

УДК 665.939.5

А.И. Старков¹, К.Е. Куцевич¹, Т.Ю. Тюменева¹

**РАЗРАБОТКА КОМПОЗИЦИОННОГО МАТЕРИАЛА КЛЕЕВОГО
НА ОСНОВЕ АЛЬТЕРНАТИВНОГО УГЛЕРОДНОГО
ЖГУТОВОГО НАПОЛНИТЕЛЯ МАРКИ UMT49S-12K-EP
И КЛЕЕВОГО СВЯЗУЮЩЕГО МАРКИ VSK-14-3**

DOI: 10.18577/2307-6046-2020-0-67-62-71

Представлены результаты испытаний основных физико-механических свойств полимерного композиционного материала (ПКМ) клеевого на основе клеевого связующего марки VSK-14-3 с теплостойкостью 150 °С и отечественного альтернативного однонаправленного высокопрочного жгутового углеродного наполнителя, предназначенного для изготовления деталей конструкционного назначения (в том числе сотовых конструкций) за один технологический цикл формования обшивки и склеивания с сотовым наполнителем, работающих в интервале температур от -60 до +150 °С, с целью развития отечественного рынка ПКМ для поддержания глобальной конкурентоспособности, а также независимости от западных производителей. В статье содержатся сведения об особенностях технологического процесса изготовления элементов конструкций из полимерных композиционных материалов на основе клеевых связующих.

Ключевые слова: клеевое связующее, углеродный жгутовой наполнитель, клеевые препреги, углепластик, полимерные композиционные материалы, прочностные характеристики, автоматизированная выкладка, метод автоматизированной выкладки лент (препрегов).

А.И. Starkov¹, К.Е. Kutsevich¹, Т.Ю. Tyumeneva¹

**DEVELOPMENT OF ADHESIVE COMPOSITE MATERIAL
BASED ON UMT49S-12K-EP ALTERNATIVE CARBON
FILLER AND VSK-14-3 ADHESIVE BINDER**

This article presents the results of the tests of basic physical and mechanical properties of adhesive polymer composite material (PCM) based on VSK-14-3 adhesive binder with heat resistance of 150 °C and a domestic alternative unidirectional high-strength carbon filler used for production of structural parts (including honeycomb structures) in one technological cycle of sheathing molding and gluing with honeycomb layer, designed for operation in the temperature range from minus 60 to plus 150 °C, with the aim of developing the domestic PCM market to maintain global competitiveness as well as increasing independence from western producers. The article contains information about the features of the technological production process of structural elements from polymer composite materials based on adhesive binders.

Keywords: adhesive binder, carbon filler, adhesive prepregs, carbon fiber, polymer composite materials, strength characteristics, automated lay-out, method of automated tare laying (prepregs).

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

Авиация и авиастроение представляют собой высокоразвитый раздел в экономике государства, который вносит значительный вклад в увеличение валового внутреннего продукта (ВВП), используя при этом в своей деятельности наукоемкие технологии и продукцию – в частности, высокоэффективные материалы и передовые производственные технологии их получения.

Главными целевыми ориентирами стратегии развития ОАО «Объединенная авиастроительная корпорация» (ОАО «ОАК») являются разработка и производство самолетов, а также достижение и удержание долгосрочной конкурентоспособности авиастроительного комплекса России на глобальном рынке авиационной техники. Для достижения целевых ориентиров в области военной авиации главная задача для ОАО «ОАК» – сделать возможным создание и серийное производство воздушных судов исключительно на основе внутренних производственных мощностей изготовления продукции путем использования отечественных разработок. При этом важно создавать материалы, учитывая использование компонентов внутрирыночного производства и сохраняя при этом независимость от западных производителей [1–3].

Одной из важнейших целей в стратегическом направлении развития материалов для различных отраслей промышленности и технологий их переработки на долгосрочный период (до 2030 г.) является обеспечение мирового уровня и глобальной конкурентоспособности российских материалов и технологий [4].

