

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

## КЛЕЕВЫЕ ПРЕПРЕГИ И СЛОИСТЫЕ МАТЕРИАЛЫ НА ИХ ОСНОВЕ

*Указаны отличительные особенности клеевых препрегов и приведены результаты их применения. Дано описание нового класса алюмополимерных слоистых материалов марок СИАЛ, которые представляют собой гибридный материал на базе тонких алюминиевых листов из конструкционных сплавов и стеклопластика на основе клеевых препрегов из клеевых связующих расплавно-го типа и стеклонаполнителей с различной структурой армирования.*

**Ключевые слова:** конструкционные клеи, клеевые препреги, композиционные материалы клеевые, угле- и стеклонаполнители, клеевая матрица, технологические свойства, СИАЛы, прочностные характеристики.

L.A. Dement'eva<sup>1</sup>, A.A. Serezhenkov<sup>1</sup>, N.F. Lukina<sup>1</sup>, K.E. Kutsevich<sup>1</sup>

## ADHESIVE PREPREGS AND LAYERED MATERIALS ON THEIR BASIS

*Distinctive features of adhesive prepregs and results of their application are demonstrated. Description of a new class of alumopolymer layered materials (SIAL grade) – a hybrid material on the basis of thin sheets made from structural aluminium alloys and fiberglass on the basis of adhesive prepregs from melt-type bonding adhesive and glass fillers with various structure of reinforcing is given.*

**Keywords:** structural adhesives, adhesive prepregs, adhesive composite materials, coal- and glass fillers, adhesive matrix, processing characteristics, SIALs, strength properties.

---

<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

Совершенствование аэродинамических характеристик планера летательных аппаратов с обеспечением весовой эффективности во многом решается путем применения в конструкции авиационной техники перспективных композиционных материалов. Авторами выполнен комплекс теоретических и экспериментальных исследований прочностных и вязкоупругих свойств многокомпонентных полимерных композиций. Результаты этих исследований явились основой для разработки высокопрочных и высокоэластичных пленочных клеев конструкционного назначения, которые по своим прочностным, деформационным и технологическим свойствам находятся на уровне лучших мировых аналогов и отвечают жестким требованиям, предъявляемым к материалам для изделий авиационной техники.

Особое значение конструкционные клеи приобрели в связи с поставленными задачами по созданию полимерных композиционных материалов (ПКМ) с принципиально новыми свойствами. В этом случае составы высокопрочных клеев используются в качестве основы клеевых связующих расплавно-го типа с регулируемыми характеристиками (вязкоупругими, прочностными, деформационными и температурными), с применением которых впервые в отечественной практике разработаны долгоживущие клеевые препреги и на их основе – композиционные материалы клеевые (КМК). При изготовлении клеевых препрегов в их составе используются различные наполнители отечественного и зарубежного производства: углеродные ленты, жгуты (клеевые препреги марок КМКУ) и стеклонаполнители, в том числе на основе высокомолекулярных

волокон (клеевые препреги марок КМКС), что позволяет варьировать свойства КМК в широких пределах.

Отличительной особенностью клеевых препрегов является то, что они позволяют реализовать высокоэффективную технологию сборки клеевых высоконагруженных сотовых (слоистых) конструкций из неметаллических материалов одинарной и сложной кривизны, в процессе которой формирование обшивки и приклеивание ее к сотовому заполнителю происходит за одну технологическую операцию. Эта же технология позволяет создавать сложные конструкции, сочетающие сотовые и монолитные элементы. Трехслойные сотовые конструкции из ПКМ в зависимости от назначения, конструктивно-технологических особенностей и требуемых свойств изготавливают методами автоклавного или прямого прессования [1, 2]. Результат применения клеевых препрегов выражается в снижении: цикла изготовления конструкций – в 2–3 раза, трудоемкости изготовления сотовых конструкций – на 40–50% по сравнению с обычными клеевыми панелями (за счет сокращения технологических операций в 3 раза), количества оснастки – в 1,5–2 раза, массы конструкции (особенно с сотовым заполнителем) – на 30–50%, количества выбросов вредных веществ в атмосферу – в 10–15 раз благодаря использованию безрастворной технологии изготовления клеевых препрегов и изделий из них. Композиционные материалы клеевые позволяют повысить герметичность конструкций из ПКМ в 10 раз, трещиностойкость – на 40–50%, прочность при межслоевом сдвиге – на 20–35%.

