

УДК 678.8

К.Е. Куцевич<sup>1</sup>, Т.Ю. Тюменева<sup>1</sup>, А.П. Петрова<sup>1</sup>**ВЛИЯНИЕ НАПОЛНИТЕЛЕЙ НА СВОЙСТВА  
КЛЕЕВЫХ ПРЕПРЕГОВ И ПКМ НА ИХ ОСНОВЕ**

DOI: 10.18577/2071-9140-2017-0-4-51-55

*Приведен анализ свойств клеевых препрегов, полученных на основе клеевого связующего ВСК-14-2м и различных типов углеродных и стеклянных тканей, а также ПКМ на их основе. Показано влияние наполнителя на физико-механические свойства ПКМ, водостойкость, теплостойкость, диэлектрические характеристики и др.*

*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 стеклонанополнители, прочностные характеристики, сотовая конструкция.

*The analysis of properties of the adhesive prepregs obtained on the basis of adhesive binding VSK-14-2m and various types of carbon and glass fillers, and also polymeric composite materials (PCM) on their basis is given. The influence of the filler on physicomachanical properties of the PKM: water resistance, heat resistance, dielectric characteristics, etc. is shown.*

*The work 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 binders, 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 настоящее время в различных отраслях промышленности нашли широкое применение полимерные композиционные материалы (ПКМ) на основе клеевых препрегов. Использование клеевых препрегов, в которых тканевый наполнитель (стеклоткань, углеродная ткань) пропитан эпоксидным связующим способом безрастворной технологии (пропитка ткани расплавом связующего), обеспечивает преимущество перед другими препрегами как по технологии изготовления, так и по их прочностным характеристикам [1, 2].

В технологическом плане изготовление конструкций, в том числе сотовых, одинарной и сложной кривизны, обеспечивается за одну технологическую операцию. Эта уникальная особенность клеевых препрегов позволяет изготавливать детали сложной формы, где сочетаются интегральные и сотовые элементы, формирование которых также происходит одновременно, т. е. в едином технологическом цикле [3, 4].

Результат применения клеевых препрегов – снижение трудоемкости изготовления сотовых конструкций – в 2–3 раза по сравнению с обычными клееными панелями (за счет сокращения количества технологических операций); количества

оснастки – в 1,5–2 раза; массы конструкции (особенно с сотовым наполнителем) – на 30–50%; количества выбросов вредных веществ в атмосферу – в 10–15 раз благодаря использованию безрастворной технологии изготовления клеевых препрегов и изделий из них. По сравнению с ПКМ, содержащими растворитель, композиционные материалы клеевые (КМК) позволяют повысить герметичность конструкций из ПКМ в 10 раз, трещиностойкость – на 40–50%, прочность при межслойном сдвиге – на 20–35% [5, 6]. Они обладают по сравнению с материалами, получаемыми по традиционной технологии, более высокими характеристиками выносливости, длительной прочностью, сохраняют высокий уровень прочностных характеристик после воздействия различных климатических факторов. Получена высокая воспроизводимость процессов, связанных с применением клеевых препрегов в условиях серийного производства, при минимальном числе контрольных операций [7, 8].

В настоящее время разработан достаточно большой ассортимент клеевых препрегов, позволяющих получать на их основе стекло- и углепластики различного назначения и создавать принципиально новые виды силовых клееных конструкций с высоким

ресурсом, длительным сроком эксплуатации, надежностью и весовой эффективностью для различных типов современных изделий гражданской, военной авиационной и космической техники [9, 10].

### Материалы и методы

*Объекты исследований:*

- клеевое связующее марки ВСК-14-2м;
- клеевые препреги общих марок КМКС-2м.120 и КМКУ-2м.120.

*Методы исследований*

Методом ДСК на приборе DSC1 определены температурные характеристики реакции отверждения связующего. Методом ТМА определены температурные характеристики стадии гелеобразования связующего в препреге и температура стеклования отвержденного образца. В качестве метода исследования температуры стеклования углепластиков использован термомеханический анализ. Испытания проводили по методике, изложенной в ММ1.595-11-138-2002. Исследования проводили на термоаналитическом комплексе.

