



УДК 678.067.5

DOI: 10.18577/2307-6046-2015-0-8-8-8

## **СТЕКЛОПЛАСТИКИ КОНСТРУКЦИОННОГО НАЗНАЧЕНИЯ ДЛЯ АВИАСТРОЕНИЯ**

А.О. Курносов

Д.А. Мельников

И.И. Соколов

*кандидат технических наук*

**Август 2015**

Всероссийский институт авиационных материалов (ФГУП «ВИАМ» ГНЦ) – крупнейшее российское государственное материаловедческое предприятие, на протяжении 80 лет разрабатывающее и производящее материалы, определяющие облик современной авиационно-космической техники. 1700 сотрудников ВИАМ трудятся в более чем тридцати научно-исследовательских лабораториях, отделах, производственных цехах и испытательном центре, а также в четырех филиалах института. ВИАМ выполняет заказы на разработку и поставку металлических и неметаллических материалов, покрытий, технологических процессов и оборудования, методов защиты от коррозии, а также средств контроля исходных продуктов, полуфабрикатов и изделий на их основе. Работы ведутся как по государственным программам РФ, так и по заказам ведущих предприятий авиационно-космического комплекса России и мира.

В 1994 г. ВИАМ присвоен статус Государственного научного центра РФ, многократно затем им подтвержденный.

За разработку и создание материалов для авиационно-космической и других видов специальной техники 233 сотрудникам ВИАМ присуждены звания лауреатов различных государственных премий. Изобретения ВИАМ отмечены наградами на выставках и международных салонах в Женеве и Брюсселе. ВИАМ награжден 4 золотыми, 9 серебряными и 3 бронзовыми медалями, получено 15 дипломов.

Возглавляет институт лауреат государственных премий СССР и РФ, академик РАН, профессор Е.Н. Каблов.

УДК 678.067.5

DOI: 10.18577/2307-6046-2015-0-8-8-8

*А.О. Курносов<sup>1</sup>, Д.А. Мельников<sup>1</sup>, И.И. Соколов<sup>1</sup>*

## **СТЕКЛОПЛАСТИКИ КОНСТРУКЦИОННОГО НАЗНАЧЕНИЯ ДЛЯ АВИАСТРОЕНИЯ**

*Представлены сведения о стеклопластиках конструкционного назначения на основе растворных и расплавных связующих. Приведены данные о наиболее востребованных разработках ВИАМ, применяемых в изделиях авиационной техники. Описаны основные преимущества стеклопластиков на основе расплавных связующих. Изучены упруго-прочностные характеристики разработанных стеклопластиков в условиях воздействия повышенных температур, влажности и различных агрессивных сред. Приведены основные области их применения в изделиях авиационной техники.*

**Ключевые слова:** *стеклопластики, прецизионные препреги, растворные и расплавные связующие, пористость.*

*A.O. Kurnosov, D.A. Melnikov, I.I. Sokolov*

## **STRUCTURAL GLASS-REINFORCED PLASTICS PURPOSED FOR AVIATION INDUSTRY**

*The article presents data about structural glass-reinforced plastics produced with the use of solvent- and melt-based binders. Some data on the most popular developments of VIAM used in aviation engineering are given. The main advantages of glass-reinforced plastics based on the melt binders are described. Elastic-strength characteristics of the developed glass-reinforced plastics at elevated temperatures, humidity and under action of various aggressive environments were studied. The main fields of application of these materials in aviation equipment are described in the article.*

**Keywords:** *glass-reinforced plastics, precision prepregs, solvent- and melt-based binders, porosity.*

---

<sup>1</sup>Федеральное 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**

Исследования в области создания стеклопластиков – композиционных материалов на основе стеклянных армирующих наполнителей и полимерных связующих (матриц) – впервые в нашей стране были начаты еще в 1945 г. по инициативе ВИАМ. Высокая механическая прочность, хорошие электро- и теплоизоляционные свойства, стойкость к воздействию агрессивных сред в различных климатических условиях, возможность конструирования изделий с учетом действующих нагрузок путем выбора рациональной структуры армирования, разнообразие и простота технологических методов изготовления изделий, доступность и относительно низкая стоимость стеклянных наполнителей – все это позволило широко применять стеклопластики для деталей и агрегатов ЛА, создавать изделия с необходимыми летно-техническими характеристиками [1].

