



УДК 678.067.5

DOI: 10.18577/2307-6046-2014-0-1-5-5

КЛЕЕВЫЕ ПРЕПРЕГИ ДЛЯ СЛОИСТЫХ АЛЮМОСТЕКЛОПЛАСТИКОВ КЛАССА СИАЛ

Н.Ф. Лукина

кандидат технических наук

Л.А. Дементьева

Л.И. Аниховская

Январь 2014

Всероссийский институт авиационных материалов (ФГУП «ВИАМ» ГНЦ) – крупнейшее российское государственное материаловедческое предприятие, на протяжении 80 лет разрабатывающее и производящее материалы, определяющие облик современной авиационно-космической техники. 1700 сотрудников ВИАМ трудятся в более чем тридцати научно-исследовательских лабораториях, отделах, производственных цехах и испытательном центре, а также в четырех филиалах института. ВИАМ выполняет заказы на разработку и поставку металлических и неметаллических материалов, покрытий, технологических процессов и оборудования, методов защиты от коррозии, а также средств контроля исходных продуктов, полуфабрикатов и изделий на их основе. Работы ведутся как по государственным программам РФ, так и по заказам ведущих предприятий авиационно-космического комплекса России и мира.

В 1994 г. ВИАМ присвоен статус Государственного научного центра РФ, многократно затем им подтвержденный.

За разработку и создание материалов для авиационно-космической и других видов специальной техники 233 сотрудникам ВИАМ присуждены звания лауреатов различных государственных премий. Изобретения ВИАМ отмечены наградами на выставках и международных салонах в Женеве и Брюсселе. ВИАМ награжден 4 золотыми, 9 серебряными и 3 бронзовыми медалями, получено 15 дипломов.

Возглавляет институт лауреат государственных премий СССР и РФ, академик РАН, профессор Е.Н. Каблов.

УДК 678.067.5

DOI: 10.18577/2307-6046-2014-0-1-5-5

*Н.Ф. Лукина, Л.А. Дементьева, Л.И. Аниховская**

КЛЕЕВЫЕ ПРЕПРЕГИ ДЛЯ СЛОИСТЫХ АЛЮМОСТЕКЛОПЛАСТИКОВ КЛАССА СИАЛ

Приведены этапы работ, направленные на повышение живучести и ресурса авиационной техники. Указаны отличительные особенности клеевых препрегов и приведены результаты их применения. Исследован новый класс алюмополимерных слоистых материалов марок СИАЛ – гибридного материала 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: слоистые пластики, клеевые препреги, тонкие листы конструкционных алюминиевых сплавов.

N.F. Lukina, L.A. Dement'eva, L.I. Anikhovskaya

ADHESIVE PREPREGS FOR LAMINATED ALUMINUM GLASS PLASTICS (SIAL)

The stages of work to improve the durability and the life of the aircraft technique are described. Distinctive features of adhesive prepregs are listed and the results of their application are described. The results of studies of a new class of alumopolymer layered materials brands SIAL – hybrid material based on thin sheets of aluminum structural alloys and plastic based on adhesive prepregs obtained by a melt-type adhesive bonding and fiberglass with different reinforcement structure – are described.

Key words: laminate, adhesive prepregs, thin sheets of aluminum structural alloys.

* ООО НПФ «Техполиком».

Гибридные материалы класса СИАЛ на базе тонких алюминиевых листов из конструкционных сплавов и стеклопластика из препрегов на основе клеевых связующих расплавно-го типа и стеклонаполнителей с различной структурой армирования являются слоистыми материалами нового поколения, которые предназначены для обеспечения живучести и ресурса самолетных конструкций благодаря чрезвычайно высокому со-

противлению усталостному разрушению, что отвечает стратегическим направлениям развития авиационных материалов и технологий [1, 2].