Определяли следующие физико-механические характеристики клеевых соединений:

- предел прочности при сдвиге (ГОСТ 14759-91);
- предел прочности при отрыве (ГОСТ 14760-85).

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

- 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);
- предел прочности при межслойном сдвиге (РД-50-675-88).

### Результаты и обсуждение

В данной статье проанализированы свойства различных типов клеевых препрегов и материалов на их основе, полученных с использованием клеевого связующего ВСК-14-2м [11]. Исследования следующие свойства связующего ВСК-14-2м:

Количество летучих веществ, выделяющихся при отверждении, %	Не более 2
Температура гелеобразования, °С	160
Время гелеобразования при 140°С, мин	53
Температура стеклования, °С	170
Температура максимума пика отверждения, °С	197,7
Тепловой эффект реакции отверждения, Дж/г	467,2
Прочность при сдвиге клеевых соединений на сплаве Д16-АТ (Ан.Окс.хром), МПа	Не менее 30
Жизнеспособность, мес:	
при температуре от -5 до +5°С	Не менее 12
при температуре >5 до 25°С	Не менее 3
Режим отверждения: температура, °С/продолжительность, ч	Не менее (180±5)/3

Клеевое связующее с повышенным уровнем когезионной прочности и теплостойкостью 120°С использовано при разработке ПКМ на основе клеевых препрегов общих марок КМКС-2м.120 и КМКУ-2м.120, отвечающих ужесточенным требованиям, в том числе требованию по эксплуатации изделий во всеклиматических условиях [12, 13]. В табл. 1 представлены основные характеристики стеклопластиков на основе клеевых препрегов марок КМКС-2м.120, в качестве наполнителей в которых используются стеклоткани марок Т-10-80 и Т-15, а также стеклоткани марок Т-60(ВМП) и Т-64(ВМП) на основе высокомодульных волокон. Стеклопластики этого состава характеризуются высоким сопротивлением деформационным нагрузкам, сохранением физико-механических характеристик в условиях воздействия воды, влаги, длительной (1000 ч) выдержки при температуре 120°С [14].

На основе клеевого связующего ВСК-14-2м и угленополнителей – отечественных и зарубежных производства фирмы Porcher (Франция) – разработаны клеевые препреги марки КМКУ-2м.120 [15, 16]. Свойства композиционных материалов клеевых (углепластиков) на основе клеевых препрегов этой марки представлены в табл. 2.

Как видно из данных табл. 2, углепластик на основе клеевого препрега марки КМКУ-2м.120.Р4510, изготовленный из однонаправленной ткани фирмы Porcher (арт. 4510), превосходит по основным свойствам углепластик на основе отечественной углеродной ленты ЭЛУР-П марки КП. Пластик на основе равнопрочной ткани фирмы Porcher (арт. 2009) также характеризуется высокими прочностными характеристиками [17, 18].

Проведено сравнение свойств клеевых препрегов на основе связующего ВСК-14-2м и двух типов наполнителей (стеклоткани Т10 и углеродной ткани марки Э0,1) – данные приведены в табл. 3.

Данные табл. 3 свидетельствуют о том, что материалы, полученные с использованием клеевых препрегов, имеют высокие прочностные характеристики, низкий уровень гигроскопичности и водопоглощения. Следует отметить, что прочность материалов при комнатной температуре и при -60°С практически одинакова [19, 20].

Образцы композиционных материалов, изготовленных с применением клеевых препрегов КМКС-2м.120.Т10 и КМКУ-2м.120.Э0,1, были выставлены на открытых климатических площадках в г. Якутске и выдержаны в таких условиях в течение 5 лет. Результаты по изменению прочности материалов при экспозиции в климатических условиях г. Якутска представлены в табл. 4.

Из данных, представленных в табл. 4, следует, что после окончания экспозиции практически не изменяется прочность углепластика как при сжатии, так и при изгибе при температуре испытания 20°С, а при температуре испытания 120°С значения прочности повышаются на ~20%.

