

УДК 678.8

DOI: 10.18577/2071-9140-2014-0-s2-5-9

Ю.О. Попов¹, Т.В. Колокольцева¹, А.В. Хрульков¹**НОВОЕ ПОКОЛЕНИЕ МАТЕРИАЛОВ И ТЕХНОЛОГИЙ
ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ЛОНЖЕРОНОВ ЛОПАСТЕЙ ВЕРТОЛЕТА**

Специалистами ФГУП «ВИАМ» разработаны материалы и технология для изготовления лонжеронов вертолетов, которые должны работать в условиях повышенной влажности и повышенных температур. Для обеспечения растущих потребностей в разработанных материалах необходимо создание производства, оснащенного специализированным автоматизированным оборудованием и инфраструктурой, обеспечивающей получение сертифицированного продукта. Для этого потребуется разработка и реализация проекта серийного производства продукции необходимого ассортимента в требуемом количестве.

Ключевые слова: лонжерон, связующее, теплостойкость, влагостойкость, организация производства.

Specialists of Federal State Unitary Enterprise «VIAM» have developed materials and process for the manufacture of helicopter spars, which are to work under conditions of high humidity and high temperatures. To meet the growing demand in the developed materials it is necessary to create a production, equipped with a specialized automated equipment and infrastructure providing a manufacture of the certified product. This will require the development and implementation of the project of products serial manufacture of necessary range in the required amount.

Keywords: spar, binder, heat resistance, moisture resistance, organization of production.

¹Федеральное государственное унитарное предприятие «Всероссийский научно-исследовательский институт авиационных материалов» Государственный научный центр Российской Федерации [Federal state unitary enterprise «All-Russian scientific research institute of aviation materials» State research center of the Russian Federation] E-mail: admin@viam.ru

Введение

В настоящее время ключевыми задачами развития материаловедения и технологий полимерных композиционных материалов (ПКМ) является доведение доли композиционных материалов новых поколений в конструкции планера, в том числе силовых элементов, – до 60%; создание новых материалов с улучшенными служебными характеристиками [1]. Реализация поставленных задач невозможна без соответствующих инфраструктурных решений, что потребует создания специализированных центров компетенции – национальных лабораторий по полимерным композиционным материалам. При этом рост применения композиционных материалов в различных изделиях и увеличение объемов их производства потребуют значительного повышения автоматизации технологических процессов [2].

Материалы и методы

В ВИАМ при разработке Программы стратегических направлений до 2030 года учитывали растущий интерес к производству связующих и препрегов, поэтому проблемы создания современных связующих и препрегов для ПКМ выделены в отдельные направления [2, 3]. Один из принципов, используемых при разработке связующих, – это отказ от использования органических растворителей и переход на расплавные технологии. Такой подход требует использования специализированного оборудования при изготовлении связующих и производстве полуфабрикатов из них, кро-

ме того, необходимо повысить стойкость конструкций к ударным воздействиям, а также минимизировать работу с опасными растворителями в процессе производства связующих и препрегов [4–15].

Лопастей из композиционных материалов находят все более широкое применение в современных конструкциях несущих систем вертолетов. В Российской Федерации еще в 70-х годах прошлого века начались первые опыты применения связующего ЭДТ-10П для изготовления методом намотки лонжеронов стабилизатора вертолета. Для этого был спроектирован и создан специальный станок НЛ-1, который позволял осуществлять процесс намотки длинномерной заготовки будущего лонжерона. Над отработкой этой технологии совместно работали конструкторы, технологи, программисты и материаловеды. Связующее ЭДТ-10П было выбрано благодаря простоте его изготовления и доступности компонентов. Для изготовления препрега на основе стеклонитей и данного связующего была создана специальная установка УЛК-1, которая обеспечивала изготовление препрега простым окунанием сухих нитей, собранных в ленту шириной 10 мм, в ванночку со связующим и последующей сушкой под воздействием тепла. Процесс был отработан, совершенствовался и успешно применен в серийном производстве для изготовления лонжеронов методом намотки несущих винтов вертолета.

Однако споры о том, что является более эффективным и технически обоснованным при изго-

товлении лонжеронов продолжают [16]. В статье «Композитные лопасти: выкладка или намотка?» – продолжение статьи лауреата Государственной премии З. Шнурова (начало в №4, 1999 г.) – автор приходит к выводу, что композитные лопасти лонжеронной конструкции, спроектированные с применением намоточной технологии, не имеют преимуществ по ресурсу и значительно дороже лопастей, изготавливаемых по укладочной технологии.

