



УДК 678.83

DOI: 10.18577/2307-6046-2014-0-9-6-6

**АРАМИДНЫЙ СЛОИСТО-ТКАНЫЙ МАТЕРИАЛ
ДЛЯ ЗАЩИТЫ ОТ БАЛЛИСТИЧЕСКИХ
И УДАРНЫХ ВОЗДЕЙСТВИЙ**

П.М. Шульдешова

Г.Ф. Железина

кандидат технических наук

Сентябрь 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.

П.М. Шульдешова¹, Г.Ф. Железина¹

АРАМИДНЫЙ СЛОИСТО-ТКАНЫЙ МАТЕРИАЛ ДЛЯ ЗАЩИТЫ ОТ БАЛЛИСТИЧЕСКИХ И УДАРНЫХ ВОЗДЕЙСТВИЙ

Исследован арамидный слоисто-тканый материал, предназначенный для защитных конструкций, в частности – для усиления корпуса вентилятора авиационного турбореактивного двигателя, что позволит обеспечить непробиваемость корпуса при разрушении лопатки вентилятора. Рассмотрено влияние состава и структуры арамидного слоисто-тканого материала на его ударную и баллистическую стойкость.

Ключевые слова: *органопластик, арамидные волокна, слоисто-тканый материал, полимерные композиты, двигатель, баллистическая стойкость, ударная стойкость.*

P.M. Shuldeshova, G.F. Zhelezina

THE ARAMID LAYERED AND WOVEN MATERIAL FOR PROTECTION AGAINST IMPACT AND BALLISTIC INFLUENCES

Article is devoted to research of the aramid layered and woven material intended for protective structures, in particular for reinforcements of the fan frame of an aviation turbojet. The material will provide the impenetrability of the frame in case of fan blades failure. An influence of composition and structure of the layered and woven material on its impact and ballistic resistance is considered.

Keywords: *organoplastics, aramid fibers, layered and woven material, polymer composites, turbojet, ballistic resistance, impact resistance.*

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

Развитие авиационной техники требует постоянного совершенствования материалов. Использование современных композиционных материалов позволяет повысить весовые и эксплуатационные характеристики изделий [1]. Снижение массы воздушного судна имеет принципиальное значение, поскольку позволяет снизить потребление топ-

лива, увеличить полезную нагрузку, т. е. количество пассажиров и объем груза [2–4]. Арамидные пластики как конструкционные материалы, отличаются низкой плотностью, высокими характеристиками прочности и ударной вязкости. Органопластики – многофункциональные материалы. В зависимости от состава и структуры они могут применяться для изготовления деталей различного назначения – конструкционного, электро- и радиотехнического, теплоизоляционного, для защиты от механического и баллистического воздействия [5–7].

При попадании в двигатель самолета птиц или инородных предметов важно, чтобы разрушение лопаток вентилятора не привело к повреждению обшивок планера самолета и системы управления [8]. С целью защиты в авиационных турбореактивных двигателях корпуса вентилятора используют органопластики (Органит 6Н, Органит 6НТ). Органопластик позволяет локализовать зону разрушения и удержать разрушившиеся лопатки внутри корпуса вентилятора.

В соответствии с ужесточенными требованиями норм АП-23 корпус вентилятора двигателя должен удерживать лопатку вентилятора в случае ее разрушения в корневом сечении. При этом вторичные эффекты при разрушении лопатки (разрушение других лопаток, увеличение дисбаланса ротора, местное повышение температуры) не должны приводить к таким опасным последствиям, как возникновение нелокализованного пожара, разлет опасных фрагментов за пределы корпуса двигателя.

Для удерживающего устройства корпуса вентилятора разработан арамидный слоисто-тканый материал. Стойкость арамидного слоисто-тканого материала к высокоскоростному ударному воздействию зависит в первую очередь от баллистической стойкости ткани [9]. Способ фиксации слоев ткани относительно друг друга является наиболее значимым конструктивно-технологическим фактором для обеспечения максимальной реализации баллистических свойств ткани в составе изделия.