Таблица 1

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

Показатели	Значения показателей для клеевого препрега марки			
	КМКС-2м.120.Т10	КМКС-2м.120.Т15	КМКС-2м.120.Т60	КМКС-2м.120.Т64
Рабочие температуры, °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	750
по утку	245	240	75	410
Модуль упругости при растяжении, ГПа:				
по основе	27,5	19,0	42,0	31,0
по утку	17,5	17,0	11,5	22,0
Предел прочности при сжатии, МПа:				
по основе	555	560	900	720
по утку	380	390	210	440
Предел прочности при статическом изгибе, МПа:				
по основе	760	440	1400	940
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

Таблица 2

**Основные физико-механические характеристики углепластиков  
на основе клеевых препрегов марок КМКУ-2м.120**

Показатели	Значения показателей для клеевого препрега марки		
	КМКУ-2м.120.Э0,1	КМКУ-2м.120.Р4510	КМКУ-2м.120.Р2009
Диапазон рабочих температур, °С	-130÷+120	-60÷+120	-60÷+120
Плотность углепластика, г/см <sup>3</sup>	1,43	1,4–1,47	1,51
Предел прочности при растяжении, МПа:			
по основе	880	1950	920
по утку	44	60	800
Модуль упругости при растяжении, ГПа:			
по основе	113	125	67
по утку	8,1	9,0	–
Предел прочности при сжатии, МПа:			
по основе	880	990	900
по утку	115	170	700
Модуль упругости при сжатии, ГПа, по основе	108	125	66
Ударная вязкость, кДж/м <sup>2</sup>	70	–	–
Трещиностойкость при растяжении, МПа √м	75	–	–
Предел прочности при межслойном сдвиге, МПа	78	77	75
Предел прочности при статическом изгибе, МПа	1200	2050	1230
Модуль упругости при статическом изгибе, ГПа	125	–	59

**Свойства клеевых препрегов на основе угле- и стекловолокна**

Свойства	Температура испытания, °С	Значения свойств для клеевого препрега марки			
		КМКС-2м.120.Т10		КМКУ-2м.120.Э0,1	
		в исходном состоянии	после воздействия воды в течение 30 сут	в исходном состоянии	после воздействия воды в течение 30 сут
Предел прочности при сдвиге клеевых соединений сплава Д16-АТ, МПа	-130	25,0	–	–	–
	-60	31,7	–	25,0	–
	20	31,0	29,5	24,0	24,0
	120	30,0	23,5	22,0	20,7
Предел прочности при равномерном отрыве соединений сотовой конструкции, МПа	-60	8,9*	–	4,5**	–
	20	9,3*	–	4,6***	4,7
	120	8,9*	–	5,4***	4,0
Предел прочности композиционного материала при сжатии, МПа (укладка наполнителя 0°; 90°; ±45°)	-60	550	–	900	–
	20	555	–	900	890
	120	360	–	600	530
	150	220	–	–	–
Гигроскопичность за 30 сут, % (по массе)	20	–	0,31	–	0,79
Водопоглощение за 30 сут, % (по массе)	20	–	–	–	0,83
Предел прочности композиционного материала при растяжении, МПа	-130	570	–	860	–
	-60	575	–	870	–
	20	570	–	880	–
	120	465	–	685	–
	150	280	–	540	–

\* Сотовый наполнитель ССП-1-2,5.

\*\* Разрушение по сотовому наполнителю.

\*\*\* Сотовый наполнитель из фольги АМг2Н (ячейка 2,5 мм).

**Результаты натуральных климатических испытаний материалов в условиях г. Якутска на открытой площадке**

ПКМ на основе клеевого препрега	Продолжительность испытания, год	Температура испытания, °С	Предел прочности, МПа	
			при сжатии	при изгибе
КМКС-2м.120.Т10	В исходном состоянии	20	555	760
		120	360	530
	1	20	980	1500
		120	690	790
	3	20	1100	1510
		120	700	950
	5	20	–	1470
		120	–	940
КМКУ-2м.120.Э0,1	В исходном состоянии	20	882	960
		120	590	860
	1	20	890	960
		120	450	510
	3	20	800	1000
		120	630	900
	5	20	890	870
		120	720	790

Прочность образцов стеклопластика существенно повышается через 1 год экспозиции: при температуре испытания 20°C – практически в 2 раза, при температуре испытания 120°C – на 90%. При последующей выдержке в течение 3 и 5 лет прочность практически сохраняется на уровне, полученном через 1 год экспозиции.