В перспективных направлениях по развитию науки и техники в XXI в. важную роль играет отрасль полимерных композиционных материалов (ПКМ). При этом вектор развития ПКМ на мировом рынке направлен на исследование армирующих компонентов, связующих для ПКМ и технологий их переработки, что в первую очередь влияет на развитие и производство высокотехнологичной, наукоемкой продукции со значительной частью инновационной составляющей [5]. Тенденция по увеличению применения в современном самолетостроении полимерных композиционных материалов взамен традиционных металлов и сплавов обусловлена уникальными свойствами ПКМ: высокими упруго-прочностными характеристиками в сочетании с низкой плотностью, неподверженностью коррозии, широкими возможностями переработки, высокими диэлектрическими свойствами. При этом за счет использования ПКМ в авиастроении существенно снижается весовая нагрузка конструкции планера, увеличиваются ее живучесть и ресурс, снижаются затраты на производство и эксплуатацию воздушных судов [6, 7].

Производство ПКМ нового поколения – одно из самых быстро развивающихся в мире направлений, имеющее существенное значение при интенсификации ВВП в каждом регионе мира. Если в конструкции современных самолетов различных модификаций, разработанных ранее, объемы применения ПКМ составляли не более 11%, то в настоящее время при проектировании изделий новой техники (рис. 1) предусматривается более широкое использование этих материалов – до 25–50%. В частности, в конструкциях планеров Airbus A350 XWB и Boeing 787 объем применения ПКМ составляет >50% [8, 9].

Наиболее широкий потенциальный рынок среди ПКМ имеют углепластики, при производстве которых в качестве армирующих наполнителей используют углеродные волокнистые материалы различных текстильных форм, а также высокопрочные углеродные жгуты [10].

В последнее время при разработке полимерных композиционных материалов нашли большое применение клеевые препреги, в которых пропитку тканевого наполнителя (стеклоткань, углеродная ткань) осуществляют расплавом эпоксидного клеящего связующего по безрастворной технологии [11].



Рис. 1. Конструкция современного самолета

ФГУП «ВИАМ» обладает широкой номенклатурой разработанных конструкционных композиционных материалов клеевых (КМК), которые находятся в строгой зависимости от используемых компонентов, входящих в их состав, и отличаются значительным спектром свойств.

Применение КМК, разработанных во ФГУП «ВИАМ», позволило оптимизировать технологию сборки клееных высоконагруженных сотовых и слоистых конструкций из неметаллических материалов, которая была доступна только с использованием метода отдельного формования. Так, за счет использования препрегов с увеличенным содержанием клеевого связующего стало возможным производить формование обшивки с одновременным приклеиванием ее к сотовому наполнителю. При этом, помимо снижения трудоемкости в паре и увеличения производительности, такая технология существенно повысила ресурс, живучесть и герметичность клееных конструкций, а также увеличила весовую эффективность [12, 13].

Во ФГУП «ВИАМ» разработан и успешно внедрен в производство клеевой препрег марки КМКУ-3м.150.P14535 с прочностью при растяжении не менее 1400 МПа на основе однонаправленной углеродной ленты артикула 14535 полотняного плетения фирмы Porcher Industries (Франция) и безрастворного клеевого связующего марки ВСК-14-3, который нашел применение при производстве сложных, крупногабаритных деталей наружных обшивок панелей крыла и средней части фюзеляжа, а также деталей горизонтального оперения летательных аппаратов российской компании ПАО «Компания «Сухой» [14].

В связи с недоступностью поставок углеродных волокон марки HTS45 E23 12K фирмы Toho Tenax (Токио, Япония) на территорию Российской Федерации, которые используются в качестве основы при производстве углеродной ленты артикула 14535 фирмы Porcher Industries, возникла необходимость их замены на альтернативные волокна, с учетом сырьевой и ресурсной возможности внутреннего рынка, имеющие аналогичные свойства.