## **Материалы и методы**

При производстве нагруженных изделий из стеклопластиков для авиационной техники наиболее широкое распространение получила автоклавная технология переработки с применением полуфабрикатов (препрегов) – предварительно пропитанных связующим армирующих наполнителей. В зависимости от необходимости применения растворителя для обеспечения процесса пропитки армирующего наполнителя связующим существуют две технологии изготовления препрегов – растворная, в которой необходимые технологические свойства связующего достигаются применением активных или пассивных растворителей, и расплавная, где требуемые реологические характеристики связующего обеспечиваются применением повышенной температуры. Традиционно при изготовлении препрегов использовали растворную технологию, которая является наиболее простой. При расплавной технологии в состав связующего растворитель не добавляют, а само связующее подогревают на каландрах пропиточной машины непосредственно в процессе нанесения на армирующий наполнитель. Температура нагрева зависит от свойств связующего [2].

На основе различных видов стеклянных наполнителей и полимерных связующих растворного типа в ВИАМ разработан широкий спектр стеклопластиков, нашедших широкое применение в изделиях авиационной техники. Так, разработка эпоксидного стеклопластика марки СТ-69Н(М) (табл. 1) обеспечила создание средненагруженных элементов внешнего контура летательных аппаратов конструкционного и радиотехнического назначения – обтекателей РЛС, створок шасси и грузовых отсеков, капотов. С

применением стеклопластика СТ-69Н(М) изготавливают силовую панель реверса, кожух задней подвески реверса звукопоглощающей конструкции двигателя ПС-90А2. Эпоксидные стеклопластики марок ВПС-33 и ВПС-34 применяют при изготовлении обшивок трехслойных панелей, люков, дверей, створок. На основе стеклопластика ВПС-33 изготавливают кожух сопла звукопоглощающей конструкции мотогондолы двигателя ПС-90А2 [3].

Таблица 1

**Физико-механические свойства стеклопластиков на основе связующих растворного типа**

Свойства	Температура испытания, °С	Направление приложения нагрузки	Значения свойств для стеклопластика марки		
			ВПС-33	ВПС-34	СТ-69Н(М)
Предел прочности при растяжении, МПа (ГОСТ 11262–80)	20	По основе По утку	600 300	460 200	550 310
	100*	По основе	530	350	450
Модуль упругости при растяжении, ГПа (ГОСТ 9550–81)	20	По основе По утку	29 19	20 15	28 21
	100*	По основе	330	260	395
Предел прочности при сжатии, МПа (ГОСТ 4651–82)	20	По основе По утку	450 300	370 260	485 320
	100*	По основе	330	260	395
Предел прочности при изгибе, МПа (ГОСТ 4648–71)	20	По основе По утку	710 410	470 275	865 440
	100*	По основе	500	370	725
Плотность, г/см <sup>3</sup>	–	–	1,58–1,73	1,88–1,97	1,85–2,0
Температура эксплуатации, °С	–	–	От -60 до +100	От -60 до +100	От -60 до +80

\* Для стеклопластика марки СТ-69Н(М) данные приведены при температуре испытаний 80°С.

Для изготовления деталей и обшивок трехслойных сотовых панелей интерьера (в том числе изготовленных бесклеевым методом) разработан стеклопластик ВПС-39П на основе фенолформальдегидного связующего с температурой эксплуатации до 80°С, характеризующийся низким значением тепловыделения и полностью соответствующий требованиям АП-25 по пожаробезопасности (табл. 2) [4].

Таблица 2

**Свойства стеклопластика ВПС-39П**

Свойства	Температура испытаний, °С	Значения свойств
Предел прочности при сжатии, МПа	20	360
	80	315
Предел прочности при межслойном сдвиге, МПа	20	37
	80	27
Дымообразующая способность	–	Слабодымящий
Горючесть	–	Самозатухающий
Тепловыделение (толщина образца 0,3 мм): – максимальная скорость выделения тепла (пик), кВт/м <sup>2</sup> – общее количество выделившегося тепла за первые 2 мин, кВт·мин/м <sup>2</sup>	–	25
	–	23

Данные стеклопластики по уровню свойств не уступают аналогичным зарубежным материалам, однако из-за особенностей растворной технологии изготовления им присущ ряд неизбежных недостатков. В процессе формования стеклопластиков на основе растворных связующих выделяется значительное количество остаточных растворителей (ацетон, спирт), что повышает уровень пористости материала. Поры в изделиях из ПКМ, как известно, серьезно ухудшают механическую прочность материала – особенно под воздействием сжимающих и сдвиговых нагрузок. Помимо этого, растворные связующие не соответствуют принципам «зеленой» химии [5].