### Заключения

Клеевые препреги общих марок КМКС-2м.120 и КМКУ-2м.120 являются в настоящее время

одними из наиболее востребованных материалов. Композиционные материалы на их основе широко применяются для изготовления деталей и агрегатов из ПКМ в конструкции изделий авиакосмического комплекса: АО «ГСС» (SSJ-100), АО «РСК «МиГ», ОАО «ЭМЗ им. В.М. Мясищева», ОАО «Ил», ПАО «Туполев», АО «Камов», ПАО «Корпорация «Иркут» (МС-21), ОАО «РКК «Энергия» им. С.П. Королева» и др. [21, 22].

### 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. История авиационного материаловедения. ВИАМ – 80 лет: годы и люди / под общ. ред. Е.Н. Каблова. М.: ВИАМ, 2012. 520 с.
3. Гращенко Д.В., Чурсова Л.В. Стратегия развития композиционных и функциональных материалов // *Авиационные материалы и технологии*. 2012. №5. С. 231–242.
4. Каблов Е.Н. Стратегические направления развития материалов и технологий их переработки на период до 2030 года // *Авиационные материалы и технологии*. 2012. №5. С. 7–17.
5. Петрова А.П., Донской А.А., Чалых А.Е., Щербина А.А. Клеящие материалы. Герметики: справочник. СПб.: Профессионал, 2008. С. 589.
6. Лукина Н.Ф., Дементьева Л.А., Петрова А.П., Сереженков А.А. Конструкционные и термостойкие клеи // *Авиационные материалы и технологии*. 2012. №5. С. 328–335.
7. Петрова А.П., Лукина Н.Ф., Дементьева Л.А., Авдонина И.А., Тюменева Т.Ю., Жадова Н.С. Клеи для авиационной техники // *РЖХ*. 2010. Т. LIV. №1. С. 46–52.
8. 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.
9. 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.
10. 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. 315–326.*
11. 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.
12. 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: ОНПП «Технология», 2010. С. 11–12.*
13. 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.*
14. Хрычев Ю.И., Шкодинова Е.П., Дементьева Л.А. Разработка технологического процесса изготовления радиопрозрачного обтекателя из клеевых препрегов типа КМКС-2м.120 // *Клеящие материалы авиационного назначения: сб. докл. конф. М.: ВИАМ, 2013. С. 43–47.*
15. 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.
16. 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.
17. 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.
18. Лукина Н.Ф., Чурсова Л.В. Лаборатория «Клеи и клеевые препреги» – достижения и перспективы // *Клеящие материалы авиационного назначения: сб. докл. конф. М.: ВИАМ, 2013. С. 1–5.*
19. Препрег и изделие, выполненное из него: пат. 2427594 Рос. Федерация; опубл. 23.07.13.
20. Lukina N.F., Dementeva L.A., Serezhnikov A.A., Kotova E.V., Senatorova O.G., Sidelnikov V.V., Kutsevich K.E. Adhesive preregs and composite materials on their basis // *Russian Journal of General Chemistry*. 2011. Vol. 81. No. 5. P. 1022–1024.
21. Куцевич К.Е., Дементьева Л.А., Лукина Н.Ф., Чурсова Л.В. Влияние полисульфонов различного строения на свойства клеевых материалов // *Клеи. Герметики. Технологии*. 2014. №4. С. 6–8.
22. Антюфеева Н.В., Журавлева П.Л., Алексашин В.М., Куцевич К.Е. Влияние степени отверждения связующего на физико-механические свойства углепластика и микроструктуру межфазного слоя углеродное волокно/матрица // *Клеи. Герметики. Технологии*. 2014. №12. С. 26–30.