При этом сторонники применения технологии намотки приводят следующие доводы:

- изготовление лонжеронов лопастей методом намотки позволяет получить монолитную конструкцию без швов и соединений. Вследствие этого при одинаковой массе конструкции такие лонжероны обладают более высокими запасами прочности и живучести по сравнению с лонжеронами, изготовленными методом ручной укладки;

- метод намотки по сравнению с укладкой значительно лучше противостоит опасности возникновения складок – главного повреждающего фактора для слоистых композиционных материалов, исключает ручные операции из процесса формирования изделия и является вследствие этого потенциально более стабильным производственным процессом;

- вследствие более высокой стабильности процесса, снижения потребности в производственных площадях и в количестве технологических операций, оснастки и оборудования метод намотки позволяет снизить стоимость производства лопастей из композиционных материалов.

В настоящее время существуют современные намоточные станки для изготовления лонжеронов длиной до 10 м (рис. 1). Но при эксплуатации в жарком влажном климате оказалось, что связующее ЭДТ-10П не обладает достаточной термовлажностойкостью. Кроме того, связующее обладает повышенной текучестью при температуре отверждения, что приводит к неравномерному его содержанию в будущей конструкции.

Опыт изготовления изделий из ПКМ длиной >1,5 м показывает, что избыток связующего в сыром, непотвержденном материале (на 2–4% больше, чем в полимеризованном), обладающего высокой текучестью при достижении верхней точки температурного режима (160–180°C), перемещается при подаче давления из срединных участков изделия к его концам. Например, при требовании содержания связующего в материале лонжерона после полимеризации не меньше 24–26%, в реальном изделии на концевых участках лонжерона содержание составляет 28–30%, и пластик в этой зоне обладает высокими прочностными свойствами, а в средней части – только 20–22%, т. е. не соответствует паспортным данным на материал. Образец-свидетель длиной всего 1 м имеет равномерные свойства материала по всей длине и не отражает истинной картины по прочности изделия из ПКМ [17].

Таким образом, замена связующего ЭДТ-10П на более современное связующее становилась все более актуальной. Специалисты ОАО им. М.Л. Миля поставили перед учеными ВИАМ задачу разработать новое поколение ПКМ и полуфабрикатов (препрегов), способных вписаться в существующие технологические процессы при серийном производстве лонжеронов с использованием технологии намотки. При этом новый материал не должен обладать недостатками своих предшественников – стеклопластиков на основе связующих ЭДТ-10 и ЭДТ-10П, к которым относятся:

- неконтролируемая текучесть при отверждении;
- недостаточная термовлажностойкость;
- малая жизнеспособность.

Материал на основе нового связующего должен соответствовать по своим техническим характеристикам материалу для серийных лонжеронов.

В ВИАМ разработано расплавное эпоксидное связующее ВСП-3М и комплекс полуфабрикатов на его основе, способных заменить ПКМ на основе связующего ЭДТ-10, применяющихся в серийном производстве лонжеронов.