Начало работ по повышению живучести элементов планера авиатехники было положено в 1973 году после крушения самолета Ан-10А под Харьковом в мае 1972 года. В ходе работ комиссией по расследованию причин катастрофы было установлено, что во время снижения самолета на высоте 1700 м началось «разрушение центроплана крыла в воздухе из-за разрыва нижней панели центроплана, вызванного усталостными трещинами стрингеров и обшивки». В работе комиссии от Всесоюзного института авиационных материалов (ВИАМ) принимал участие Иосиф Наумович Фридляндер – выдающийся ученый-материаловед, академик РАН. Именно им было доказано, что причиной разрушения элементов планера явились усталостные нагрузки, а не взрыв – как предполагали вначале. И.Н. Фридляндер рассказывал: «Профили – стрингеры – напоминали обломанные ребра скелета какого-нибудь динозавра. Изломы замазаны и почернели. Отчистив их, увидели трещины – частичное разрушение стрингера от усталости. Позднее нашли такие же на всех остальных стрингерах». Три года спустя требования по живучести были внесены в основные отечественные нормативные документы, регламентирующие создание авиатехники.

Тогда впервые при ремонте всего парка самолетов ОКБ Антонова были применены клеевые накладки, которые использовались в местах концентрации напряжений, что значительно увеличило стойкость конструкций к усталостным нагрузкам. В процессе проведения исследований определяли скорость роста трещины усталости на образцах, представляющих собой пластину из алюминиевого сплава с клеевыми накладками с центральными надрезами длиной 8–10 мм, которые имитировали поверхностные дефекты в обшивке. Было установлено, что длительность стадии роста трещины составила: 500 тыс. циклов нагружения при сквозном надрезе образца, 100 тыс. циклов при надрезе одного слоя усиливающей клеевой накладки около отверстия и более 600 тыс. циклов при надрезе одного слоя накладки в регулярной зоне листа (без отверстия). Таким образом, было подтверждено, что даже при сквозном надрезе образца с усиливающими клеевыми накладками достигается значительное замедление роста трещины. Также было установлено, что при толщине усиливающей клеевой накладки, равной 2 мм, скорость роста трещины усталости (СРТУ) снижается в 5–6 раз по сравнению с СРТУ для монолитного листа. В образце из алюминиевого листа с поверхностным повреждением одной из приклеенных накладок трещина в образце не развивалась. В случае повреждения усиливающей клеевой накладки в зоне заклепочного отверстия уста-

лостная трещина не зарождается ни в обшивке, ни в накладке, даже при напряжении $\sigma_{\max}=160$ МПа ($R=0,1$). Испытания проводились до 100000 циклов нагружения.

Работы по повышению конструкционной прочности металлических материалов были продолжены в направлении создания клееных слоистых материалов (КСМ), которые представляли собой материал, состоящий из чередующихся листов металла и слоев высокопрочного пленочного клея. Важнейшие преимущества КСМ – сопротивление усталостным нагрузкам и трещиностойкость. В процессе эксплуатации разнородные материалы, составляющие КСМ, работают одновременно, что позволяет при определенной структуре КСМ обеспечить высокую прочность наряду с малой чувствительностью к концентрации напряжений и высоким сопротивлением усталостным нагрузкам. Наиболее типичным видом соединения в таких конструкциях являются клееные слоистые материалы в качестве обшивочного материала. Вторым видом соединений – склеивание продольных панелей обшивки встык с двумя накладками в пределах одной панели. Третьим видом клеевых соединений – соединение элементов жесткости (стрингеров, шпангоутов) с обшивкой. Такие КСМ обеспечивают: жесткость и прочность агрегата, равномерное распределение напряжений между соединяемыми элементами, уменьшение скорости распространения усталостной трещины и, как следствие, увеличение на 50% срока службы самолетных конструкций. Одновременно достигается снижение массы конструкции на 10–20% и трудоемкости ее изготовления – в 1,5–2 раза. КСМ были использованы в конструкциях планера широкофюзеляжных самолетов Ил-86, Ил-96, Ан-124 и других приоритетных изделий [3].

Особое значение высокопрочные пленочные клеи конструкционного назначения, используемые в составе слоистых материалов, приобрели в связи с поставленными задачами по созданию полимерных композиционных материалов (ПКМ) с принципиально новыми свойствами [4–6]. В этом случае составы высокопрочных клеев были использованы в качестве полимерной основы клеевых связующих расплавленного 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 (угле-, стеклопластики, сотовые и слоистые конструкции). 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 (кле-

вые препреги марок КМКС), что позволяет в широких пределах варьировать свойства композиционных материалов на их основе.

