

УДК 621.792.053

К.Е. Куцевич<sup>1</sup>, Л.А. Дементьева<sup>1</sup>, Н.Ф. Лукина<sup>1</sup>, Т.Ю. Тюменева<sup>1</sup>

## **КЛЕЕВЫЕ ПРЕПРЕГИ – ПЕРСПЕКТИВНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ДЕТАЛЕЙ И АГРЕГАТОВ ИЗ ПКМ**

DOI: 10.18577/2071-9140-2017-0-S-379-387

*Приведены свойства композиционных материалов клеевых (КМК) на основе широкого ассортимента клеевых препрегов на стекло- и угленополнителях. Приведены сведения о преимуществах и особенностях технологического процесса изготовления элементов полимерных композиционных материалов (ПКМ) из клеевых препрегов. Указано назначение КМК – для изготовления деталей из ПКМ, в том числе сотовой конструкции одинарной и двойной кривизны, предназначенных для эксплуатации при температурах от -130 до +120°C.*

*Работа выполнена в рамках реализации комплексного научного направления 13.2. «Конструкционные ПКМ» («Стратегические направления развития материалов и технологий их переработки на период до 2030 года») [1].*

**Ключевые слова:** композиционные материалы, клеевые препреги, клеевое связующее, угле- и стеклонеполнители, прочностные характеристики, сотовая конструкция.

K.E. Kutsevich, L.A. Dementeva, N.F. Lukina, T.Yu. Tyumeneva

### **Adhesive prepregs as promising materials for parts and assemblies from polymeric composite materials**

*The properties of composite adhesive materials (CAM) on basis of a wide range of adhesive prepregs based on glass- and carbon fillers are presented. The information about the benefits and features of the technological process of manufacturing PCM elements from adhesive prepregs are provided. The purpose of CAM is a production of parts from PCM, including the honeycomb structure of single or double curvature intended for working at temperatures -130÷+120°C is shown.*

*Scientific research is executed within implementation of the complex scientific direction 13.2. «Constructional polymer composite materials» («The strategic directions of development of materials and technologies of their processing for the period till 2030») [1].*

**Keywords:** composite materials, adhesive prepregs, adhesive matrix, carbon- and glass fillers, strength characteristics, honeycomb structure.

---

<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 последнее время интенсивно развиваются работы по созданию нового класса конструкционных материалов на основе долгоживущих клеевых препрегов (материалы КМК), в которых в качестве связующего расплавленного типа для пропитки стекло- и угленаполнителей широко используются модифицированные высокопрочные пленочные клеевые композиции с регулируемыми характеристиками (вязкоупругими, прочностными, деформационными и т. д.).

Отличительной особенностью клеевых препрегов является возможность изготовления за одну технологическую операцию высоконагруженных сотовых (слоистых) конструкций из неметаллических материалов одинарной и сложной кривизны.

Технология имеет существенные преимущества перед традиционными технологиями формования деталей такого типа. Основное преимущество разработанной технологии – достижение герметичности и весовой эффективности деталей и агрегатов из полимерных композиционных материалов (ПКМ) и, как следствие, повышение живучести и ресурса клееных конструкций, что отвечает стратегическим направлениям развития авиационных материалов и технологий [1, 2].

В результате применения клеевых препрегов достигается также значительное повышение трещиностойкости конструкций, уменьшение количества выбросов вредных веществ в атмосферу благодаря использованию безрастворной технологии изготовления клеевых препрегов и изделий из них. В процессе изготовления деталей обеспечивается существенное сокращение количества технологических операций и за счет этого – снижение трудоемкости работ [3, 4].

## Материалы и методы

### *Объекты исследований:*

- клеевое связующее марки ВСК-14-6;
- клеевые препреги общих марок КМКС и КМКУ.

### *Методы исследований*

Определяли физико-механические характеристики клеевых соединений – предел прочности при сдвиге (ГОСТ 14759–91).

Определяли следующие физико-механические характеристики композиционных материалов, изготовленных из клеевых препрегов на основе стекло- и угленаполнителей:

- предел прочности и модуль упругости при растяжении (ГОСТ 25.601–80);
- предел прочности при сжатии (ГОСТ 25.602–82);
- предел прочности при статическом изгибе (ГОСТ 4648–71).