В настоящее время в России и за рубежом накоплен большой опыт использования тканей из высокопрочных арамидных волокон (СВМ, Русар, Кевлар, Тварон) для изготовления ненагруженных защитных конструкций (бронежилетов, броневых панелей автомобилей и др.) [10].

Известно, что с уменьшением линейной плотности элементарных волокон (филаментов) баллистическая стойкость тканей повышается [11, 12]. По данным разработчиков ткани из микрофиламентных нитей, именно малый диаметр филаментов в сочетании с химической структурой полимера позволяет нитям выдерживать значительные напряжения при изгибе без разрушения и обеспечивать высокие баллистические характеристики ткани.

При выборе армирующего наполнителя для арамидного слоисто-тканого материала для удерживающего устройства корпуса вентилятора наряду с баллистической стойкостью важным требованием является коррозионная безопасность арамидной ткани по отношению к металлам. Коррозионная безопасность является важнейшей характеристикой авиационных материалов. Коррозионно-опасными (коррозионно-активными)

являются материалы, способные выделять во внешнюю среду кислые или щелочные продукты, вызывающие коррозию. Коррозионную активность оценивают по кислотности материала, выражаемой с помощью водородного показателя – рН водной выдержки, а также по концентрации ионов Cl^- и SO_4^{2-} в водной вытяжке измельченного образца материала. Для авиационных материалов показатель рН водной вытяжки должен быть в пределах 6–7; содержание ионов Cl^- не должно превышать 0,02%; ионов SO_4^{2-} – до 0,05%. Разработанные предприятием ЗАО «КШФ „Передовая текстильщица”» баллистические ткани из нейтральных арамидных нитей удовлетворяют этим требованиям. Целью данной работы является исследование характеристик арамидного слоисто-тканого материала в зависимости от его состава, структуры и технологических способов, используемых при его изготовлении.

Материалы и методы

Для армирования арамидного слоисто-тканого материала выбрана ткань из нейтрального отечественного арамидного волокна. Ткань имеет высокую баллистическую стойкость, повышенную стойкость к поглощению влаги, в том числе благодаря водоотталкивающей пропитке. Ткань имеет высокие технологические свойства (высокая формоустойчивость текстильной структуры и гибкость) и может быть использована для изготовления изделия методом намотки [13, 14].

Слои арамидного слоисто-тканого материала для удерживающего устройства корпуса вентилятора необходимо фиксировать относительно друг друга, чтобы исключить их смещение в процессе эксплуатации и обеспечить работоспособность изделия. Полимерный материал для соединения слоев ткани должен обладать высокой адгезией и химико-технологической совместимостью с арамидными волокнами [15–19].

Для соединения слоев арамидной ткани использовали клеи двух марок – ВКР-27 и ВК-3. Преимуществом клея ВКР-27 является его способность к отверждению при комнатной температуре. Особенностью этого клея является то, что его следует наносить на ткань непосредственно при намотке изделия, т. е. использовать «мокрую» намотку при изготовлении изделия. Клей ВК-3 – клей горячего отверждения. Преимуществом этого клея является возможность изготовления на его основе препрегов (путем предварительного нанесения на арамидную ткань), которые можно использовать при изготовлении изделий методом «сухой» намотки. Клеи ВКР-27 и ВК-3 позволяют реализовать баллистические свойства ткани в составе арамидного слоисто-тканого материала. Технологические характеристики клеев позволяют осуществлять их локальное дозированное нанесение на армирующий наполнитель при изготовлении изделия методом «мокрой» (клей ВКР-27) или «сухой» намотки (клей ВК-3).

Клеи ВКР-27 и ВК-3 обладают высокой липкостью, которая исключает возможность смещения слоев при изготовлении изделия методом намотки. Важно, что при ис-

пользовании этих клеев возможно локальное дозированное нанесение их на поверхность ткани для создания локальных зон фиксации слоев ткани относительно друг друга.