Клееные конструкции из клеевых препрегов в зависимости от назначения, конструктивно-технологических особенностей и требуемых свойств изготавливают методами автоклавного или прямого прессования [7, 8].

Разработка составов и технологий изготовления композиционных материалов на основе клеевых препрегов была начата в 90-х годах прошлого века. Первым этапом работ в этом направлении явилась разработка композиционных материалов на основе клеевых препрегов с рабочими температурами 80 (марки КМКС-1.80 и КМКУ-1.80) и 120°C (марка КМКС-2.120) [3]. Позднее были разработаны клеевые препреги марок: КМКС-2м.120 и КМКУ-2м.120 с рабочей температурой 120°C; КМКУ-3.150 с рабочей температурой 150°C; КМКС-4.175, КМКУ-4м.175, КМКУ-4к.175 с рабочей температурой 175°C [9–14].

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

Таблица 1

Свойства некоторых композиционных материалов на основе клеевых связующих и стекло-, углепластиков

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, °C	-60÷+120	-60÷+175	-60÷+120	-60÷+150
Плотность, г/см ³	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 по основе, МПа	440–1400	840–950	1200–2050	1545–2030
Ударная вязкость a_k , кДж/м ²	160–240	233–270	70	–
Предел прочности при межслоевом сдвиге, МПа	55–80	75–80	75–78	82–85
Диэлектрическая проницаемость ϵ (при 10 ⁶ Гц)	3,92–4,22	3,7–4,2	–	–
Тангенс угла диэлектри-	0,013–0,017	0,014–0,015	–	–

ческих потерь $\text{tg}\delta$ (при 10^6 Гц)				
---	--	--	--	--

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, самолета Super Jet-100 для изготовления деталей и агрегатов из ПКМ. Планируется их использование в изделии МС-21.

Достигнутый результат применения клеевых препрегов при изготовлении деталей и агрегатов из ПКМ – снижение: цикла изготовления конструкций в 2–3 раза, трудоемкости изготовления сотовых конструкций на 40–50% по сравнению с обычными клееными панелями (за счет сокращения технологических операций в 3 раза), 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. Композиционные материалы на основе клеевых препрегов позволяют повысить герметичность конструкций в 10 раз, трещиностойкость – на 40–50%, прочность при межслоевом сдвиге – на 20–35%.

Клеевые препреги марок КМКС применены при разработке слоистых материалов нового поколения – алюмостеклопластиков класса СИАЛ, что отвечает стратегическим направлениям развития авиационных материалов и технологий [15–21]. СИАЛы представляют собой гибридный материал на базе тонких (0,3–0,5 мм) алюминиевых листов из конструкционных сплавов и стеклопластика на основе клеевых связующих расплавленного типа и стеклонеполнителей с различной структурой армирования.

В отличие от слоистого материала марки АЛОП Д16/41, где для соединения слоев органической ткани и алюминиевого сплава Д16ч.-АТ применили пленочный клей ВК-41, при разработке материалов класса СИАЛ для соединения тонких листов из алюминиевого сплава использовались слои клеевых препрегов марки КМКС, которые представляют собой стеклонеполнитель определенной структуры, равномерно пропитанный термореактивным клеевым связующим расплавленного типа.

Разнообразие структур и свойств слоистых алюмостеклопластиков класса СИАЛ (зарубежный аналог – GLARE) дает возможность конструктору выбрать марку СИАЛа, соответствующую техническим требованиям*. Число слоев алюминиевых листов и стеклопластика, толщина каждого слоя и его строение, подготовка поверхности алюминиевых листов зависят от назначения слоистого материала. Наиболее типичные

* Работа проводилась при участии С.А. Каримовой, Т.Г. Павловской, А.Б. Лямина, В.В. Гуляевой.