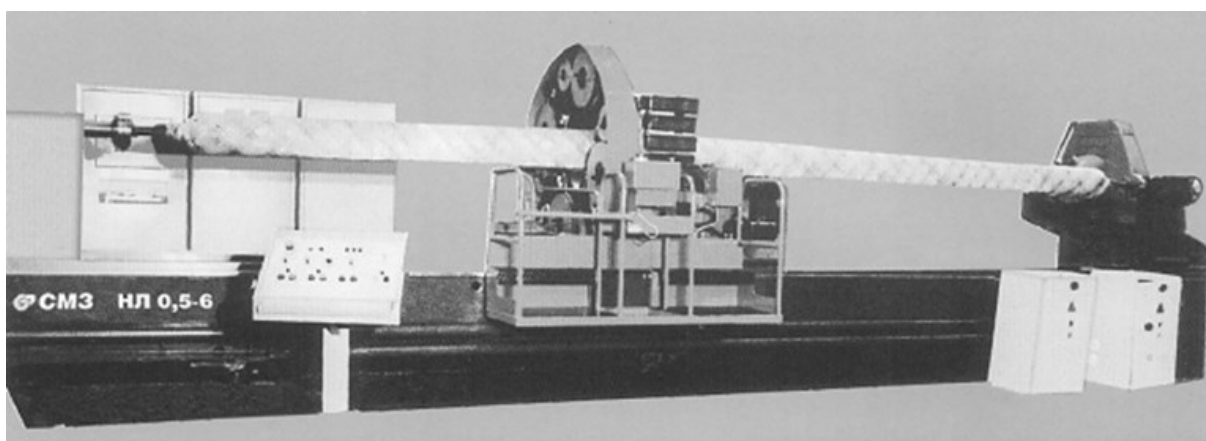


Рис. 1. Станок для намотки лонжерона лопасти вертолета



Рис. 2. Пропиточная линия



Рис. 3. Формирование ленты

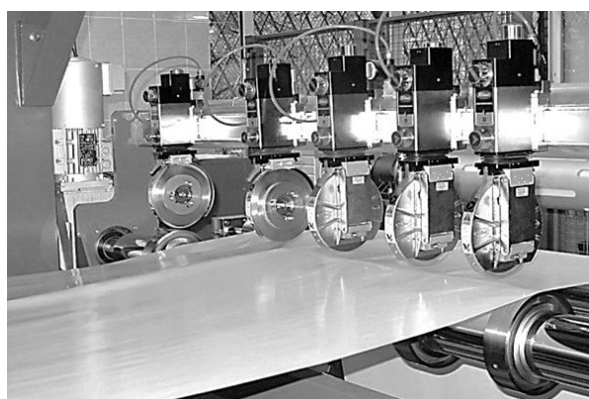


Рис. 4. Первичный препрег



Рис. 5. Установка для резки препрегов

Разработаны технологии производства связующего, препрегов на его основе с применением стекло-, угле-, углестеклооднаправленных и тканых наполнителей, а также отработана технология резки однонаправленных первичных препрегов на ленты требуемой ширины, необходимых при намотке и выкладке заготовки лонжерона.

Работы по созданию нового поколения связующих с повышенной вязкостью разрушения и более высокой теплостойкостью начались еще в конце 90-х годов прошлого столетия. В течение ряда лет были проведены широкомасштабные исследования по созданию связующего, обладающего более высокой тепло- и влагостойкостью, переработка которого осуществлялась бы по экологически чистой расплавной технологии, и при этом могла осуществляться намотка на имеющемся серийном оборудовании по разработанной технологии.

На основе связующего ВСП-3М разработан целый класс материалов – стеклопластиков, углепластиков, стеклоуглепластиков. Все эти материалы изготавливаются по экологически чистой расплавной технологии. На *первом этапе* изготавливается связующее – для этого в настоящее время создается специализированное производство, которое должно удовлетворить растущие потребности в расплавных связующих, обеспечить требуемое качество и разумную цену на них. На *втором*

этапе изготавливаются препреги – для этого используется уникальная установка (рис. 2), обеспечивающая требования по точности содержания связующего в препреге, а следовательно, и в пластике. Сначала формируется лента наполнителя как показано на рис. 3, затем происходит совмещение наполнителя со связующим, и в результате на выходе получается первичный препрег (рис. 4).

Несмотря на кажущуюся простоту процесса имеются многочисленные ограничения, такие как точность поддержания: зазора в коутере (измеряется в мкм), температуры в каландрах, усилия натяжения каждого из жгутов и многое другое, что требует тщательной отработки при внедрении в серийное производство. На *третьем этапе* производится резка препрега на ленты требуемой ширины (рис. 5).

Изготовление заготовки лонжерона необходимо проводить в чистом помещении, отвечающем требованию ГОСТ ИСО 14644-1-2000 (FED STD 209E), класса 100000:

- температура $20 \pm 2^\circ\text{C}$;
- влажность $< 60\%$;
- количество взвешенных в воздухе частиц < 100000 (в 1 кубическом футе).

Отверждение заготовки производится при температуре 180°C .

Свойства пластиков на основе связующего ВСП-3М по сравнению со стеклопластиком ВПС-18 на основе связующего ЭДТ-10П

Свойства ПКМ	Значения свойств		
	стеклопластика		углестеклопластика ВКГ-5
	ВПС-18	ВПС-31	
Марка связующего	ЭДТ-10П	ВСП-3М	ВСП-3М
Диапазон рабочих температур, °С	-60÷+80	-60÷+120	-60÷+120
Жизнеспособность препрега при 20±2°С, сут	5–7	90	90
Плотность, г/см ³	2,00	1,95	1,75
Предел прочности σ_b , МПа	1600	1600	900
Модуль упругости E_b , ГПа	54	53	88
МЦУ: σ_{max} , МПа (на базе 10 ⁷ цикл)	260	500	650
Водопоглощение за 30 сут, %	0,42	0,25	0,25

Результаты

Из данных, приведенных в таблице, видно, что свойства разработанных пластиков на основе связующего ВСП-3М либо превосходят свойства исходного аналога на основе связующего ЭДТ-10П, либо не уступают им.