В целях осуществления независимости по использованию углеродных армирующих наполнителей ряда зарубежных фирм составлено техническое задание (ТЗ) по разработке технологии изготовления препрегов на основе альтернативных углеродных наполнителей и связующих российского производства.

В данной статье представлены результаты основных физико-механических характеристик разработанного ПКМ по реализации ТЗ в условиях опытно-промышленного производства ФГУП «ВИАМ». Показаны результаты лабораторных климатических испытаний в сопоставлении с разработанным ранее углепластиком марки ВКУ-30К.P14535. Рассмотрена возможность применения разработанного ПКМ при изготовлении деталей методом автоматизированной выкладки лент (препрегов) – Automated Tape Laying (ATL).

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»).

Материалы и методы

Применение современных пропиточных линий при производстве ПКМ позволяет обеспечивать содержание связующего в препрегах в пределах $\pm 3\%$, что реализуется точностью технологических узлов оборудования, приводящей к снижению разброса по его содержанию [15].

На производственных мощностях ФГУП «ВИАМ» (установка Coatema VL-2800 – рис. 2) проведена отработка технологических режимов изготовления клеевых препрегов марки КМКУ-3м.150.УМТ49 с различным содержанием связующего марки ВСК-14-3: $(39\pm 2)\%$ – для монолитных конструкций, $(63\pm 2)\%$ – для сотовых конструкций, с целью обеспечения содержания связующего в препреге, отличающегося не более чем на $\pm 2\%$ от номинальной величины, и получения препрегов надлежащего качества (без видимых дефектов – перетяжки, раздвижки волокон).



Рис. 2. Установка по изготовлению калиброванных прецизионных препрегов Coatema VL-2800 (Германия)

В данной статье использованы следующие нормативные документы: ГОСТ 25.601–80, ГОСТ 25.602–80, ГОСТ 25.604–82, ГОСТ 15139–69, ГОСТ 9.707–81, РД 50-675–88 [16–21].

Лабораторные тепловлажностные испытания образцов проводили по ГОСТ 9.707–81 путем экспозиции в автоматических климатических камерах фирмы Climats (Москва, Россия) при температуре $60\text{ }^{\circ}\text{C}$ и относительной влажности $\varphi=85\%$.

Результаты и обсуждение

По результатам предварительных испытаний подготовлены и оформлены изменения к ряду нормативных документов на разрабатываемый материал. Оформлено изменение №4 к техническим условиям на клеевой препрег ТУ1-595-14-1304–2012 «Препреги клеевые марок КМКУ-3м.150.Р14535 и КМКУ-3м.150.УМТ49».

Основные требования ТЗ к клеевому препрегу марки КМКУ-3м.150.УМТ49 (ТУ1-595-14-1304–2012) и образцам из углепластика марки ВКУ-30К.УМТ49 на его основе представлены в табл. 1.

Таблица 1

**Основные свойства для клевого препрега марки КМКУ-3м.150.УМТ49
и для образцов из углепластика марки ВКУ-30К.УМТ49**

Свойства	Значения свойств по требованиям ТЗ для материала	
	КМКУ-3м.150.УМТ49.45	КМКУ-3м.150.УМТ49.65
Содержание клевого связующего в препреге, %	39±2	63±2
Прочность при сдвиге клевых соединений алюминиевого сплава Д16-АТ или Д19-АТ при температуре (20±2) °С, МПа (не менее)	–	20,0
Прочность при равномерном отрыве обшивки от сот из фольги АМг2Н (ячейка 2,5 мм) при температуре (20±2) °С, МПа (не менее)	–	3,9
Прочность углепластика при растяжении при температуре (20±2) °С, МПа (не менее)	1500	–
Прочность углепластика при сжатии при температуре (20±2) °С, МПа (не менее)	1050	–
Толщина монослоя, мм	0,14±0,1	