структуры – трехслойная (2 алюминиевых листа+1 слой стеклопластика) и пятислойная (3 алюминиевых листа+2 слоя стеклопластика). Создание необходимой степени анизотропии в соответствии с условиями работы конструкции регулируется перекрестным армированием слоев пластика. В СИАЛ-1НТ все стекловолокна (100%) ориентированы в одном направлении. Этот материал применяется в конструкциях, которые в процессе эксплуатации работают на растяжение (стопперы). В этом случае прочность СИАЛа в продольном направлении в 2,5 раза выше, чем у сплава Д16ч.-АТ. В СИАЛ-2 слои стеклопластика содержат 70% стекловолокон в одном направлении и 30% – в перпендикулярном направлении, такой материал рекомендуется применять для обшивок фюзеляжа. В СИАЛ-3 стекловолокна расположены взаимно перпендикулярно друг к другу в соотношении 50:50. Равнопрочные СИАЛы рекомендуются в качестве обшивок фюзеляжа, грузовых отсеков, перегородок, полов и т. д. При этом прочность СИАЛ-2 и СИАЛ-3 в 1,5–1,8 раз выше, чем у традиционных алюминиевых сплавов. Разработанные слоистые алюмостеклопластики типа СИАЛ обладают высокой трещиностойкостью, удельной прочностью, стойкостью к усталостным нагрузкам, коррозионной стойкостью в сочетании с пониженной плотностью. Разработанные ранее материалы СИАЛ на базе листов алюминиевого сплава Д16ч.-АТ наряду с повышенной (в 1,5–2 раза) прочностью и другими преимуществами по сравнению со сплавом Д16ч.-АТ имеют пониженный на 10–30% модуль упругости при растяжении. В табл. 2 представлено типичное строение материалов СИАЛ.

Таблица 2

Типичное строение материалов СИАЛ

Материал	Структура СИАЛа (количество слоев А1 листа / стеклопластика)	Толщина А1 листа, мм	Характеристика стеклопластика, армированного в направлении [0°/90°]		Общая толщина слоистого материала, мм
			Соотношение слоев, % (объемн.)	Толщина, мм	
СИАЛ-1НТ	2/1	0,4–0,5	100:1 (однонаправленное)	0,3	1,4
	3/2	0,25–0,3			1,6
СИАЛ-2	2/1	0,4–0,5	70:30 (перекрестное)	0,4	1,5
	3/2	0,25–0,3			1,7
СИАЛ-3	2/1	0,4–0,5	50:50 (перекрестное)	0,3	1,4
	3/2	0,25–0,3			1,6

Сначала были созданы СИАЛы на базе листов алюминиевого сплава Д16ч.-АТ и клевого препрега КМКС-1.80.Т60 на основе клевого связующего с теплостойкостью

80°С и кордной стеклоткани Т-60(ВМП), которые наряду с повышенной (в 1,5–2 раза) прочностью и другими преимуществами по сравнению с монолитными листами из сплава Д16ч.-АТ имеют пониженный модуль упругости при растяжении. В связи с этим актуальной являлась задача по созданию материала СИАЛ на базе алюминийлитиевого технологичного сплава 1441, обладающего по сравнению со сплавом Д16ч.-АТ повышенным модулем упругости ($E \approx 80$ ГПа), пониженной плотностью ($d \approx 2,59$ г/см³) и повышенной температурой эксплуатации ($\sim 130^\circ\text{C}$). Материалы СИАЛ на базе листов из сплава 1441 толщиной 0,3–0,5 мм и теплостойкого препрега КМКС-2.120.Т60 на основе связующего с повышенной теплостойкостью и стеклоткани Т-60(ВМП) предназначены для эксплуатации при температурах до 120°С [7–9].

Следующим этапом этого направления явились работы по созданию материалов СИАЛ-1-1Р и СИАЛ-3-1Р на базе листов из алюминиевого сплава 1441 и клеевого препрега на основе клеевого связующего с повышенной до 120°С теплостойкостью и наполнителем в виде ровинга из высокомодульного стекловолокна, что позволило повысить прочность, жесткость (E) и снизить массу слоистых конструкций* [15, 18, 22].

В табл. 3 представлены сравнительные характеристики материалов СИАЛ.

Материалы класса 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 изделиях авиационной техники. Слоистые материалы также характеризуются пониженной плотностью.

Важнейшими преимуществами слоистых композитов типа СИАЛ перед монолитными алюминиевыми листами являются также высокая трещиностойкость, высокое сопротивление росту трещины усталости.