Обсуждение и заключения

В результате проведенной работы разработано связующее ВСП-3М, которое отвечает всем предъявляемым к связующему требованиям [4, 5]:

- тип разработанного связующего – эпоксидное;
- температура стеклования 150°С;
- температура стеклования после термовлажностного воздействия 110°С;
- контролируемая текучесть;

– жизнеспособность при температуре 20±2°С: 90 сут.

Пластики на основе связующего ВСП-3М обладают достаточной термовлажностойкостью и прочностью, что позволит использовать их для изготовления конструкций, работающих в жарком тропическом климате.

Для обеспечения растущих потребностей в разработанных материалах необходимо создание производства, оснащенного специализированным автоматизированным оборудованием и инфраструктурой, обеспечивающей получение сертифицированного продукта. Для этого потребуются разработка и реализация проекта серийного производства продукции необходимого ассортимента в требуемом количестве.

ЛИТЕРАТУРА

1. Каблов Е.Н. Стратегические направления развития материалов и технологий их переработки на период до 2030 года //Авиационные материалы и технологии. 2012. №S. С. 7–17.
2. Каблов Е.Н. Авиакосмическое материаловедение //Все материалы. Энциклопедический справочник. 2008. №3. С. 2–14.
3. Коган Д.И., Чурсова Л.В., Петрова А.П. Полимерные композиционные материалы, полученные путем пропитки пленочным связующим //Композиционные материалы. 2011. №11. С. 2–6.
4. Коган Д.И. Полимерные композиционные материалы нового поколения для винтокрылой авиационной техники /В сб. материалов круглого стола «Применение полимерных композиционных материалов в винтокрылой авиационной технике». М. 2013 (электронная версия).
5. Бабин А.Н. Связующие для полимерных композиционных материалов нового поколения //Труды ВИАМ. 2013. №4 (viam-works.ru).
6. Чурсова Л.В., Душин М.И., Коган Д.И. и др. Пленочные связующие для RFI-технологии //Российский химический журнал. 2010. Т. LIV. С. 63–67.
7. Мухаметов Р.Р., Ахмадиева К.Р., Чурсова Л.В. Новые термостойкие гетероциклические связующие и экологически безопасные технологии получения композиционных материалов //Российский химический журнал. 2010. Т. LIV. №1. С. 57–62.
8. Мухаметов Р.Р., Ахмадиева К.Р., Ким М.А., Бабин А.Н. Расплавные связующие для перспективных методов изготовления ПКМ нового поколения //Авиационные материалы и технологии. 2012. №S. С. 260–265.
9. Григорьев М.М., Коган Д.И., Твердая О.Н., Панина Н.Н. Особенности изготовления ПКМ методом RFI //Труды ВИАМ. 2013. №4. Ст. 03 (viam-works.ru).
10. Агафонова А.С., Беляев А.А., Кондрашов Э.К., Романов А.М. Особенности формирования монолитных конструкционных радиопоглощающих материалов на основе композитов, наполненных резистивным волокном //Авиационные материалы и технологии. 2013. №3. С. 56–59.
11. Железняк В.Г., Чурсова Л.В., Григорьев М.М., Косарина Е.И. Исследование повышения сопротивляемости ударным нагрузкам полицианурата с модификатором на основе линейных термостойких полимеров //Авиационные материалы и технологии. 2013. №2. С. 26–28.
12. Донецкий К.И., Хрульков А.В., Коган Д.И. и др. Применение объемно-армирующих преформ при изготовлении изделий из ПКМ //Авиационные материалы и технологии. 2013. №1. С. 35–39.
13. Тимошков П.Н., Коган Д.И. Современные технологии производства полимерных композиционных материалов нового поколения //Труды ВИАМ. 2013. №4 (viam-works.ru).

-
14. Соколов И.И., Раскутин А.Е. Углепластики и стеклопластики нового поколения //Труды ВИАМ. 2013. №4 (viam-works.ru).
 15. Каблов Е.Н., Старцев О.В., Деев И.С., Никишин Е.Ф. Свойства полимерных композиционных материалов после воздействия открытого космоса на околоземных орбитах Ч. 1 //Все материалы. Энциклопедический справочник. 2012. №10. С. 2–9.
 16. Душин М.И., Хрульков А.В., Раскутин А.Е. К вопросу удаления излишков связующего при автоклавном формовании изделий из полимерных композиционных материалов //Труды ВИАМ. 2013. №1. Ст. 03 (viam-works.ru).
 17. Способ контроля качества длинномерных полых конструкций из композиционных материалов, например лонжерона лопасти винта вертолета: пат. 2084853 Рос. Федерация; опубл. 10.11.2005.