Площадь и характер распределения зон фиксации слоев арамидной ткани могут влиять на весовые характеристики и баллистическую стойкость арамидного слоисто-тканого материала. Для выявления этих закономерностей проведены исследования влияния способа фиксации слоев ткани (соединение слоев ткани по всей поверхности, локальные соединения различной площади) на баллистические характеристики арамидного слоисто-тканого материала и осуществлена оценка свойств такого материала при различном расположении локальных зон фиксации слоев.

Для исследования влияния способов фиксации на баллистическую стойкость арамидного слоисто-тканого материала проводили нанесение полимерного материала на арамидную ткань различными способами (рис. 1):

- равномерное нанесение полимерного материала по всей поверхности ткани (на 100% поверхности ткани);
- локальное нанесение в виде полос шириной 5–20 мм, занимающих от 10 до 50% поверхности ткани.

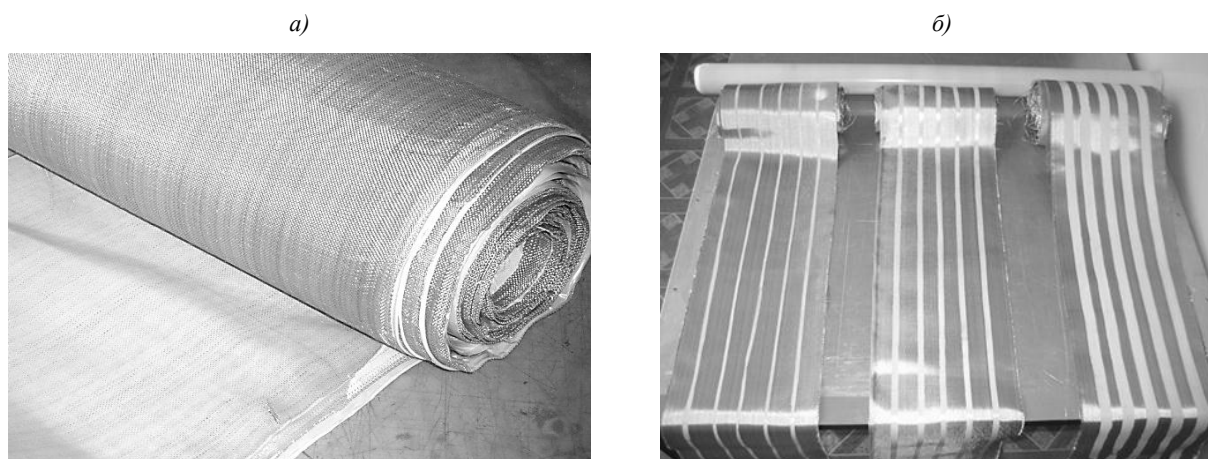


Рисунок 1. Равномерное нанесение клея по всей поверхности ткани (а) и локальное нанесение клея в виде полос шириной 5–20 мм, занимающих от 10 до 50% поверхности ткани (б)

При локальном нанесении варьировали расположение зон нанесения полос клея на поверхность ткани: параллельно нитям основы ткани или под углом к нитям основы.

Баллистические испытания образцов арамидного слоисто-тканого материала проводили на образцах размером 240×240 мм и толщиной 4,5–5,4 мм. Баллистическое воздействие осуществляли стальным шариком массой 1 г, $\varnothing 6,35$ мм из баллистического ствола калибром 7 мм по ГОСТ РВ8470-001–2008 с определением v_{50} – скорости 50%-ного непробития (скорости шарика, при которой вероятность непробития преграды составляет 50%).