Таблица 3

Основные свойства материалов СИАЛ пятислойной структуры

Материал	Состав СИАЛа		$\sigma_{\text{в}}$, МПа	E , ГПа	d , кг/м ³	Рабочая температура, °С
	алюминиевый сплав	основа стеклопластика				
СИАЛ-1	Д16ч.-АТ	Клеевой препрег 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-РДТ11	Клеевой препрег марки КМКС-2.120.Т60.37 на основе кордной ткани Т-60(ВМП)	900	68	2360	120
СИАЛ-3-1	1441-РДТ11		600	64	2360	
СИАЛ-1-1Р	1441-РДТ11	Клеевой препрег марки КМКС-2мР.120.РВМПН.30 на основе ровинга из высоко-	990	70	2350	120
СИАЛ-3-1Р	1441-РДТ11		630	64,5	2350	

		модульного стекловолокна				
Алюминие- вый сплав	Д16ч.-АТ 1441-РДГ11	– –	430 430	70 79	2780 2590	80 ~130

* Работа выполнялась при участии Е.В. Котовой, Ю.О. Попова, Т.В. Колокольцевой.

Применение перспективных материалов класса СИАЛ в качестве элементов конструкций изделий военной и гражданской 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. 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.
2. Гращенков Д.В., Чурсова Л.В. Стратегия развития композиционных и функциональных материалов //Авиационные материалы и технологии. 2012. №5. С. 231–242.
3. Петрова А.П., Лукина Н.Ф. Клеи для многоразовой космической системы //Труды ВИАМ. 2013. №4. Ст. 05 (viam-works.ru).
4. 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.
5. 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.
6. Куцевич К.Е., Дементьева Л.А., Лукина Н.Ф., Чурсова Л.В. Свойства и назначение клея ВК-36РМ для авиационной техники //Клеи. Герметики. Технологии. 2013. №8. С. 5–6.
7. Аниховская Л.И., Минаков В.Т. Клеи и клеевые препреги для перспективных изделий авиакосмической техники /В кн.: Авиационные материалы. Избранные труды «ВИАМ» 1932–2002: Юбилейный науч.-технич. сб. М.: МИСиС–ВИАМ. 2002. С. 315–326.
8. Дементьева Л.А., Лукина Н.Ф., Сереженков А.А., Куцевич К.Е. Основные свойства и назначение ПКМ на основе клеевых препрегов /В сб. тезисов докл. XIX Международной науч.-технич. конф. «Конструкции и технология получения изделий из неметаллических материалов». Обнинск. 2010. С. 11–12.

9. Дементьева Л.А., Серезенков 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.
10. Лукина Н.Ф., Дементьева Л.А., Серезенков А.А., Котова Е.В., Сенаторова О.Г., Сидельников В.В., Куцевич К.Е. Клеевые препреги и композиционные материалы на их основе //Российский химический журнал. 2010. Т. LIV. №1. С. 53–56.
11. Препрег и изделие, выполненное из него: пат. 2427594 Рос. Федерация; опубл. 23.07.13.
12. Lukina N.F., Dement'eva L.A., Serezhenkov A.A., Kotova E.V., Senatorova O.G., Sidel'nikov V.V., Kutsevich K.E. Adhesive prepregs and composite materials on their basis //Russian Journal of General Chemistry. 2011. Т. 81. №5. P. 1022–1024.
13. Дементьева Л.А., Серезенков 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. Дементьева Л.А., Серезенков 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.
15. Каблов Е.Н., Антипов В.В., Сенаторова О.Г., Лукина Н.Ф. Новый класс слоистых алюмокомпозитов на основе алюминийлитиевого сплава 1441 с пониженной плотностью //Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. 2011. Спец. вып. «Перспективные конструкционные материалы и технологии». С. 174–184.
16. Фридляндер И.Н., Аниховская Л.И., Сенаторова О.Г., Сидельников В.В., Дементьева Л.А. Композиционные клеевые и слоистые металлополимерные композиты //Энциклопедия «Цветные металлы и сплавы. Композиционные металлические материалы». М.: Машиностроение. 2001. С. 814–831.
17. Аниховская Л.И., Дементьева Л.А. /В сб. трудов Международной конф. «Слоистые композиционные материалы-98». Волгоград. 1998. С. 170–171.
18. 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.
19. Фридляндер И.Н., Аниховская Л.И., Сенаторова О.Г., Сидельников В.В. и др. Клеевые металлические и слоистые металлополимерные композиты //Цветные