С каждым годом требования к экономической эффективности технологий и стоимости деталей из полимерных композиционных материалов (ПКМ) все более ужесточаются. Повышаются требования к материалам как с точки зрения обеспечения необходимого уровня технологических свойств, так и широкого спектра эксплуатационных и специальных характеристик, что обуславливает крайнюю необходимость создания новых ПКМ и технологий их изготовления в рамках реализации «Стратегических направлений развития материалов и технологий их переработки на период до 2030 года» [6, 7].

В ВИАМ разработан ассортимент стеклопластиков на основе расплавных связующих, не содержащих органических растворителей, что позволяет минимизировать образование газообразных продуктов в процессе формования, и тем самым снизить пористость ПКМ и повысить упруго-прочностные характеристики. Благодаря отказу от работы с экологически опасными растворителями снижается количество выделяемых в атмосферу вредных веществ. Такой подход требует использования специализированного оборудования для производства препрегов – современных пропиточных установок, позволяющих изготавливать так называемые прецизионные препреги с минимальным разбросом содержания связующего в препреге, отличающегося от номинального не более чем на 2% [8]. Следует отметить, что созданное в ВИАМ производство препрегов из ПКМ является первым сертифицированным Авиационным регистром МАК производством препрегов в РФ [9].

### **Результаты и обсуждение**

В настоящее время в ВИАМ разработаны и паспортизованы стеклопластики марок ВПС-48/7781 и ВПС-48/120 на основе расплавного эпоксидного связующего ВСЭ-1212 и стеклотканей фирмы Porcher Ind. (Франция) арт. 7781 и 120 (табл. 3). Связующее ВСЭ-1212 с повышенными механическими и деформационными характери-

ками, а также препреги на его основе обеспечивают возможность изготовления изделий с высоким уровнем упруго-прочностных характеристик, устойчивых к воздействию неблагоприятных эксплуатационных факторов [10, 11].

Таблица 3

**Физико-механические свойства стеклопластиков на основе расплавного связующего ВСЭ-1212**

Свойства	Температура испытаний, °С	Значения свойств для стеклопластика марки	
		ВПС-48/120	ВПС-48/7781
Предел прочности при растяжении, МПа	20	420	430
	120	405	410
Модуль упругости при растяжении, ГПа	20	27	28
	120	25	26
Предел прочности, МПа: – при межслойном сдвиге  – при изгибе  – при сжатии	20	85	95
	120	60	66
	20	665	580
	120	430	530
	20	540	630
	120	350	460
Плотность, г/см <sup>3</sup>	–	1,80	1,89

Проведены исследования стеклопластиков в условиях воздействия повышенных температур, влажности и различных агрессивных сред. Характер изменения прочности при межслойном сдвиге стеклопластика ВПС-48/7781 после теплового (2000 ч) и термовлажностного старения (3 мес) представлен на рис. 1, а после воздействия агрессивных сред – на рис. 2.

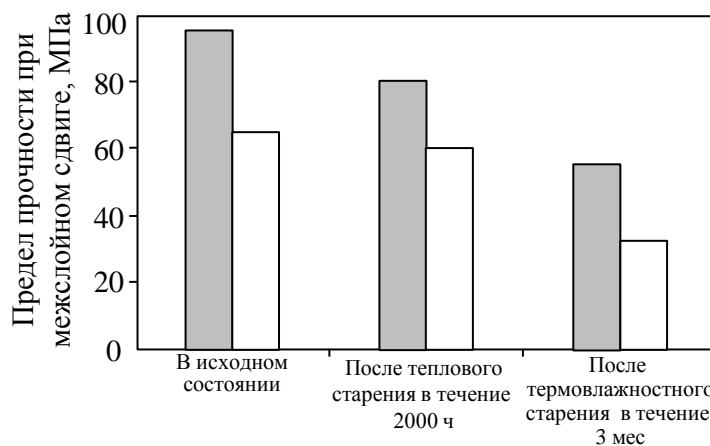


Рис. 1. Прочность при межслойном сдвиге стеклопластика ВПС-48/7781 после теплового и термовлажностного старения при температуре испытаний 20 (■) и 120°С (□)