Испытания к высокоскоростному ударному воздействию образцов арамидного слоисто-тканого материала проводили ударником (стальной цилиндр массой 20 г, $\varnothing 14$ мм,

длиной 17 мм). Для разгона ударника в стволе пушки использовались гильзы, представляющие собой тонкостенные стаканы из стеклопластика $\varnothing 39,8$ мм с толщиной стенки 1 мм. На дне стакана сделана ответная часть $\varnothing 14$ мм и длиной 7 мм для удержания ударника. Внутри дна гильзы для его укрепления впрессована круглая пластинка из текстолита толщиной 2 мм. Для захвата гильзы, перед образцом устанавливалась ловушка в виде массивной шайбы $\varnothing 70$ мм и сквозным отверстием $\varnothing 25$ мм. При ударе о ловушку цилиндрическая часть гильзы разбивалась на мелкие фрагменты, ее задняя, наиболее массивная, часть задерживалась в ловушке, а цилиндрический ударник продолжал полет с той же скоростью в сторону образца. Испытательная установка и вид образца после ударных испытаний показаны на рис. 2.

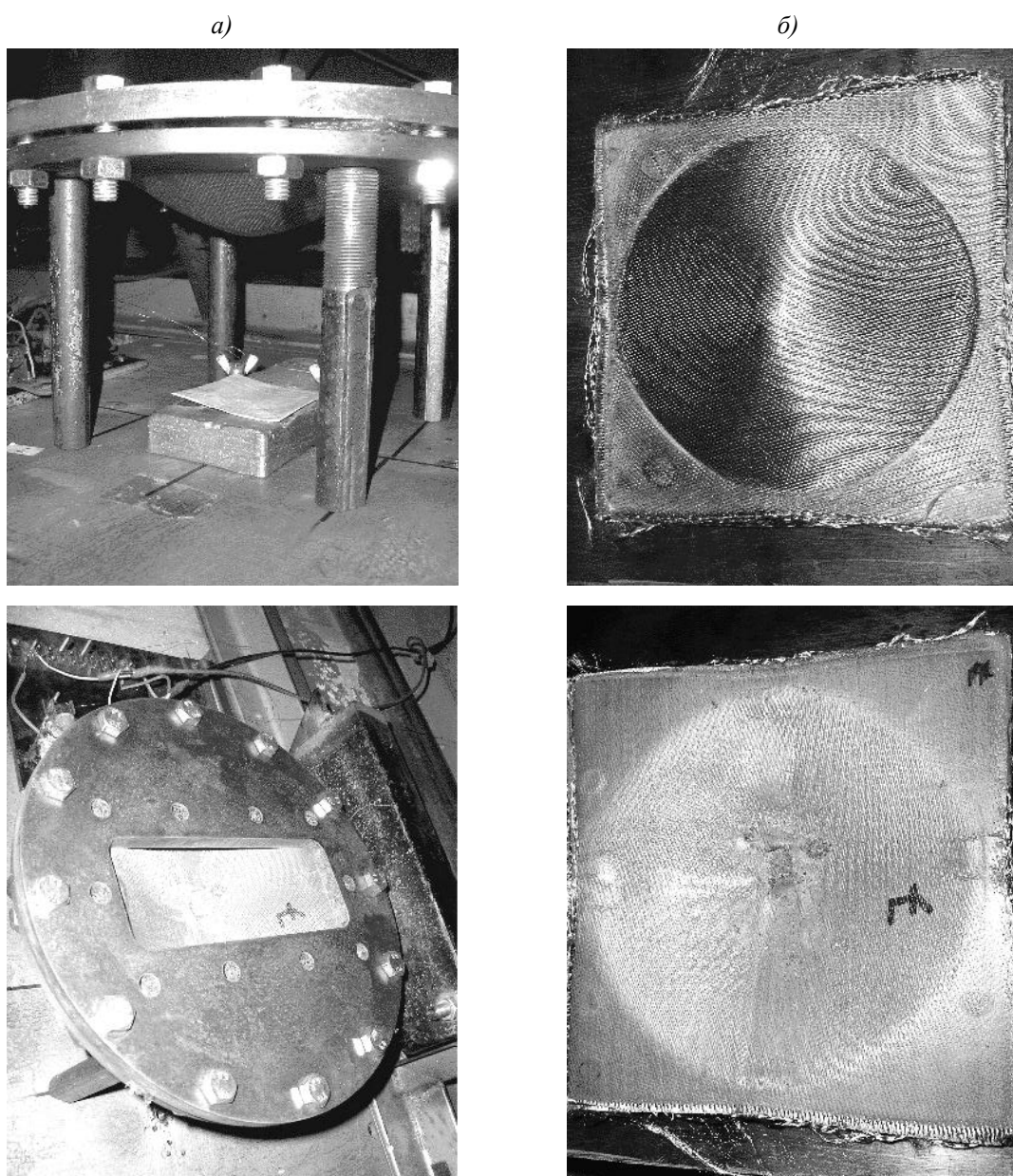


Рисунок 2. Установка для испытаний (а) и вид образца (б) арамидного слоисто-тканого материала после высокоскоростного ударного воздействия

В качестве критерия оценки стойкости арамидного слоисто-тканого материала к высокоскоростному ударному воздействию использовали следующие параметры:

- скорость ударника перед и за образцом;
- остаточная выпуклость образца после удара.

Результаты

В табл. 1 представлены результаты проведенных баллистических испытаний образцов арамидного слоисто-тканого материала, отличающихся размером площади фиксации слоев ткани относительно друг друга и характером распределения зон фиксации в объеме материала.

Таблица 1

Баллистическая стойкость образцов арамидного слоисто-тканого материала в зависимости от способов фиксации слоев ткани

Способ фиксации слоев ткани	Площадь клеевого соединения, %	Характер распределения локальных зон клеевого соединения	Скорость 50%-ного непробития v_{50} , м/с	Коэффициент реализации* отн. ед.
Клеевое соединение по всей поверхности	100	–	440	0,89
Локальное клеевое соединение	50	Друг над другом	479	0,97
	25		483	0,98
	10		478	0,97
	10	Со смещением	491	0,99