- металлы и сплавы. Композиционные металлические материалы. 2001. Т. II-3. С. 814–832.
20. Слоистый композиционный материал и изделие, выполненное из него: пат. 2185964 Рос. Федерация; опубл. 15.04.2004.
21. Фридляндер И.Н., Сенаторова О.Г., Лукина Н.Ф., Антипов В.В. Слоистые алюмополимерные материалы СИАЛ /В сб. 75 лет. Авиационные материалы. Избранные труды «ВИАМ» 1932–2007. М.: ВИАМ. 2007. С. 188–192.
22. Шарова И.А., Петрова А.П. Обзор по материалам международной конференции по клеям и герметикам. Франция. Труды ВИАМ. 2013. №8. Ст. 06 (viam-works.ru).

References list

1. Kablov E.N. Strategicheskie napravleniya razvitiya materialov i tehnologii ih pererabotki na period do 2030 goda [Strategic directions of the development of materials and technologies of their processing for the period until 2030] //Aviatsionnye materialy i tehnologii. 2012. №5. S. 7–17.
2. Graschenkov D.V., Chursova L.V. Strategiya razvitiya kompozitsionnyh i funktsional'nyh materialov [Development strategy of composite and functional materials] //Aviatsionnye materialy i tehnologii. 2012. №5. S. 231–242.
3. Petrova A.P., Lukina N.F. Klei dlya mnogorazovoy kosmicheskoy sistemy [Glues for reusable space system] //Trudy VIAM. 2013. №4. St. 04 (viam-works.ru).
4. Lukina N.F., Dement'eva L.A., Petrova A.P., Serezhenkov A.A. Konstruktsionnye i termostoykie klei [Structural and heat-resistant glues] //Aviatsionnye materialy i tehnologii. 2012. №5. S. 328–335.
5. Dement'eva L.A., Serezhenkov A.A., Bocharova L.I., Anihovskaya L.I., Lukina N.F. Kompozitsionnye materialy klevye na osnove steklyannyh i uglerodnyh napolniteley [Adhesive composite materials on the basis of glass and carbon fillers] //Klei. Germetiki. Tehnologii. 2009. №1. S. 24–27.
6. Kutsevich K.E., Dement'eva L.A., Lukina N.F., Chursova L.V. Svoystva i naznachenie kleya VK-36RM dlya aviatsionnoy tehniki [Properties and functions of VK-36RM glue for aviation equipment] //Klei. Germetiki. Tehnologii. 2013. №8. S. 5–6.
7. Anihovskaya L.I., Minakov V.T. Klei i klevye prepregi dlya perspektivnyh izdeliy aviakosmicheskoy tehniki [Adhesives and adhesive prepregs for advanced products of aerospace engineering] /V kn.: Aviatsionnye materialy. Izbrannye trudy «VIAM» 1932–2002: Yubileynyy nauch.-tehnikh. sb. M.: MISiS–VIAM. 2002. S. 315–326.

