

УДК 678.8

А.С. Колобков<sup>1</sup>

## ПОЛИМЕРНЫЕ КОМПОЗИЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ РАЗЛИЧНЫХ КОНСТРУКЦИЙ АВИАЦИОННОЙ ТЕХНИКИ (обзор)

DOI: 10.18577/2307-6046-2020-0-67-38-44

*В статье приводится описание новых, разработанных за последнее время во ФГУП «ВИАМ», полимерных композиционных материалов, применяющихся в различной авиационной технике, с использованием разнообразных армирующих наполнителей и полимерных связующих. Эти разработки связаны с развитием нового технологического уклада, появлением новых требований к авиационным изделиям и повышением требований к уже существующим, что в свою очередь формирует определенные требования к материалам. Представлены также марки материалов, области их применения и температуры эксплуатации.*

**Ключевые слова:** углепластик, стеклопластик, органопластик, связующее, полимерные композиционные материалы, высокотемпературные углепластики.

A.S. Kolobkov<sup>1</sup>

## POLYMER COMPOSITE MATERIALS FOR VARIOUS AIRCRAFT STRUCTURES (review)

*The article describes the new polymer composite materials developed recently in FSUE «VIAM», which are used in various aviation equipment, using a variety of reinforcing fillers and polymer binders. These developments are associated with the development of a new technological structure, the emergence of new requirements for aviation products and increasing requirements for existing ones, which in turn creates certain requirements for materials. The brands of materials, their application areas and operating temperatures are also presented.*

**Keywords:** carbon fiber, fiberglass, organoplastics, binder, polymer composite materials, high-temperature carbon fiber plastics.

---

<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

В связи с развитием научно-технического прогресса и формированием шестого технологического уклада появляются новые требования к перспективным изделиям, которые не могут быть удовлетворены при использовании материалов предыдущих поколений. Для успешного выхода на новый уровень развития техники необходимо решить проблему, связанную с потребностями в новых материалах. Это в свою очередь позволит обеспечить конкуренто- и обороноспособность страны на протяжении последующих примерно 50–60 лет и осуществить плавный переход в следующий технологический уклад [1], который должен положительно отразиться на развитии различных отраслей промышленности.

На сегодняшний день полимерные композиционные материалы (ПКМ) используются уже во многих отраслях промышленности благодаря доступности сырья

и накопленному опыту их применения. Это в свою очередь позволило разработать и создать необходимое оборудование для их переработки в изделия и дальнейшего внедрения [2–4]. Соответственно, внедрение новых материалов главным образом будет зависеть от конструкторов, которые смогут наилучшим образом заменить традиционные материалы новыми разработками с лучшими свойствами.

Благодаря основному преимуществу ПКМ перед металлами – высоким удельной прочности и модулю упругости при значительно меньшей плотности [5], наблюдается неизменная тенденция – замена различных элементов авиационной техники из металлов на элементы из разнообразных композиционных материалов. Данная тенденция связана с повышением экологических норм и, соответственно, экономической эффективности летательных аппаратов. При этом накопление опыта использования угле-, стекло- и органопластиков позволяет постепенно расширять границы их применения.

На данный момент Боинг 787 Dreamliner – яркий пример того, где больше половины деталей выполнены из композиционных материалов. Этот самолет имеет более высокий КПД по сравнению с предыдущим аналогом и более низкий расход топлива. В российской авиации таким примером может служить МС-21.

Согласно общемировым трендам, для формирования соответствующих научно-технических заделов во ФГУП «ВИАМ» идут систематическое обновление и развитие приборной базы, предназначенной для исследований, разработки и производства новых материалов, обеспечивающих достижение авиационной техникой необходимых параметров [6, 7]. В то же время параллельно происходят освоение новых технологий, совершенствование системы качества и получение уникальных компетенций, направленных на снижение зависимости от импортных материалов [8]. Все перечисленные действия направлены на улучшение характеристик новых разрабатываемых материалов, повышение их конкурентоспособности и технологичности.