В рамках реализации ТЗ во ФГУП «ВИАМ» проведена работа по общей квалификации (паспортизации) углепластика конструкционного назначения марки ВКУ-30К.УМТ49, получаемого методом ручной или механизированной выкладки безуточного препрега с последующим формованием в автоклаве, из препрегов на основе отечественного высокопрочного углеродного жгутового наполнителя марки УМТ49S-12К фирмы UMATEX и клевого связующего марки ВСК-14-3 с определением комплекса свойств. Основные механические характеристики для образцов из данного углепластика, полученные по результатам проведенной паспортизации, представлены в табл. 2.

Таблица 2

Основные механические свойства (средние значения) для образцов из углепластика марки ВКУ-30К.УМТ49 при различных температурах испытаний

Свойства	Схема армирования	Значения свойств при температуре испытания, °С	
		+20	+150
Прочность при растяжении, МПа (ГОСТ 25.601–80)	[0] ₈	1780	1730
	[90] ₁₆	53	34
	[0/-45/90/+45] _{4s}	635	600
Модуль упругости при растяжении, ГПа (ГОСТ 25.601–80)	[0] ₈	127	133
Прочность при сжатии, МПа (ГОСТ 25.602–80)	[0] ₈	1225	895
	[90] ₁₆	275	200
	[0/-45/90/+45] _{4s}	500	470
Модуль упругости при сжатии, ГПа (ГОСТ 25.602–80)	[0] ₈	105	102
Прочность при изгибе, МПа (ГОСТ 25.604–82)	[0] ₈	2215	1625
	[90] ₁₆	100	60
	[0/-45/90/+45] _{4s}	920	770
Модуль упругости при изгибе, ГПа (ГОСТ 25.604–82)	[0] ₈	132	125
Прочность при межслойном сдвиге, МПа (РД 50-675–88)	[0] ₄₄	102	67

При анализе физико-механических свойств для образцов из углепластика марки ВКУ-30К.УМТ49 со схемами армирования $[0]_n$, $[90]_n$, $[0/-45/90/+45]_n$ выявлено, что сохранение значений прочности при температуре испытаний 150 °С составило:

- при растяжении – от 64 до 94%;
- при сжатии – от 73 до 94%;
- при статическом изгибе – от 60 до 84%;
- при межслойном сдвиге – 66%,

относительно значений при температуре 20 °С.

Проведено сравнение полученных свойств для углепластика марки ВКУ-30К.УМТ49 со свойствами для серийно применяемого углепластика марки ВКУ-30К.Р14535 на основе однонаправленной углеродной ленты артикула 14535 фирмы Porcher и безрастворного клеевого связующего марки ВСК-14-3 (табл. 3).

Таблица 3

Основные свойства (средние значения) для углепластика марки ВКУ-30К.УМТ49 в сравнении с углепластиком марки ВКУ-30К.Р14535 со схемой армирования $[0]_8$ при температуре испытания 20 °С

Свойства	Значения свойств для углепластика марки	
	ВКУ-30К.УМТ49	ВКУ-30К.Р14535*
Прочность при растяжении, МПа (ГОСТ 25.601–80)	1780	1700
Модуль упругости при растяжении, ГПа (ГОСТ 25.601–80)	127	121
Прочность при сжатии, МПа (ГОСТ 25.602–80)	1225	1130
Плотность, г/см ³ (ГОСТ 15139–73)	1,56	1,57
Прочность при изгибе, МПа (ГОСТ 25.604–82)	2215	2240
Прочность при межслойном сдвиге, МПа (РД 50-675–88)	102	105
Толщина монослоя, мм	0,13–0,14	0,14
Максимальная рабочая температура, °С	150	150
* Дополнение №8 на материал марки ВКУ-30К.Р14535 к паспорту №1689 на композиционный материал клеевой марки КМКУ-2м.120.Э0,1		

Установлено, что разработанный углепластик марки ВКУ-30К.УМТ49 по своим свойствам удовлетворяет требованиям ТЗ (прочность при растяжении при температуре 20 °С – не менее 1500 МПа; прочность при сжатии – не менее 1050 МПа; толщина монослоя (0,14±0,01) мм; максимальная рабочая температура 150 °С) и находится на уровне свойств для углепластика марки ВКУ-30К.Р14535. При этом по показателю прочности при сжатии углепластик марки ВКУ-30К.УМТ49 на 8% превосходит углепластик марки ВКУ-30К.Р14535.