## Результаты и обсуждение

Среди номенклатуры клеевых препрегов марок КМКС следует отметить препреги марок КМКС-2м.120 и КМКС-4.175 на основе стеклонеполнителей марок Т-10 и Т-15 (табл. 1), с использованием которых ведущими КБ (ОКБ «Сухого», РСК «МиГ») разработаны новые конструкции радиопрозрачных обтекателей [5, 6].

Таблица 1

**Основные свойства стеклопластиков  
на основе клеевых препрегов марок КМКС-2м.120**

Свойства	Значения свойств клеевого препрега КМКС марки			
	2м.120.Т10	2м.120.Т15	2м.120.Т60	2м.120.Т64
Рабочая температура, °С	-60÷+120	-60÷+120	-60÷+120	-60÷+120
Плотность стеклопластика, г/см <sup>3</sup>	1,8–1,9	1,5–1,6	1,7–1,8	1,74–1,84
Предел прочности при растяжении, МПа:				
	по основе	570	385	1500
по утку	245	240	75	410
Модуль упругости при растяжении, ГПа:				
	по основе	27,5	19,0	42,0
по утку	17,5	17,0	11,5	22,0
Предел прочности при сжатии, МПа:				
	по основе	555	560	900
по утку	380	390	210	440
Предел прочности при статическом изгибе, МПа:				
	по основе	760	440	1400
по утку	480	380	130	565
Ударная вязкость, кДж/м <sup>2</sup>	240	160	210	230
Предел прочности при межслойном сдвиге, МПа	69	55	80	77
Диэлектрическая проницаемость при частоте 10 <sup>6</sup> Гц	4,76	4,19	4,46	4,82
Тангенс угла диэлектрических потерь при частоте 10 <sup>6</sup> Гц	0,015	0,017	0,024	0,027

Благодаря применению в составе клеевых препрегов стеклотканей марки Т-64 (ВМП) на основе высокомодульных волокон и кварцевой ткани марки ТС-8/3-К-ТО взамен тканей Т-10 и Т-15, а также теплостойкого до 175°С клеевого связующего, разработаны композиционные материалы с повышенным уровнем диэлектрических и теплофизических свойств (табл. 2), что позволило применить их в конструкции обтекателей новых изделий авиационной техники [7].

Стеклопластики на основе стеклоткани Т-10 обладают высокими физико-механическими характеристиками, однако наполнитель часто характеризуется наличием поверхностных дефектов (складок, гофров), которые образуются при изготовлении препрегов на современном оборудовании. Дефекты на поверхности вызывают разброс по содержанию связующего в препреге и, соответственно, значительный разброс физико-механических характеристик отформованных деталей и агрегатов из ПКМ (в том числе разброс радиотехнических характеристик обтекателя сотовой конструкции) [8, 9].

Таблица 2

**Основные свойства стеклопластиков радиотехнического назначения на основе клеевых препрегов марок типа КМКС-4.175**

Свойства	Значения свойств клевого препрега КМКС марки			
	4.175.Т10	4.175.Т15	4м.175.Т64	4к.175.ТС8/3
Плотность стеклопластика, г/см <sup>3</sup>	1,8–1,9	1,5	1,65	1,62
Предел прочности при растяжении, МПа:				
по основе	605	450	730	720
по утку	315	230	410	425
Модуль упругости при растяжении по основе, ГПа	29	21,8	30	28
Предел прочности при сжатии, МПа:				
по основе	630	560	720	600
по утку	390	390	450	275
Предел прочности при статическом изгибе, МПа:				
по основе	760	435	950	840
по утку	470	375	600	590
Ударная вязкость, кДж/м <sup>2</sup>	210	170	270	233
Предел прочности при межслойном сдвиге, МПа	75	50	80	75
Диэлектрическая проницаемость при частоте 10 <sup>6</sup> Гц	4,2	3,7	4,82	3,6
Тангенс угла диэлектрических потерь при частоте 10 <sup>6</sup> Гц	0,015	0,014	0,027	0,008–0,013

Во ФГУП «ВИАМ» разработан композиционный материал на основе клевого связующего с теплостойкостью 120°С и стеклоткани марки Ст-62005 фирмы «ХК Композит» специальной текстильной формы (аналог ткани Т-10), обеспечивающий сохранение прочности при растяжении ( $\sigma_B$ ) при температуре 120°С на уровне 90% от исходного значения (вместо 70% – для КМКС-2м.120.Т10 на основе стеклоткани Т-10-14) [10]. Прочностные характеристики разработанного материала представлены в табл. 3.