Работа выполнена в рамках реализации комплексной научной проблемы 13.2. «Конструкционные ПКМ» («Стратегические направления развития материалов и технологий их переработки на период до 2030 года») [9].

### Стеклопластики

Одними из самых распространенных полимерных композиционных материалов, которые широко представлены во ФГУП «ВИАМ», являются стеклопластики. На сегодняшний день их разработано более 60 марок.

Как известно, ПКМ, изготовленные на основе стеклонаполнителей, имеют разное назначение за счет электроизоляционных свойств (в частности, защита от коррозии), а также радиотехническое (например, для обеспечения радиопрозрачности обтекателей самолетов) и конструкционное назначение [10, 11].

Для производства стеклопластиков радиотехнического назначения в Ульяновском филиале ФГУП «ВИАМ» на специальной площадке, исключающей попадание электропроводящих материалов, в том числе углеродной пыли, создано производство материалов КМКС – клеевых препрегов стеклопластиков. Препреги КМКС изготавливаются на основе полимерных связующих марок ВСК-14-1, ВСК-14-2 и ВСК-14-4, обеспечивающих работоспособность стеклопластиков в интервале температур от -60 до +175 °С. Эти материалы подходят для изготовления сотовых конструкций автоклавным методом формования за один цикл, что позволяет снизить затраты на производство изделий с сотовым наполнителем.

На сегодняшний день на основе негорючего клеевого связующего марки ВСК-14-6 разработан новый стеклопластик ВПС-68 для панелей пола самолета, который учитывает требования пожарной безопасности АП-25 [12]. В паре с этим стеклопластиком

разработан и углепластик ВКУ-59, также изготовленный на основе связующего марки ВСК-14-6, которое обеспечивает выполнение требований пожарной безопасности согласно АП-25. При разработке данных материалов учтены возможные нагрузки на панели пола самолета: перемещение пассажиров в различной обуви, провоз тележек. Планируется, что стеклопластик ВПС-68 и углепластик ВКУ-59 будут использоваться совместно при производстве панелей пола самолетов по прессовой технологии.

### Углепластики

Применение углепластиков в современных и перспективных самолетах выгодно с точки зрения экономии массы конструкции, особенно для узлов и деталей, масса которых в свою очередь определяется в значительной степени требованиями жесткости, чем прочности. Наибольшее распространение в мире получили углепластики, изготовленные на основе эпоксидных полимерных матриц.

В настоящее время из-за отсутствия в России производства полного цикла собственного углеродного волокна необходимо найти замену ушедшим с рынка ранее доступным углеродным армирующим наполнителям. Для этого проведен поиск материалов и с 2017 г. во ФГУП «ВИАМ» открыто новое направление – разработка и производство углеродных тканей [13]. Кроме того, в Воскресенском экспериментально-технологическом центре запущен участок по их изготовлению, производственная мощность которого составляет до 60000 м<sup>2</sup>/год.

Ассортимент тканых углеродных армирующих наполнителей, разработанных институтом, включает в себя 11 наименований тканей с поверхностной плотностью от 200 до 600 г/м<sup>2</sup>: это как однонаправленные полотна с редким утком, так и равнопрочные саржевые ткани (рис. 1). В первую очередь данное производство направлено на обеспечение внутренних потребностей ФГУП «ВИАМ» для изготовления препрегов. В то же время всегда есть возможность осуществить поставку углеродных тканей, как уже разработанных марок, так и специальных, по требованиям заказчиков.