8. Dement'eva L.A., Lukina N.F., Serezhenkov A.A., Kutsevich K.E. Osnovnye svoystva i naznachenie PKM na osnove kleevyh prepregov [Basic properties and functions of polymer composite materials based on adhesive prepregs] /V sb. tezisov dokl. XIX Mezhdunarodnoy nauch.-tehnich. konf. «Konstruktsii i tehnologiya polucheniya izdeliy iz nemetallicheskih materialov». Obninsk. 2010. S. 11–12.
9. Dement'eva L.A., Serezhenkov A.A., Lukina N.F., Kutsevich K.E. Kleevye prepregi i sloistye materialy na ih osnove [Adhesive prepregs and laminated materials on their basis] //Aviatsionnye materialy i tehnologii. 2013. №2. S. 19–21.
10. Lukina N.F., Dement'eva L.A., Serezhenkov A.A., Kotova E.V., Senatorova O.G., Sidel'nikov V.V., Kutsevich K.E. Kleevye prepregi i kompozitsionnye materialy na ih osnove [Adhesive prepregs and composite materials on their basis] //Rossiyskiy himicheskii zhurnal. 2010. T. LIV. №1. S. 53–56.
11. Prepreg i izdelie, vypolnennoe iz nego [Prepreg and a product made thereof]: pat. 2427594 Ros. Federatsiya; opubl. 23.07.13.
12. Lukina N.F., Dement'eva L.A., Serezhenkov A.A., Kotova E.V., Senatorova O.G., Sidel'nikov V.V., Kutsevich K.E. Adhesive prepregs and composite materials on their basis //Russian Journal of General Chemistry. 2011. T. 81. №5. P. 1022–1024.
13. Dement'eva L.A., Serezhenkov A.A., Bocharova L.I., Lukina N.F., Kutsevich K.E., Petrova A.P. Svoystva kompozitsionnykh materialov na osnove kleevyh prepregov [Properties of composite materials based on adhesive prepregs] //Klei. Germetiki. Tehnologii. 2012. №6. S. 19–24.
14. Dement'eva L.A., Serezhenkov A.A., Lukina N.F., Kutsevich K.E. Kleevye prepregi i sloistye materialy na ih osnove [Adhesive prepregs and laminated materials on their basis] //Aviatsionnye materialy i tehnologii. 2013. №2. S. 19–21.
15. Kablov E.N., Antipov V.V., Senatorova O.G., Lukina N.F. Novyj klass sloistyh alyumostekloplastikov na osnove alyuminiylitievogo splava 1441 s ponizhennoy plotnost'yu [New class of laminated aluminium glass-plastics based on 1441 low-density aluminum alloy] //Vestnik MGTU im. N.E. Baumana. 2011. Spets. vyp. «Perspektivnye konstruktsionnye materialy i tehnologii». S. 174–184.
16. Fridlyander I.N., Anihovskaya L.I., Senatorova O.G., Sidel'nikov V.V., Dement'eva L.A. Kompozitsionnye kleevye i sloistye metallopolimernye kompozity [Composite adhesive and laminated metal-polymer composites] /Entsiklopediya «Tsvetnye metally i splavy. Kompozitsionnye metallicheskie materialy». M.: Mashinostroenie. 2001. S. 814–831.

17. Anihovskaya L.I., Dement'eva L.A. /V sb. trudov Mezhdunarodnoy konf. «Sloistye kompozitsionnye materialy-98». Volgograd. 1998. S. 170–171.
18. Senatorova O.G., Antipov V.V., Lukina N.F., Sidel'nikov V.V., Kotova E.V. Vysokoprochnye treschinostoykie legkie sloistye alyumostekloplastiki klassa SIAL – perspektivnye materialy dlya aviatsionnykh konstruktsiy [High-strength crack-resistant light laminated aluminium glass-plastics of SIAL class as promising materials for aviation structures] //Tehnologiya legkih splavov. 2010. №1. S. 28–31.
19. Fridlyander I.N., Anihovskaya L.I., Senatorova O.G., Sidel'nikov V.V. i dr. Kleenye metallicheskie i sloistye metallopolimernye kompozity [Glued metal and laminated metal-polymer composites] //Tsvetnye metally i splavy. Kompozitsionnye metallicheskie materialy. 2001. T. II-3. S. 814–832.
20. Sloistyj kompozitsionnyj material i izdelie, vypolnennoe iz nego [Laminated composite material and a product made thereof]: pat. 2185964 Ros. Federatsiya; opubl. 15.04.2004.
21. Fridlyander I.N., Senatorova O.G., Lukina N.F., Antipov V.V. Sloistye alyumopolimernye materialy SIAL [SIAL layered aluminum-bearing polymer materials] /V sb. 75 let. Aviatsionnye materialy. Izbrannye trudy «VIAM» 1932–2007. M.: VIAM. 2007. S. 188–192.
22. Sharova I.A., Petrova A.P. Obzor po materialam mezhdunarodnoy konferentsii po kleyam i germetikam. Frantsiya [Review of papers of the International conference on adhesives and sealants. France.] //Trudy VIAM. 2013. №8. St. 06 (viam-works.ru).