При создании ПКМ применительно к изделиям авиационной техники важно учитывать, что эксплуатация такой техники проходит в различных климатических условиях. Так, наибольшее влияние на величину срока службы изделий из ПКМ оказывают процессы старения под воздействием многочисленных факторов окружающей среды. На физико-механические характеристики ПКМ негативно влияет влага, при этом с увеличением влагосодержания возможно существенное уменьшение прочностных характеристик материалов, а в контакте с металлом еще и образование коррозии [22, 23].

Таким образом, при проведении квалификации ПКМ важной задачей является изучение изменения физико-механических свойств в процессе влагонасыщения путем экспозиции образцов в специальных термовлажностных камерах при определенных условиях экспонирования.

Проведено сравнение полученных свойств для углепластика марки ВКУ-30К.УМТ49 со свойствами для углепластика марки ВКУ-30К.Р14535 при одинаковых условиях экспонирования в термовлажностной камере (табл. 4).

Таблица 4

Основные свойства (средние значения) для углепластика марки ВКУ-30К.УМТ49 в сравнении с углепластиком марки ВКУ-30К.Р14535 со схемами армирования [0/-45/90/+45]_{4s} после тепловлажностного (ускоренного) старения ($T=60\text{ }^{\circ}\text{C}$ и $\phi=85\%$) в течение 1 мес

Свойства	Температура испытания, $^{\circ}\text{C}$	Значения свойств для углепластика марки			
		ВКУ-30К.УМТ49		ВКУ-30К.Р14535*	
		в исходном состоянии	после экспозиции в течение 1 мес	в исходном состоянии	после экспозиции в течение 1 мес
Прочность при сжатии, МПа (ГОСТ 25.602–80)	20	500	530	625	555
	150	470	420	525	460
Прочность при изгибе, МПа (ГОСТ 25.604–82)	20	920	915	985	870
	150	770	540	860	540
* Дополнение №8 на материал марки ВКУ-30К.Р14535 к паспорту №1689 на композиционный материал клеевой КМКУ-2м.120.Э0,1.					

При анализе физико-механических свойств для образцов из углепластиков марок ВКУ-30К.УМТ49 и ВКУ-30К.Р14535 со схемой армирования [0/-45/90/+45]_n на сжатие выявлено, что сохранение значений прочности образцов из углепластика марки ВКУ-30К.УМТ49 при температуре испытания $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ составило 106%, при температуре $150\text{ }^{\circ}\text{C}$ достигло 91%. В свою очередь у образцов из углепластика марки ВКУ-30К.Р14535 при аналогичных условиях данный показатель составил 88% при температуре $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ и 88% – при температуре $150\text{ }^{\circ}\text{C}$ относительно исходных значений.

Вместе с тем при изучении прочностных свойств для образцов из углепластиков марок ВКУ-30К.УМТ49 и ВКУ-30К.Р14535 со схемой армирования [0/-45/90/+45]_n на изгиб выявлено, что сохранение значений прочности для образцов из углепластика марки ВКУ-30К.УМТ49 при температуре испытания $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ составило 100%, при температуре $150\text{ }^{\circ}\text{C}$ достигло 75%. В свою очередь у образцов из углепластика марки ВКУ-30К.Р14535 при аналогичных условиях данный показатель составил 88% при температуре $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ и 63% – при температуре $150\text{ }^{\circ}\text{C}$ относительно исходных значений.