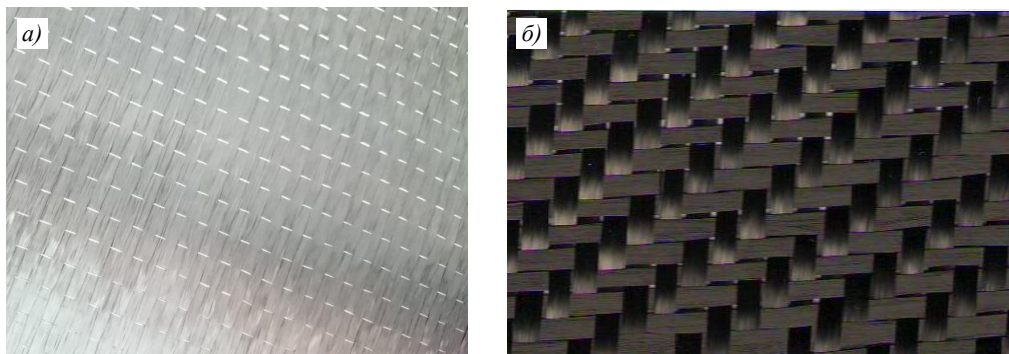


Рис. 1. Углеродные ткани производства ФГУП «ВИАМ» (200 г/м<sup>2</sup>):  
*a* – марки VTkU-3 полотняного плетения; *б* – марки VTkU-2.200 саржевого плетения

Разработанные ткани применяются для получения конструкционных, высокотемпературных углепластиков и для изготовления полимерных композиционных оснасток.

Основной тенденцией развития авиационной техники, направленной на повышение весовой эффективности, как было отмечено ранее, является постепенная замена металлических изделий на композитные. Для этого во ФГУП «ВИАМ» налажен и осуществляется серийный выпуск препрегов с применением различных связующих: эпоксидных, фенолформальдегидных, цианатэфирных и полиимидных. Кроме препрегов, изготовленных на тканых армирующих наполнителях шириной 1000 мм, освоена

технология производства лент препрегов на жгутовом наполнителе, включая углепластики ВКУ-25 и ВКУ-28 для автоматизированной выкладки лентами шириной от 6,35 до 150 мм. Производимые однонаправленные ленты препрегов предназначены в первую очередь для высоконагруженных ответственных конструкций авиационной техники.

Единственный агрегат летательного аппарата, в котором композиты пока используются мало, – это реактивные двигатели, самая тяжелая и громоздкая часть самолета, за снижение массы которой в мире идет настоящая война технологий. В гражданской авиации, например, компания General Electric первой успешно применила в двигателе для Boeing 777 композитные лопасти, которые были легче аналогичных из титана.

Для изготовления высоконагруженных конструкций разработана целая серия углепластиков на основе высокодеформативного эпоксидного связующего марки ВСЭ-1212, которые применяются в деталях мотогондолы двигателя ПД-14 (рис. 2): ВКУ-25/SYT49S, ВКУ-28/SYT55, ВКУ-29/ВТКУ-3, ВКУ-39/ВТКУ-2.200 и ВКУ-39/ВТКУ-2.280. В частности, из этих материалов изготавливают: обшивку газогенератора, створки капота мотогондолы, реверсивное устройство, воздухозаборник. Благодаря использованию современного связующего и расплавной технологии изготовления препрегов на его основе получены высокотехнологичные материалы, обеспечивающие стабильность свойств в конечных изделиях, а продолжительная жизнеспособность позволяет проводить выкладку технологического пакета для формования в необходимые сроки [14, 15].



Рис. 2. Двигатель ПД-14

Кроме материалов, изготовленных на основе эпоксидного связующего марки ВСЭ-1212, разработаны полимерные композиционные материалы для элементов механизации, обладающие технологическим преимуществом. Для повышения технико-экономических показателей при изготовлении серийных изделий разработаны эпоксидное связующее марки ВСЭ-34 и материалы на его основе: препреги марок ВПС-53/120 и ВКУ-45. Ключевой особенностью данных материалов является пониженная температура переработки (140 °С), что позволяет снизить энергозатраты при формовании деталей и уменьшить трудоемкость при изготовлении трехслойных сотовых конструкций. Углепластики, изготовленные на основе связующего марки ВСЭ-34, предназначены в первую очередь для элементов механизации авиационной техники.