Разработка композиционных материалов клеевых (КМК) на основе клеевых препрегов была начата с 90-х годов прошлого века. Первым этапом работ в этом направлении явилась разработка композиционных материалов на основе клеевых препрегов марок КМКС-1.80 и КМКУ-1.80 с рабочей температурой 80°C и марок КМКС-2.120 с рабочей температурой 120°C [3]. Использование клеевых матриц, различающихся составом, реологическими, прочностными и деформационными характеристиками в сочетании с разнообразными стекло- и угленаполнителями, позволило расширить ассортимент КМК, разработанных на основе клеевых препрегов марок: КМКС-2м.120 и КМКУ-2м.120 с рабочей температурой 120°C; КМКУ-3.150 с рабочей температурой 150°C; КМКС-4.175, КМКС-4м.175 и КМКС-4к.175 с рабочей температурой 175°C [4].

В табл. 1 представлены основные свойства некоторых композиционных материалов клеевых на основе стекло- и угленаполнителей.

Таблица 1

**Основные свойства композиционных материалов на основе клеевых препрегов марок КМКС и КМКУ**

Показатели	Значения показателей по маркам клеевого препрега в зависимости от свойств наполнителя			
	КМКС-2м.120	КМКС-4м(к).175	КМКУ-2м.120	КМКУ-3.150
Рабочая температура, °С	-60÷+120	-60÷+175	-60÷+120	-60÷+150
Плотность, г/см <sup>3</sup>	1,5–1,9	1,62–1,65	1,4–1,51	1,4–1,5
Предел прочности при растяжении, МПа: по основе по утку	385–1500 245	720–730 410–425	880–1950 44–800	900–1700 42–46
Модуль упругости при растяжении, ГПа: по основе по утку	19–42 11,5–22	28–30 –	67–125 8–9	120–125 –
Предел прочности при сжатии, МПа: по основе по утку	555–900 210–440	600–720 275–450	880–990 115–700	1020–1025 150–155
Предел прочности при статическом изгибе, МПа	440–1400	840–950	1200–2050	1545–2030
Ударная вязкость $a_k$ , кДж/м <sup>2</sup>	160–240	233–270	70	–
Предел прочности при межслоевом сдвиге, МПа	55–80	75–80	75–78	82–85
Диэлектрическая проницаемость $\epsilon$ (при 10 <sup>6</sup> Гц)	3,92–4,22	3,7–4,2	–	–
Тангенс угла диэлектрических потерь $\text{tg } \delta$ (при 10 <sup>6</sup> Гц)	0,013–0,017	0,014–0,015	–	–

В настоящее время композиционные материалы клеевые являются одними из наиболее востребованных полимерных материалов. Они применяются практически во всех современных изделиях авиационной и ракетно-космической техники, внедрены в конструкцию истребителя пятого поколения Т-50, самолета Super Jet-100 для изготовления деталей и агрегатов из ПКМ. Планируется их использование в изделии МС-21.

С применением клеевых препрегов КМКС разработан новый класс алюмополимерных слоистых материалов марок СИАЛ, которые представляют собой гибридный материал на базе тонких алюминиевых листов из конструкционных сплавов и стеклопластика на основе клеевых препрегов из клеевых связующих расплавного типа и стеклонаполнителей с различной структурой армирования [5, 6].