В соответствии с вышеизложенным для углепластика марки ВКУ-30К.УМТ49 после тепловлажностного (ускоренного) старения ($T=60\text{ }^{\circ}\text{C}$ и $\phi=85\%$) в течение 1 мес, по сравнению с углепластиком марки ВКУ-30К.Р14535, характерно более высокое сохранение прочностных свойств. Таким образом, углепластик марки ВКУ-30К.УМТ49, по сравнению с углепластиком марки ВКУ-30К.Р14535, является более влагостойким.

Исследования коррозионной агрессивности также показали, что углепластик марки ВКУ-30К.УМТ49 может применяться в контакте с нержавеющей стали и титановыми сплавами. Конструкционные стали с гальваническими покрытиями, алюминиевые сплавы с анодно-оксидными покрытиями в контакте с углепластиком марки ВКУ-30К.УМТ49 должны быть защищены системами лакокрасочных покрытий и герметиками, при этом сам углепластик должен быть окрашен системой лакокрасочных покрытий.

Исходя из результатов исследований, на углепластик марки ВКУ-30К.УМТ49 разработано дополнение №11 к паспорту №1689 на композиционный материал клеевой марки КМКУ-2м.120.Э0,1.

Отдельно следует отметить возможность применения клеевого препрега марки КМКУ-3м.150.УМТ49 при изготовлении крупногабаритных и ответственных деталей методом АТЛ. Использование безуточного жгутового наполнителя позволило изготавливать препрег в виде лент шириной 150 мм.

Для поддержания конкурентоспособности с такими крупнейшими производителями авиационной техники, как Boeing и Airbus, отраслевые предприятия авиационной промышленности все чаще применяют при изготовлении крупногабаритных и ответственных деталей из ПКМ методы автоматизированной выкладки лент (Automated Tape Laying – АТЛ) и автоматизированной выкладки волокон (Automated Fiber Placement – АФР). Использование данных методов позволяет предприятиям существенно увеличить скорость и точность выкладки препрегов [24, 25]. При этом необходимо отметить, что в настоящее время в деталях силовых конструкций планера, конструкций механизации крыла и элементов хвостового оперения изделий авиационной техники используются углепластики на основе препрегов фирм Hexcel и Cytec (США) [26].

Немаловажным показателем препрега является его жизнеспособность, т. е. промежуток времени, при котором материал сохраняет заданные технологические и физико-механические свойства при определенных условиях хранения [27]. Так, для подтверждения жизнеспособности разработанного клеевого препрега марки КМКУ-3м.150.УМТ49 проведены повторные испытания на определение прочностных характеристик после хранения материала в течение трех месяцев при температуре от 8 до 25 °С, которые показали сохранение свойств в пределах 97%. Однако следует отметить, что жизнеспособность зарубежных аналогов, применимых к АТЛ-технологии при тех же условиях хранения, составляет не более 1 мес [28].

Заключения

Разработана технология изготовления на установке Coatema BL-2800 клеевых препрегов марки КМКУ-3м.150.УМТ49 на основе отечественного углеродного жгутового наполнителя марки УМТ49S-12К-ЕР с различным содержанием связующего марки ВСК-14-3: (39±2)% – для монолитных конструкций, (63±2%) – для сотовых конструкций. Выбраны режимы, обеспечивающие получение качественных препрегов (без видимых дефектов – перетяжки, раздвижки волокон) с отклонением по весовому содержанию клеевого связующего марки ВСК-14-3 не более ±2%.

Для обеспечения поставки клеевого препрега марки КМКУ-3м.150.УМТ49 разработано изменение №4 к ТУ1-595-14-1304–2012 «Препреги клеевые марок КМКУ-3м.150.Р14535 и КМКУ-3м.150.УМТ49».