В настоящее время в России и за рубежом особое внимание уделяется высокотемпературным ПКМ (до 230–350 °С), в частности углепластикам, изготовленным на основе полиимидных, бисмалеимидных, фталонитрильных, фенолтриазиновых и других связующих. Одним из наиболее перспективных направлений решения задачи создания полимерных материалов для работы при температурах от 200 °С и более

является получение связующего с помощью реакции полициклотримеризации мономеров, содержащих две и более функциональные группы с кратными связями между гомо- и гетероатомами, которая приводит к образованию сшитой трехмерной структуры с одинаковыми межузловыми фрагментами и устойчивыми шестичленными ароматическими карбо- и гетероциклами в качестве узлов полимерной сетки [16].

В период с 2013 по 2014 г. разработанный метод синтеза триазинсодержащего полимера позволил получать его в виде высоковязкой смолообразной массы, хорошо растворимой в кетонах, сложных эфирах, спиртах, ароматических углеводородах. С использованием цианового эфира бисфенола А разработан ряд полициануратных связующих марок ВСТ-1208, ВСТ-1210, ВСЦ-14, ВСТ-32, которые перерабатываются по современным препреговым и инфузионным технологиям и обеспечивают работоспособность ПКМ до 200 °С.

Из-за высоких температур отходящих выхлопных газов силовых установок существует проблема, связанная с прогоранием панелей кожухов. Для ее решения разработаны специальные материалы, учитывающие этот фактор и обеспечивающие защиту от прогорания. К ним относятся углепластики марок ВКУ-42 и ВКУ-48, разработанные на основе цианатэфирных связующих, позволяющих изготавливать огнезащитные панели по автоклавной и инфузионной технологиям. Отверждение этих материалов протекает без выделения каких-либо низкомолекулярных продуктов реакции, что дает возможность получать монолитные матрицу и ПКМ на ее основе, обеспечивая при этом их высокие механические и эксплуатационные свойства.

Следует отметить, что данные материалы обладают работоспособностью при температуре от -60 до +200 °С и стойки к прогоранию при температуре 1100 °С в течение 15 мин. Благодаря этому появилась возможность создавать облегченные защитные перегородки, выполняющие роль несущих нагрузку конструкций. Такой подход может привести к существенному снижению массы авиационной техники.

Полимерные композиционные материалы используются не только в элементах планера и его силовых конструкций, ведутся работы по применению ПКМ и в деталях авиационного двигателя, а именно – для изготовления рабочего колеса центробежного компрессора. Данное решение позволит сократить трудоемкость при производстве изделия сложной геометрической конфигурации из металла и облегчить сам двигатель. Применение ПКМ в двигателестроении ограничено тем, что их нельзя сильно нагревать. Для преодоления этого ограничения разработан углепластик марки ВКУ-38, изготовленный на основе фталонитрильного связующего марки ВСН-31, материал которого способен работать несколько сотен часов при температуре 300 °С при высоких нагрузках [17]. Особенность данного материала заключается в том, что при варьировании температуры и времени дополнительной термообработки получаемого углепластика можно добиться увеличения его термостойкости. Так, например, фталонитрильные связующие, доотвержденные при температуре 480 °С в инертной среде, выдерживают кратковременный нагрев до 538 °С.

Кроме как в элементах самого двигателя, применение высокотемпературного углепластика предполагается и в других теплонагруженных частях авиационных конструкций. Однако из-за стойкости углепластика ВКУ-38 к горению и прогоранию он также может использоваться для изготовления огнезащитных перегородок, например в судах различного назначения для повышения их живучести, благодаря повышению пожаробезопасности и исключению распространения открытого пламени.