Таблица 3

**Прочностные характеристики композиционных материалов клеевых**

Свойства	Значения свойств* материала марки	
	КМКС-2м.120.Ст-62005 (разработанный)	КМКС-2м.120.Т10 (аналог)
Предел прочности, МПа:		
	при растяжении	<u>590–670</u> 636
при сжатии	<u>535–660</u> 600	<u>535–600</u> 555
	при межслойном сдвиге	<u>74–82</u> 78
при изгибе	<u>855–895</u> 873	<u>740–765</u> 760
	Модуль упругости при изгибе, ГПа	<u>27–29</u> 28
Предел прочности при отрыве обшивки от сот, МПа	<u>4,8–5,5</u> 4,9	<u>4,5–5,5</u> 4,8

\* В числителе – минимальные и максимальные значения, в знаменателе – средние.

Стеклопластик на основе отечественной стеклоткани СТ-62005 превосходит по своим прочностным характеристикам стеклопластик на основе стеклоткани Т-10-14. При этом стеклоткань марки Ст-62005 обладает хорошей драпируемостью и не образует поверхностных дефектов (складок, гофров) при изготовлении препрега [11].

В настоящее время одним из перспективных направлений является разработка энергосберегающих технологий. В связи с этим во ФГУП «ВИАМ» проведены работы по снижению температуры отверждения клеевых препрегов [12, 13]. Так, разработаны стеклопластики марок ВПС-44К.Т60 и ВПС-45К.ТС8/3-К на основе клеевых препрегов КМКС-1с.80.Т60 и КМКС-1с.80.ТС8/3-К с использованием высокомодульных и кварцевых стеклонполнителей с температурой отверждения  $140 \pm 5^\circ\text{C}$  (вместо  $175 \pm 5^\circ\text{C}$ ), которые предназначены для изготовления агрегатов из ПКМ сотовой конструкции за одну технологическую операцию, в том числе радиотехнического назначения (обтекатели), работоспособных при температурах от  $-60$  до  $+80^\circ\text{C}$  [14, 15]. Прочностные свойства стеклопластиков марок ВПС-44К.Т60 и ВПС-45К.ТС8/3-К приведены в табл. 4.

Таблица 4

**Прочностные свойства стеклопластиков марок  
ВПС-44К.Т60 и ВПС-45К.ТС8/3-К**

Свойства	Значения свойств материала марки	
	ВПС-44К.Т60	ВПС-45К.ТС8/3-К
Предел прочности при растяжении, МПа:		
по основе	1395	670
по утку	34	350
Модуль упругости при растяжении, ГПа:		
по основе	40	23
по утку	6,1	10
Предел прочности при сжатии, МПа:		
по основе	805	580
по утку	150	360
Модуль упругости при сжатии, ГПа	45	22
Предел прочности при статическом изгибе, МПа	1135	1010
Модуль упругости при статическом изгибе, ГПа	36	21
Предел прочности при межслойном сдвиге, МПа	62	60
Диэлектрическая проницаемость при частоте $10^6$ Гц	4,38	3,62
Тангенс угла диэлектрических потерь при частоте $10^6$ Гц	0,016	0,013

Среди композиционных материалов на основе угленполнителей, рекомендованных для длительной работы при температуре  $150^\circ\text{C}$ , наиболее высоким уровнем свойств по этому показателю обладает углепластик из клеевого препрега КМКУ-3м.150.УОЛ(У) на основе отечественной углеродной однонаправленной ленты УОЛ-300Р улучшенной текстильной формы и клеевого препрега марки КМКУ-3м.150.Р14535, изготовленного из однонаправленной ленты арт. 14535 фирмы Porcher (Франция) – табл. 5.

Таблица 5

**Сравнительные показатели свойств клеевых препрегов**

Свойства	Значения свойств* клеювого препрега марки	
	КМКУ-3м.150.УОЛ (У)	КМКУ-3м.150.P14535
Предел прочности при растяжении, МПа: по основе	<u>1430–1780</u>	<u>1600–1840</u>
по утку	1600 <u>26–46</u> 36	1700 <u>40–70</u> 52
Модуль упругости при растяжении, ГПа: по основе	<u>123–133</u>	<u>120–123</u>
по утку	128 <u>9,2–11,0</u> 9,8	121 <u>8–10</u> 9,2
Предел прочности при сжатии, МПа: по основе	<u>965–1410</u>	<u>1050–1240</u>
по утку	1115 <u>195–275</u> 230	1130 <u>274–315</u> 301
Предел прочности при межслойном сдвиге, МПа	<u>85–100</u>	<u>90–97</u>
Толщина монослоя, мм	97 0,14	95 0,14

\* В числителе – минимальные и максимальные значения, в знаменателе – средние.