Установлено, что разработанный углепластик марки ВКУ-30К.УМТ49 по своим свойствам удовлетворяет требованиям ТЗ (прочность при растяжении при температуре 20 °С – не менее 1500 МПа; прочность при сжатии – не менее 1050 МПа; толщина монослоя (0,14±0,01) мм; максимальная рабочая температура 150 °С) и находится на уровне прочностных характеристик углепластика марки ВКУ-30К.Р14535.

По результатам исследований на углепластик марки ВКУ-30К.УМТ49 разработано дополнение №11 к паспорту №1689 на композиционный материал клеевой марки КМКУ-2м.120.Э0,1, который рекомендован к опробованию для изготовления деталей конструкционного назначения (в том числе интегральных и сотовых конструкций за один технологический цикл формования обшивки и склеивания с сотовым наполнителем), работающих в интервале температур от -60 до +150 °С.

Установлено, что по разработанным технологиям возможно получение углепластика с комплексом свойств на уровне зарубежных аналогов. При этом применение данного материала для изготовления изделий авиационной техники позволит провести

импортозамещение материалов фирм Hexcel и Cytec (США), снизить экономическую и технологическую зависимость от поставок импортных углеродных наполнителей и будет способствовать созданию новых высокотехнологичных рабочих мест на российских отраслевых предприятиях промышленности.

Библиографический список

1. Каблов Е.Н. С опорой на эффективные материалы // Инженерная газета. 2012. №4. С. 1.
2. 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.
3. Лукина Н.Ф., Дементьева Л.А., Петрова А.П., Кириенко Т.А., Чурсова Л.В. Клеевые связующие для деталей из ПКМ сотовой конструкции // Клеи. Герметики. Технологии. 2016. №5. С. 12–16.
4. Каблов Е.Н. Из чего сделать будущее? Материалы нового поколения, технологии их создания и переработки – основа инноваций // Крылья Родины. 2016. №5. С. 8–18.
5. Гуняева 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.
6. Куцевич К.Е., Дементьева Л.А., Лукина Н.Ф., Тюменева Т.Ю. Клеевые препреги – перспективные материалы для деталей и агрегатов из ПКМ // Авиационные материалы и технологии. 2017. №S. С. 379–387. DOI: 10.18577/2071-9140-2017-0-S-379-387.
7. Каблов Е.Н. Материалы нового поколения – основа инноваций, технологического лидерства и национальной безопасности России // Интеллект и технологии. 2016. №2 (14). С. 16–21.
8. Куцевич К.Е. Клеевые препреги и углекомпозиаты на их основе: дис. ... канд. техн. наук. М., 2014. 101 с.
9. Куцевич К.Е., Тюменева Т.Ю., Петрова А.П. Влияние наполнителей на свойства клеевых препрегов и ПКМ на их основе // Авиационные материалы и технологии. 2017. №4 (49). С. 51–55. DOI: 10.18577/2071-9140-2017-0-4-51-55.
10. 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.
11. Валуева М.И., Гуляев И.Н., Сидорина А.И. Рынок российских углеродных наполнителей сегодня. Обзор // Новости материаловедения. Наука и техника: электрон. науч.-техн. журн. 2016. №4 (22). Ст. 7. URL: <http://www.materialsnews.ru> (дата обращения: 02.03.2020).
12. Гращенков Д.В., Чурсова Л.В. Стратегия развития полимерных композиционных и функциональных материалов // Авиационные материалы и технологии. 2012. №S. С. 231–242.
13. Дементьева Л.А., Сереженков А.А., Бочарова Л.И., Лукина Н.Ф., Куцевич К.Е., Петрова А.П. Свойства композиционных материалов на основе клеевых препрегов // Клеи. Герметики. Технологии. 2012. №6. С. 19–24.
14. Каблов Е.Н., Старцев В.О., Иноземцев А.А. Влагонасыщение конструктивно-подобных элементов из полимерных композиционных материалов в открытых климатических условиях с наложением термоциклов // Авиационные материалы и технологии. 2017. №2 (47). С. 56–68. DOI: 10.18577/2071-9140-2017-0-2-56-68.
15. Морозов Б.Б. Применение полимерных композиционных материалов в изделиях разработки ОКБ Сухого // Сб. докл. конф. «Клеящие материалы авиационного назначения». М.: ВИАМ, 2013. С. 31–36.
16. ГОСТ 25.601–80. Расчеты и испытания на прочность. Методы механических испытаний композиционных материалов с полимерной матрицей (композитов). Метод испытания плоских образцов на растяжение при нормальной, повышенной и пониженной температурах. М.: Стандартинформ, 2005. 9 с.