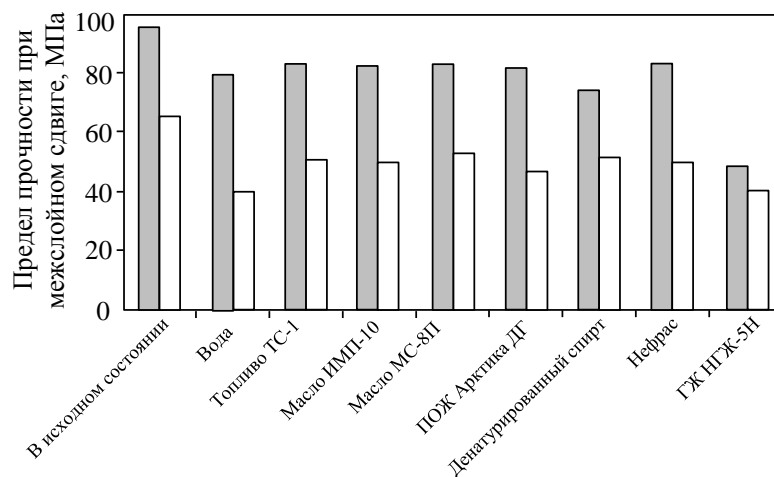


Рис. 2. Прочность при межслойном сдвиге стеклопластика ВПС-48/7781 после воздействия агрессивных сред при температуре испытаний 20 (■) и 120°C (□)

Полученные результаты наглядно демонстрируют, что разработанные стеклопластики обладают высоким уровнем упруго-прочностных характеристик, в том числе в условиях воздействия повышенных температур, влажности и агрессивных сред, что в значительной мере связано с использованием связующих расплавного типа. Установлено, что сохранение упруго-прочностных характеристик стеклопластиков после воздействия указанных эксплуатационных факторов составляет не менее 60% от исходных значений [12].

### Заключение

Стеклопластики ВПС-48/7781 и ВПС-48/120 не уступают по своим характеристикам стеклопластикам зарубежных производителей, например, марок M21/37%/7581 и M21/45%/120 фирмы Hexcel (США) и найдут применение при изготовлении средненагруженных деталей перспективных изделий авиационной техники. В настоящее время стеклопластики ВПС-48/7781 и ВПС-48/120 проходят квалификационные испытания для применения в конструкции мотогондолы двигателя ПД-14.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Аврасин Я.Д., Бородин М.Я., Киселев Б.А. Стеклопластики в авиастроении //Авиационная промышленность. 1982. №8. С. 80–84.
2. Нелюб В.А. Технологии получения препрегов //Все материалы. Энциклопедический справочник. 2013. №3. С. 12–18.
3. Давыдова И.Ф., Кавун Н.С. Стеклопластики в конструкциях авиационной и ракетной техники //Стекло и керамика. 2012. №4. С. 1–7.

4. Давыдова И.Ф., Кавун Н.С. Стеклопластики – многофункциональные композиционные материалы //Авиационные материалы и технологии. 2012. №S. С. 253–260.
5. Поляков М. Зеленая химия: очередная промышленная революция //Химия и жизнь. 2004. №6. С. 2–12.
6. Каблов Е.Н. Материалы и химические технологии для авиационной техники //Вестник Российской академии наук. 2012. Т. 82. №6. С. 520–530.
7. Каблов Е.Н. Инновационные разработки ФГУП «ВИАМ» ГНЦ РФ по реализации «Стратегических направлений развития материалов и технологий их переработки на период до 2030 года» //Авиационные материалы и технологии. 2015. №1 (34). С. 3–33.
8. Тимошков П.Н., Коган Д.И. Современные технологии производства полимерных композиционных материалов нового поколения //Труды ВИАМ. 2013. №4 (viam-works.ru).
9. Хрульков А.В., Григорьев М.М. Эволюция материала вертолетной лопасти: от крахмаленной ткани и дерева к металлу и композиту //Новости материаловедения. Наука и техника. 2015. №2 (14) (materialsnews.ru).
10. Мухаметов Р.Р., Ахмадиева К.Р., Чурсова Л.В., Коган Д.И. Новые полимерные связующие для перспективных методов изготовления конструкционных волокнистых ПКМ //Авиационные материалы и технологии. 2011. №2. С. 38–42.
11. Каблов Е.Н. Химия в авиационном материаловедении //Российский химический журнал. 2010. Т. LIV. №1. С. 3–4.
12. Соколов И.И., Вавилова М.И. Конструкционные стеклопластики на основе расплавных связующих и тканей Porcher //Новости материаловедения. Наука и техника. 2013. №5. Ст. 02 (materialsnews.ru).