Разработана технология изготовления наиболее типичных структур материала СИАЛ – трехслойная и пятислойная. Создание необходимой степени анизотропии в соответствии с условиями работы конструкции регулируется перекрестным армированием слоев клеювого препрега в стеклопластике. В СИАЛ-1 стекловолокна расположены в одном направлении –  $[0^\circ/0^\circ]$ , в СИАЛ-2: ~70% в одном направлении и ~30% в перпендикулярном, в СИАЛ-3: 50 и 50% соответственно –  $[90^\circ/90^\circ]^*$ .

Ранее были созданы СИАЛы на базе листов алюминиевого сплава Д16ч.-АТ и клеювого препрега КМКС-1.80.Т60 с теплостойкостью 80°C, которые наряду с повышенной (в 1,5–2 раза) прочностью и другими преимуществами по сравнению с монолитными листами из сплава Д16ч.-АТ обладали пониженным на 10–30% модулем упругости при растяжении. В связи с этим актуальной являлась задача по созданию материала СИАЛ на базе алюминийлитиевого сплава 1441, обладающего в сравнении со сплавом Д16ч.-АТ повышенным модулем упругости ( $E \approx 80$  ГПа), пониженной плотностью ( $d \approx 2,59$  г/см<sup>3</sup>) и повышенной температурой эксплуатации (~130°C). Разработаны материалы СИАЛ на базе листов из сплава 1441 толщиной 0,3–0,4 мм и теплостойкого препрега КМКС-2.120.Т60 на основе кордной ткани Т-60 из высокомодульного волокна ВМП, предназначенные для эксплуатации при температурах до 120°C.

Следующим этапом явились работы по созданию материалов СИАЛ-1-1Р и СИАЛ-3-1Р на базе сплава 1441 и теплостойкого (до 120°C) клеювого препрега с наполнителем в виде ровинга из высокомодульного стекловолокна, что позволило повысить прочность, жесткость ( $E$ ) и снизить массу слоистых конструкций\*\*.

В табл. 2 представлены сравнительные характеристики материалов СИАЛ.

Таблица 2

**Основные свойства материалов СИАЛ пятислойной структуры**

Материал	Состав СИАЛа		$\sigma_{в}$ , МПа	$E$ , ГПа	$d$ , кг/м <sup>3</sup>	Рабочая температура, °С
	алюминиевый сплав	основа стеклопластика				
СИАЛ-1	Д16ч.-АТ	Клеювого препрега марки КМКС-1.80.Т60.37 на основе кордной ткани Т-60 (ВМП)	900	60	2470	80
СИАЛ-3	Д16ч.-АТ		600	55	2470	
СИАЛ-1-1	1441	Клеювого препрега марки КМКС-2.120.Т60.37 на основе кордной ткани Т-60 (ВМП)	900	68	2360	120
СИАЛ-3-1	1441		600	64	2360	
СИАЛ-1-1Р	1441	Клеювого препрега марки КМКС-2мР.120.РВМПН.30 на основе ровинга из высокомодульного стекловолокна	990	70	2350	120
СИАЛ-3-1Р	1441		630	64,5	2350	
Алюминиевый сплав	Д16ч.-АТ	–	430	70	2780	80
	1441-РДТ11	–	404	76–77	2590	~130

Материалы СИАЛ превосходят по сопротивлению усталости, вязкости разрушения, статическим механическим свойствам, ударо- и огнестойкости монолитные листы из традиционных алюминиевых сплавов, которые в настоящее время применяются в авиации. Слоистые материалы также характеризуются пониженной плотностью.

\* Работа проводилась сотрудниками ВИАМ О.Г. Сенаторовой и В.В. Сидельниковым.

\*\* Работа проводилась при участии сотрудников ВИАМ Ю.О. Попова и Т.В. Колокольцевой.

Важнейшим преимуществом слоистых композитов типа СИАЛ перед монолитными алюминиевыми листами является также высокая трещиностойкость, высокое сопротивление росту трещины усталости, определяющее надежность и ресурс работы самолетных конструкций.