17. ГОСТ 25.602–80. Расчеты и испытания на прочность. Методы механических испытаний композиционных материалов с полимерной матрицей (композитов). Метод испытания на сжатие при нормальной, повышенной и пониженной температурах. М.: Стандартинформ, 2005. 13 с.
18. ГОСТ 25.604–82. Расчеты и испытания на прочность. Методы механических испытаний композиционных материалов с полимерной матрицей (композитов). Метод испытания на изгиб при нормальной, повышенной и пониженной температурах. М.: Стандартинформ, 2007. 7 с.
19. ГОСТ 15139–69. Пластмассы. Метод определения плотности (объемной массы). М.: Изд-во стандартов, 1990. 17 с.
20. ГОСТ 9.707–81. Единая система защиты от коррозии и старения. М.: Изд-во стандартов, 1988. 80 с.
21. РД 50-675–88. Методические указания. Расчеты и испытания на прочность в машиностроении. Материалы композиционные. Методы испытаний на межслойный сдвиг. М.: Изд-во стандартов, 1989. 9 с.
22. Лукина Н.Ф., Дементьева Л.А., Куцевич К.Е. Клеевые препреги на основе тканей Porcher – перспективные материалы для деталей и агрегатов из ПКМ // Труды ВИАМ: электрон. науч.-техн. журн. 2014. №6. Ст. 10. URL: <http://www.viam-works.ru> (дата обращения 04.03.2020). DOI: 10.18577/2307-6046-2014-0-6-10-10.
23. 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.
24. Куцевич К.Е., Дементьева Л.А., Лукина Н.Ф. Свойства и назначение полимерных композиционных материалов на основе клеевых препрегов // Труды ВИАМ: электрон. науч.-техн. журн. 2016. №8 (44). Ст. 07. URL: <http://www.viam-works.ru> (дата обращения: 04.03.2020). DOI: 10.18577/2307-6046-2016-0-8-7-7.
25. Петрова А.П., Донской А.А., Чалых А.Е., Щербина А.А. Клеящие материалы. Герметики: справочник. СПб.: Проффессионал, 2008. 589 с.
26. Дементьева Л.А., Лукина Н.Ф., Сереженков А.А., Куцевич К.Е. Основные свойства и назначение ПКМ на основе клеевых препрегов // Тез. докл. XIX Междунар. науч.-техн. конф. «Конструкции и технология получения изделий из неметаллических материалов». Обнинск: ОНПП «Технология», 2010. С. 11–12.
27. Гусев Ю.А., Борщев А.В., Хрульков А.В. Особенности препрегов для автоматизированной вкладки методами ATL и AFP // Труды ВИАМ: электрон. науч.-техн. журн. 2015. №3. Ст. 06. URL: <http://www.viam-works.ru> (дата обращения: 04.03.2020). DOI: 10.18577/2307-6046-2015-0-3-6-6.
28. Николаев Е.В., Кириллов В.Н., Скирта А.А., Гращенков Д.В. Исследование закономерностей влагопереноса и разработка стандарта по определению коэффициента диффузии и предельного влагосодержания для оценки механических свойств углепластиков // Авиационные материалы и технологии. 2013. №3. С. 44–48.