Следует отметить, что эти материалы рекомендованы к применению в конструкции истребителя пятого поколения Т-50 и обеспечивают создание агрегатов, сочетающих сотовые и монолитные элементы [16, 17].

Разработан также углепластик марки ВКУ-34КУОЛ(У) на основе клеювого препрега КМКУ-5м.150.УОЛ(У) с пониженной температурой отверждения 150–160°С (вместо 180±5°С) и нового углеродного наполнителя улучшенной текстильной формы марки УОЛ-300Р. Углепластик марки ВКУ-34КУОЛ(У) работоспособен в интервале температур от -60 до +150°С, устойчив к воздействию эксплуатационных и климатических факторов [18, 19]. В табл. 6 представлены основные свойства разработанного углепластика.

В настоящее время проводятся исследования по разработке клеювых препрегов на основе связующего ВСК-14-6 и стекло-, угленополнителей отечественного производства. Клеювое связующее ВСК-14-6 обеспечивает высокий уровень прочностных характеристик клеювых соединений в интервале температур от 20 до 80°С и превосходит аналог фирмы Hexcel не только по прочностным характеристикам (см. рисунок), но и по горючести.

Получены положительные результаты на опытных образцах: предел прочности при растяжении составляет не менее 600 МПа – для стеклопластика и не менее 900 МПа – для углепластика; жизнеспособность клеювых препрегов при температурах от +5 до +25°С – не менее 3 мес.

Разработка позволит использовать эти материалы для изготовления деталей и агрегатов из ПКМ монолитной и сотовой конструкции и применить

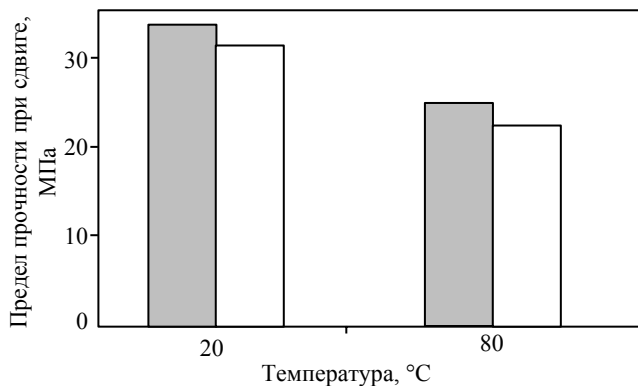
их не только в салоне самолета (панели пола), но и для агрегатов наружного контура, что обеспечит снижение пожароопасности изделия [20, 21].

Таблица 6

**Физико-механические характеристики композиционного материала марки ВКУ-34КУОЛ(У)**

Свойства	Значения свойств*
Предел прочности при растяжении, МПа: по основе по утку	1700/(1580–1900) 42/(38–44)
Модуль упругости при растяжении, ГПа: по основе по утку	125/(120–130) 8,4/(8,0–8,8)
Предел прочности при сжатии, МПа: по основе по утку	1020/(950–1050) 220/(215–230)
Предел прочности при статическом изгибе, МПа: по основе по утку	2030/(1940–2260) 130/(125–140)
Предел прочности при межслойном сдвиге, МПа	85/(83–87)
Толщина монослоя, мм	0,14

\* В числителе – средние значения, в знаменателе – минимальные и максимальные.



Прочностные характеристики клевого связующего ВСК-14-6 (□) в сравнении с аналогом Redux 609 (■) фирмы Hexcel (США)

**Заключение**

Таким образом, применение клеевых связующих и клеевых препрегов на их основе позволяет получать детали из ПКМ по менее трудоемкой технологии, которая не содержит ряда технологических этапов, и обеспечивает получение более высокого уровня свойств ПКМ на их основе – трещиностойкости, прочности при межслойном сдвиге, длительной прочности и других.