#### REFERENCES LIST

1. Avrasin Ja.D., Borodin M.Ja., Kiselev B.A. Stekloplastiki v aviastroenii [Fibreglasses in aircraft industry] //Aviacionnaja promyshlennost'. 1982. №8. S. 80–84.
2. Neljub V.A. Tehnologii poluchenija prepregov [Technologies of receiving prepregs] //Vse materialy. Jenciklopedicheskij spravochnik. 2013. №3. S. 12–18.
3. Davydova I.F., Kavun N.S. Stekloplastiki v konstrukcijah aviacionnoj i raketnoj tehniki [Fibreglasses in designs aviation and rocketry] //Steklo i keramika. 2012. №4. S. 1–7.
4. Davydova I.F., Kavun N.S. Stekloplastiki – mnogofunktional'nye kompozicionnye materialy [Fibreglasses – multifunction composite materials] //Aviacionnye materialy i tehnologii. 2012. №S. S. 253–260.

5. Poljakov M. Zelenaja himija: ocherednaja promyshlennaja revoljucija [Green chemistry: next industrial revolution] //Himija i zhizn'. 2004. №6. S. 2–12.
6. Kablov E.N. Materialy i himicheskie tehnologii dlja aviacionnoj tehniki [Materials and chemical technologies for aviation engineering] //Vestnik Rossijskoj akademii nauk. 2012. T. 82. №6. S. 520–530.
7. Kablov E.N. Innovacionnye razrabotki FGUP «VIAM» GNC RF po realizacii «Strategicheskikh napravlenij razvitija materialov i tehnologij ih pererabotki na period do 2030 goda» [Innovative development of VIAM Federal State Unitary Enterprise of GNTs Russian Federation on implementation «The strategic directions of development of materials and technologies of their processing for the period till 2030»] //Aviacionnye materialy i tehnologii. 2015. №1 (34). S. 3–33.
8. Timoshkov P.N., Kogan D.I. Sovremennye tehnologii proizvodstva polimernyh kompozicionnyh materialov novogo pokolenija [Modern production technologies of polymeric composite materials of new generation] //Trudy VIAM. 2013. №4 (viam-works.ru).
9. Hrul'kov A.V., Grigor'ev M.M. Jevoljucija materiala vertoletnoj lopasti: ot nakrahmalennoj tkani i dereva k metallu i kompozitu [Evolution of material of the helicopter blade: from the starched fabric and tree to metal and composite] //Novosti materialovedenija. Nauka i tehnika. 2015. №2 (14) (materialsnews.ru).
10. Muhametov R.R., Ahmadijeva K.R., Chursova L.V., Kogan D.I. Novye polimernye svjazujushhie dlja perspektivnyh metodov izgotovlenija konstrukcionnyh voloknistyh PKM [New polymeric binding for perspective methods of manufacturing of constructional fibrous PKM] //Aviacionnye materialy i tehnologii. 2011. №2. S. 38–42.
11. Kablov E.N. Himija v aviacionnom materialovedenii [Chemistry in aviation materials science] //Rossijskij himicheskij zhurnal. 2010. T. LIV. №1. S. 3–4.
12. Sokolov I.I., Vavilova M.I. Konstrukcionnye stekloplastiki na osnove rasplavnyh svjazujushhij i tkanej Porcher [Constructional fibreglasses on the basis of molten binding and Porcher fabrics] //Novosti materialovedenija. Nauka i tehnika. 2013. №5. St. 02 (materialsnews.ru).