### Органопластики

Кроме разработки привычных угле- и стеклопластиков, во ФГУП «ВИАМ» ведется направление по получению органопластиков с применением различных арамидных волокон и связующих [18]. Одной из последних является разработка органопластика нового

поколения, изготовленного на основе арамидных волокон Русар-НТ, которые являются нейтральными, не создают кислую среду, следовательно, не вызывают коррозию металлов. Материал из волокна Русар-НТ – органопластик ВКО-24, предназначен для обеспечения эксплуатационной надежности силовых элементов конструкций, работающих в условиях критически-растягивающих нагрузок. Данный материал применяется также при изготовлении торсионов рулевого винта вертолета. Его отличительной особенностью является высокая стойкость к воздействию атмосферной влаги благодаря использованию в его составе расплавленного связующего и арамидных волокон нового поколения. Влагопоглощение органопластика ВКО-24 составляет примерно 1,1% и находится на уровне значений современных углепластиков, а если учитывать, что в изделиях композиционные материалы применяются с лакокрасочными покрытиями, то действие влаги значительно снижается [19], что в свою очередь приводит к сохранению свойств органопластика >70%.

Важно отметить, что при постепенном развитии данного направления, включающего в себя использование новых расплавленных полимерных связующих и нейтральных арамидных волокон Русар-НТ, перспективы применения органопластиков расширятся благодаря значительному снижению влияния влаги на механические свойства в конечных изделиях.

### Заключения

Постепенное накопление статистики по изучению поведения полимерных композиционных материалов в различных условиях позволяет совершенствовать, расширять область их применения и прогнозировать изменение характеристик. Так, например, новый органопластик ВКО-24, разработанный с учетом накопленного опыта, по влагопоглощению и сохранению свойств после термовлажностного старения находится практически на одном уровне с углепластиковыми.

При этом с появлением новых подходов к проектированию деталей авиационной техники из ПКМ и развитием технологий их переработки в изделия расширяются возможности по замене традиционных металлических материалов композиционными, что уже сейчас можно видеть на примере разработанной серии углепластиков ВКУ-29/SYT-55 и ВКУ-29/ВТкУ-2.200, используемых в производстве мотогондолы двигателя ПД-14.

### Благодарности

Автор выражает благодарность за предоставленные сведения о рассматриваемых в статье полимерных композиционных материалах сотрудникам ФГУП «ВИАМ»: К.Р. Ахмадиевой, М.И. Валуевой, И.Н. Гуляеву, Г.Ф. Железиной, И.В. Зелениной, Г.С. Кулагиной, К.Е. Куцевичу, Р.Р. Мухаметову, А.М. Сафронову, А.И. Сидориной, Н.А. Соловьевой, А.И. Старкову, Т.Ю. Тюменевой, Р.Х. Хайретдинову, М.Б. Хине, а также Л.А. Дементьевой и А.А. Сереженкову.

### Библиографический список

1. Каблов Е.Н. Шестой технологический уклад // Наука и жизнь. 2010. №4. С. 2–7.
2. Борщев А.В., Гусев Ю.А. Полимерные композиционные материалы в автомобильной промышленности // Авиационные материалы и технологии. 2014. №S2. С. 34–38. DOI: 10.18577/2071-9140-2017-0-s2-34-38.
3. Кочуров Д.В. Высокопрочные полимерные композиционные материалы // Международный студенческий научный вестник. 2018. №5. URL: <http://eduherald.ru/article/view?id=19200> (дата обращения: 20.03.2020).