ЛИТЕРАТУРА

1. 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.
2. Каблов Е.Н. Из чего сделать будущее? Материалы нового поколения, технологии их создания и переработки – основа инноваций // Крылья Родины. 2016. №5. С. 8–18.
3. Гращенков Д.В., Чурсова Л.В. Стратегия развития композиционных и функциональных материалов // Авиационные материалы и технологии. 2012. №S. С. 231–242.
4. Петрова А.П., Донской А.А., Чалых А.Е., Щербина А.А. Клеящие материалы. Герметики: справочник. СПб.: Проффессионал, 2008. С. 589.
5. Куцевич К.Е., Дементьева Л.А., Лукина Н.Ф. Свойства и назначение полимерных композиционных материалов на основе клеевых препрегов // Труды ВИАМ: электрон. науч.-технич. журн. 2016. №8. Ст. 07. URL: <http://www.viam-works.ru> (дата обращения: 07.02.2017). DOI: 10.18577/2307-6046-2016-0-8-7-7.
6. Лукина Н.Ф., Дементьева Л.А., Куцевич К.Е. Клеевые препреги на основе тканей Rogcher – перспективные материалы для деталей и агрегатов из ПКМ // Труды ВИАМ: электрон. науч.-технич. журн. 2014. №6. Ст. 10. URL: <http://www.viam-works.ru> (дата обращения: 07.02.2017). DOI: 10.18577/2307-6046-2014-0-6-10-10.
7. Петрова А.П., Лукина Н.Ф. Влияние адгезионных грунтов на ресурсные характеристики клеевых соединений // Клеи. Герметики. Технологии. 2015. №11. С. 20–23.
8. Петрова А.П., Лукина Н.Ф., Дементьева Л.А., Авдоница И.А., Тюменева Т.Ю., Жадова Н.С. Клеи для авиационной техники // РЖХ. 2010. Т. LIV. №1. С. 46–52.
9. Каблов Е.Н., Минаков В.Т., Аниховская Л.И. Клеи и материалы на их основе для ремонта конструкций авиационной техники // Авиационные материалы и технологии. 2002. №1. С. 61–65.
10. 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.
11. Аниховская Л.И., Минаков В.Т. Клеи и клеевые препреги для перспективных изделий авиакосмической техники // Авиационные материалы. Избранные труды «ВИАМ» 1932–2002: юбил. науч.-технич. сб. М.: МИСиС–ВИАМ, 2002. С. 315–325.



12. Лукина Н.Ф., Дементьева Л.А., Петрова А.П., Тюменева Т.Ю. Свойства клеев и клеящих материалов для изделий авиационной техники // Клеи. Герметики. Технологии. 2009. №1. С. 14–24.
13. Дементьева Л.А., Лукина Н.Ф., Сереженков А.А., Куцевич К.Е. Основные свойства и назначение ПКМ на основе клеевых препрегов // Конструкции и технология получения изделий из неметаллических материалов: тез. докл. XIX Междунар. науч.-технич. конф. Обнинск: Технология, 2010. С. 11–12.
14. Лукина Н.Ф., Дементьева Л.А., Петрова А.П., Аниховская Л.И. Клеящие материалы в конструкции лопастей вертолетов // Труды ВИАМ: электрон. науч.-технич. журн. 2016. №7. Ст. 07. URL: <http://www.viam-works.ru> (дата обращения: 07.02.2017). DOI: 10.18577/2307-6046-2016-0-7-7-7.
15. Морозов Б.Б. Применение полимерных композиционных материалов в изделиях разработки ОКБ Сухого // Клеящие материалы авиационного назначения: сб. докл. конф. М.: ВИАМ, 2013. С. 31–36.
16. Хрычев Ю.И., Шкодинова Е.П., Дементьева Л.А. Разработка технологического процесса изготовления радиопрозрачного обтекателя из клеевых препрегов типа КМКС-2м.120 // Там же. С. 43–47.
17. 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.
18. Дементьева Л.А., Сереженков А.А., Лукина Н.Ф., Куцевич К.Е. Клеевые препреги и слоистые материалы на их основе // Авиационные материалы и технологии. 2013. №2. С. 19–21.
19. Дементьева Л.А., Сереженков А.А., Бочарова Л.И., Аниховская Л.И., Лукина Н.Ф. Композиционные материалы клеевые на основе стеклянных и углеродных наполнителей // Клеи. Герметики. Технологии. 2009. №1. С. 24–27.
20. Препрег и изделие, выполненное из него: пат. 2427594 Рос. Федерация; опубл. 23.07.13.
21. Lukina N.F., Dementeva L.A., Serezhenkov A.A., Kotova E.V., Senatorova O.G., Sidelnikov V.V., Kutsevich K.E. Adhesive prepregs and composite materials on their basis // Russian Journal of General Chemistry. 2011. Vol. 81. No. 5. С. 1022–1024.