* Коэффициент баллистической стойкости рассчитывается как отношение v_{50} арамидного слоисто-тканого материала к v_{50} пакета ткани.

Установлено, что при уменьшении площади зон фиксации (локальное соединение) от 100 до 10% реализация баллистической стойкости ткани возрастает с 0,89 до 0,97, поэтому для реализации высоких баллистических характеристик ткани и снижения массы изделия целесообразно использовать локальное соединение слоев ткани.

Результаты испытаний на стойкость к высокоскоростному ударному воздействию образцов арамидного слоисто-тканого материала с локальным соединением слоев представлены в табл. 2.

Таблица 2

Стойкость опытных образцов арамидного слоисто-тканого материала к высокоскоростному ударному воздействию

Материал*	Скорость ударника, м/с		Выпуклость материала, мм
	перед образцом	за образцом	
Арамидный слоисто-тканый материал	311	186	20
	279	Не пробит	36
	308	Не пробит	41
	296	Не пробит	40
	294	138	28

Пакет арамидной ткани	327	106	–
	302	124	40
	315	196	25
	305	220	–
	301	183	–

* Образцы арамидного слоисто-тканого материала и пакета арамидной ткани содержат одинаковое количество слоев.

В результате проведенных исследований установлено, что по стойкости к высокоскоростному удару опытные образцы арамидного слоисто-тканого материала не уступают пакету исходного армирующего наполнителя. При проведении испытаний на результаты эксперимента большое влияние оказывает положение ударника при соприкосновении его с образцом: наиболее жесткие условия воздействия возникают при ударе ребром ударника.

Локальная фиксация слоев слоисто-тканого материала обеспечивает механическую связь между слоями, но при этом не фиксирует жестко все армирующие волокна, что позволяет обеспечить высокую сопротивляемость такого материала ударному воздействию за счет способности его к большим деформациям и поглощению энергии удара трением, возникающим между отдельными волокнами.

Обсуждение и заключения

На баллистическую стойкость слоисто-тканого материала влияет характер распределения зон фиксации. Наибольшей баллистической стойкостью обладают образцы слоисто-тканого материала с более равномерным распределением зон фиксации в объеме материала, со смещением зон относительно друг друга по толщине материала.