4. Бектуров К.Б., Зарипов Р.Ю., Медведев А.С., Каербек Д.З. Перспективы применения композиционных материалов в грузовом вагоностроении // Наука и техника Казахстана. 2017. №1–2. С. 25–33.
5. Молчанов Б.И., Гудимов М.М. Свойства углепластиков и области их применения // Авиационная промышленность. 1997. №3–4. С. 22–26.
6. Каблов Е.Н. ВИАМ: материалы нового поколения для ПД-14 // Крылья Родины. 2019. №7–8. С. 54–58.
7. Каблов Е.Н., Чурсова Л.В., Бабин А.Н., Мухаметов Р.Р., Панина Н.Н. Разработки ФГУП «ВИАМ» в области расплавных связующих для полимерных композиционных материалов // Полимерные материалы и технологии. 2016. Т. 2. №2. С. 37–42.
8. Раскутин А.Е. Российские полимерные композиционные материалы нового поколения, их освоение и внедрение в перспективных разрабатываемых конструкциях // Авиационные материалы и технологии. 2017. №S. С. 349–367. DOI: 10.18577/2071-9140-2017-0-S-349-367.
9. 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. DOI: 10.18577/2071-9140-2015-0-1-3-33.
10. Давыдова И.Ф., Кавун Н.С. Стеклопластики – многофункциональные композиционные материалы // Авиационные материалы и технологии. 2012. №S. С. 253–260.
11. Давыдова И.Ф., Каблов Е.Н., Кавун Н.С. Термостойкие негорючие полиимидные стеклотекстолиты для изделий авиационной и ракетной техники // Все материалы. Энциклопедический справочник. 2009. №7. С. 2–11.
12. Нормы летной годности самолетов транспортной категории: АП-25: утв. Постановлением 28-й сессии Совета по авиации и использованию воздушного пространства 11.12.2008. 3-е изд. с поправками 1–6. М.: Авиаиздат, 2009. 267 с.
13. Гуляева А.Г., Сидорина А.И., Курносов А.О., Клименко О.Н. Полимерные композиционные материалы нового поколения на основе связующего ВСЭ-1212 и наполнителей, альтернативных наполнителям фирм Porcher Ind. и Toho Tenax // Авиационные материалы и технологии. 2018. №3 (52). С. 18–26. DOI: 10.18577/2071-9140-2018-0-3-18-26.
14. Мишуров К.С., Мишкин С.И. Влияние внешней среды на свойства углепластика ВКУ-39 // Труды ВИАМ: электрон. науч.-техн. журн. 2016. №12 (48). Ст. 08. URL: <http://www.viam-works.ru> (дата обращения: 10.07.2019). DOI: 10.18577/2307-6046-2016-0-12-8-8.
15. ПД-14: пять фактов о новом российском двигателе. URL: <https://rostec.ru/news/pd-14-pyat-faktov-o-novom-rossiyskom-dvigatеле/> (дата обращения: 10.03.2020).
16. Меркулова Ю.И., Мухаметов Р.Р., Долгова Е.В., Ахмадиева К.Р. Полициануратное связующее для получения композитов пропиткой под давлением // Труды ВИАМ: электрон. науч.-техн. журн. 2016. №11 (47). Ст. 05. URL: <http://www.viam-works.ru> (дата обращения: 11.04.2020). DOI: 10.18577/2307-6046-2016-0-11-5-5.
17. Зеленина И.В., Гуляев И.Н., Кучеровский А.И., Мухаметов Р.Р. Термостойкие углепластики для рабочего колеса центробежного компрессора // Труды ВИАМ: электрон. науч.-техн. журн. 2016. №2 (38). Ст. 08. URL: <http://www.viam-works.ru> (дата обращения: 11.04.2020). DOI: 10.18577/2307-6046-2016-0-2-8-8.
18. Железина Г.Ф., Войнов С.И., Черных Т.Е., Черных К.Ю. Новые арамидные волокна Русар-НТ для армирования конструктивных органических полимеров // Вопросы материаловедения. 2015. №1 (81). С. 60–72.
19. Железина Г.Ф., Гуляев И.Н., Соловьева Н.А. Арамидные органические полимерные материалы нового поколения для авиационных конструкций // Авиационные материалы и технологии. 2017. №S. С. 368–378. DOI: 10.18577/2071-9140-2017-0-S-368-378.