Применение этих материалов в качестве элементов конструкций новых изделий авиационной техники позволит решить важнейшую задачу по повышению прочности, надежности и ресурса работы при одновременном снижении весовых характеристик, что обеспечит достижение высоких эксплуатационных свойств.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. 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.
2. Душин М.И., Хрульков А.В., Мухаметов Р.Р. Выбор технологических параметров автоклавного формования деталей из полимерных композиционных материалов //Авиационные материалы и технологии. 2011. №3. С. 20–26.
3. Аниховская Л.И., Минаков В.Т. Клеи и клеевые препреги для перспективных изделий авиакосмической техники /В сб.: Авиационные материалы. Избранные труды «ВИАМ» 1932–2002: Юбилейный науч.-технич. сб. М.: МИСиС–ВИАМ. 2002. С. 315–326.
4. Дементьева Л.А., Лукина Н.Ф., Серженков А.А., Куцевич К.Е. Основные свойства и назначение ПКМ на основе клеевых препрегов /В сб. тезисов докладов XIX Международной науч.-технич. конф. «Конструкции и технология получения изделий из неметаллических материалов». Обнинск. 2010. С. 11–12.
5. Фридляндер И.Н., Аниховская Л.И., Сенаторова О.Г. и др. /В сб. трудов Международной конф. «Слоистые композиционные материалы–98». Волгоград. 1998. С. 30–32.
6. Сенаторова О.Г., Антипов В.В., Лукина Н.Ф., Сидельников В.В., Котова Е.В. Высокопрочные трещиностойкие легкие слоистые алюмокомпозиты класса СИАЛ – перспективные материалы для авиационных конструкций //Технология легких сплавов. 2010. №1. С. 28–31.

#### REFERENS LIST

1. Muhametov R.R., Ahmadiyeva 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 production of constructional fibrous PKM] //Aviacionnye materialy i tehnologii. 2011. №2. S. 38–42.
2. Dushin M.I., Hrul'kov A.V., Muhametov R.R. Vybor tehnologicheskikh parametrov avtoklavnogo formovaniya detalej iz polimernyh kompozicionnyh materialov [Selection of process parameters autoclave molding parts made of polymer composites] //Aviacionnye materialy i tehnologii. 2011. №3. S. 20–26.
3. Anihovskaja L.I., Minakov V.T. Klei i kleevyje prepregi dlja perspektivnyh izdelij aviakosmicheskoj tehniki [Adhesives and adhesive prepregs for advanced aerospace products] /V sb.: Aviacionnye materialy. Izbrannye trudy «VIAM» 1932–2002: Jubilejnyj nauch.-tehnich. sb. M.: MISiS–VIAM. 2002. S. 315–326.
4. Dement'eva L.A., Lukina N.F., Serezhenkov A.A., Kucevich K.E. Osnovnye svoystva i naznachenie PKM na osnove kleevyh prepregov [Main properties and usages RMB based adhesive prepreg] /V sb. tezisov dokladov XIX Mezhdunarodnoj nauch.-tehnich. konf. «Konstrukcii i tehnologija poluchenija izdelij iz nemetallicheskih materialov». Obninsk. 2010. S. 11–12.
5. Fridljander I.N., Anihovskaja L.I., Senatorova O.G. i dr. /V sb. trudov Mezhdunarodnoj konf. «Sloistye kompozicionnye materialy–98». Volgograd. 1998. S. 30–32.
6. Senatorova O.G., Antipov V.V., Lukina N.F., Sidel'nikov V.V., Kotova E.V. Vysoko-prochnye treshhinostojkie legkie sloistye aljumostekloplastiki klassa SIAL – perspektivnye materialy dlja aviacionnyh konstrukcij [Cracking high-class lightweight layered aluminum-fiberglass class SIAL – advanced materials for aircraft structures] //Tehnologija legkih splavov. 2010. №1. S. 28–31.