Высокая стойкость арамидного слоисто-тканого материала к ударным и баллистическим воздействиям позволяет рассматривать эти материалы как перспективные для изготовления защитных конструкций различных типов – удерживающих устройств корпуса вентилятора турбореактивных двигателей, панелей, перегородок, обеспечивающих безопасность эксплуатации авиационных конструкций в нестандартных ситуациях (разрушение механизмов, баллистическое поражение пулями и осколками взрывных устройств).

ЛИТЕРАТУРА

1. Каблов Е.Н. Современные материалы – основа инновационной модернизации России //Металлы Евразии. 2012. №3. С. 10–15.
2. 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.

3. Гуняев Г.М., Кривонос В.В., Румянцев А.Ф., Железина Г.Ф. Полимерные композиционные материалы в конструкциях летательных аппаратов //Конверсия в машиностроении. 2004. №4 (65). С. 65–69.
4. Каблов Е.Н. Материалы и химические технологии для авиационной техники //Вестник Российской академии наук. 2012. Т. 82. №6. С. 520–530.
5. Железина Г.Ф. Конструкционные и функциональные органопластики нового поколения //Труды ВИАМ. 2013. №4 (viam-works.ru).
6. Железина Г.Ф. Особенности разрушения органопластиков при ударных воздействиях //Авиационные материалы и технологии. 2012. №S. С. 272–277.
7. Шульдешова П.М., Железина Г.Ф. Влияние атмосферных условий и запыленности среды на свойства конструкционных органопластиков //Авиационные материалы и технологии. 2014. №1. С. 64–68.
8. Железина Г.Ф., Шульдешова П.М. Конструкционные органопластики на основе пленочных клеев //Клеи. Герметики. Технологии. 2014. №2. С. 9–14.
9. Препрег и стойкое к удару и баллистическому воздействию изделие, выполненное из него: пат. 2304270 Рос. Федерация; опубл. 27.02.08.
10. Железина Г.Ф., Соловьева Н.А., Орлова Л.Г., Войнов С.И. Баллистически стойкие арамидные слоисто-тканые композиты для авиационных конструкций //Все материалы. Энциклопедический справочник. Композиционные материалы. 2012. №12. С. 23–26.
11. Деев И.С., Кобец Л.П. Исследование микроструктуры и особенностей разрушения эпоксидных полимеров и композиционных материалов на их основе. Ч. 1 //Материаловедение. 2010. №5. С. 8–16.
12. Деев И.С., Кобец Л.П. Исследование микроструктуры и особенностей разрушения эпоксидных полимеров и композиционных материалов на их основе. Ч. 2 //Материаловедение. 2010. №6. С. 13–18.
13. Хрульков А.В., Душин М.И., Попов Ю.О., Коган Д.И. Исследования и разработка автоклавных и безавтоклавных технологий формования ПКМ //Авиационные материалы и технологии. 2012. №S. С. 292–301.
14. Тимошков П.Н., Коган Д.И. Современные технологии производства полимерных композиционных материалов нового поколения //Труды ВИАМ. 2013. №4 (viam-works.ru).

15. Лукина Н.Ф., Дементьева Л.А., Петрова А.П., Сереженков А.А. Конструкционные и термостойкие клеи //Авиационные материалы и технологии. 2012. №S. С. 328–335.
16. Коган Д.И., Чурсова Л.В., Петрова А.П. Полимерные композиционные материалы, полученные путем пропитки пленочным связующим //Все материалы. Энциклопедический справочник. Композиционные материалы. 2011. №11. С. 2–6.
17. Коган Д.И., Чурсова Л.В., Петрова А.П. Технология изготовления ПКМ способом пропитки пленочным связующим //Клеи. Герметики. Технологии. 2011. №6. С. 25–29.
18. Мухаметов Р.Р., Ахмадиева К.Р., Ким М.А., Бабин А.Н. Расплавные связующие для перспективных методов изготовления ПКМ нового поколения //Авиационные материалы и технологии. 2012. №S. С. 260–265.
19. 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.

