод испытания на статический изгиб. Межгосударственный стандарт. ГОСТ 4648-2014 (ISO 178:2010). – М.: Стандартинформ, 2014.

Designs from Polymeric Composite Materials in Be-200 Amphibians

N.A. Lavro, associate professor of the department 109B of Moscow Aviation Institute (NRU), Deputy head of the center of development of the Public Joint Stock Company «G.M. Beriev Taganrog aviation scientific-technical complex»; Rostov region, Taganrog

T.F. Vovk, process engineer of 1 category of the Public Joint Stock Company «G.M. Beriev Taganrog aviation scientific-technical complex»; Rostov region, Taganrog

A.V. Evlanov, the chief specialist on composite materials of the Public Joint Stock Company «G.M. Beriev Taganrog aviation scientific-technical complex»; Rostov region, Taganrog

I.V. Ledovskikh, Senior Lecturer of the department 109B of Moscow Aviation Institute (NRU) the chief specialist by calculations of MKE, the head of department of the Public Joint Stock Company «G.M. Beriev Taganrog aviation scientific-technical complex»; Rostov region, Taganrog

e-mail: brg1705@beriev.com

Summary. Technical progress of the XX century has caused creation of constructional materials with a high durability and rigidity on polymeric, metal and ceramic bases. There are all bases to believe that the role of composite materials in creation of products of the aircraft equipment in the new XXI century will become the leader as use of such materials allows to reduce the mass of designs significantly. In the offered article settlement experimental approach of design from PCM (polymeric composite materials) of one of units of the Be-200 amphibian briefly is stated.

Keywords: PCM (polymeric composite materials), strength characteristics, tests, sample witness.

References:

1. Sirotkin O.S., Grishin V.I., Litvinov V.B. Design, calculation and technology of connections of the aircraft equipment. *Mechanical Engineering*. 2006. Moscow, 330 p.
2. Skorokhod V.V., Nikiforov N.A., Reznik S.V. Materials and coverings in extreme conditions. Prospection: volume 2. Advanced technologies of production. Under the editorship of S.V. Reznik. *Publishing house of N.E. Bauman Moscow state technical university*. 2002. Moscow, 296 p.
3. MSC. Software: virtual development of designs from composite materials. *MSC. Software Corporation*. 2009. Moscow, 112 p.
4. Calculation of the intense deformed condition of the deflector of prod. Be200. *The report of Public Joint Stock Company «G.M. Beriev Taganrog aviation scientific-technical complex»*. 2012. 40 p.
5. State standard 4648-2014 (ISO 178:2010). Plastic. A test method on a statistical bend. *Standartinform*. 2014. Moscow.