REFERENCES LIST

1. Kablov E.N. Sovremennye materialy – osnova innovacionnoj modernizacii Rossii [Modern materials – the basis of innovative modernization of Russia] //Metally Evrazii. 2012. №3. S. 10–15.
2. Kablov E.N. Strategicheskie napravlenija razvitija materialov i tehnologij ih pererabotki na period do 2030 goda [Strategic directions of development of materials and technologies to process them for the period up to 2030] //Авиационные материалы и технологии. 2012. №S. S. 7–17.
3. Gunjaev G.M., Krivonos V.V., Rumjancev A.F., Zhelezina G.F. Polimernye kompozicionnye materialy v konstrukcijah letatel'nyh apparatov [Polymer composite materials in the construction of aircraft] //Konversija v mashinostroenii. 2004. №4 (65). S. 65–69.
4. Kablov E.N. Materialy i himicheskie tehnologii dlja aviacionnoj tehniki [Materials and chemical technologies for aircraft equipment] //Vestnik Rossijskoj akademii nauk. 2012. T. 82. №6. S. 520–530.
5. Zhelezina G.F. Konstrukcionnye i funkcional'nye organoplastiki novogo pokolenija [Structural and Functional organoplastics new generation] //Trudy VIAM. 2013. №4 (viam-works.ru).

6. Zhelezina G.F. Osobennosti razrusheniya organoplastikov pri udarnyh vozdeystvijah [Features destruction organic plastics under Impact] //Aviacionnye materialy i tehnologii. 2012. №S. S. 272–277.
7. Shul'deshova P.M., Zhelezina G.F. Vlijanie atmosferynyh uslovij i zapylenosti sredy na svoystva konstrukcionnyh organoplastikov [Effects of atmospheric conditions and dusty environment on the structural properties of organic plastics] //Aviacionnye materialy i tehnologii. 2014. №1. S. 64–68.
8. Zhelezina G.F., Shul'deshova P.M. Konstrukcionnye organoplastiki na osnove plenochnyh kleev [Structural organoplastics based film adhesives] //Klei. Germetiki. Tehnologii. 2014. №2. S. 9–14.
9. Prepreg i stojkoe k udaru i ballisticheskomu vozdeystviyu izdelie, vypolnennoe iz nego [Prepreg and resistant to impact and ballistic impact of a product made from it]: pat. 2304270 Ros. Federacija; opubl. 27.02.08.
10. Zhelezina G.F., Solov'eva N.A., Orlova L.G., Vojnov S.I. Ballisticheski stojkie aramidnye sloisto-tkanye kompozity dlja aviacionnyh konstrukcij [Ballistic aramid-layered woven composites for aircraft structures] //Vse materialy. Jenciklopedicheskij spravochnik. Kompozicionnye materialy. 2012. №12. S. 23–26.
11. Deev I.S., Kobec L.P. Issledovanie mikrostruktury i osobennostej razrusheniya jepoksidnyh polimerov i kompozicionnyh materialov na ih osnove. Ch. 1 [The microstructure and fracture features of epoxy polymers and composite materials based on them] //Materialovedenie. 2010. №5. S. 8–16.
12. Deev I.S., Kobec L.P. Issledovanie mikrostruktury i osobennostej razrusheniya jepoksidnyh polimerov i kompozicionnyh materialov na ih osnove. Ch. 2 [The microstructure and fracture features of epoxy polymers and composite materials based on them] //Materialovedenie. 2010. №6. S. 13–18.
13. Hrul'kov A.V., Dushin M.I., Popov Ju.O., Kogan D.I. Issledovaniya i razrabotka avtoklavnyh i bezavtoklavnyh tehnologij formovaniya PKM [Research and development and autoclave molding technology bezavtoklavnogo RMB] //Aviacionnye materialy i tehnologii. 2012. №S. S. 292–301.
14. Timoshkov P.N., Kogan D.I. Sovremennye tehnologii proizvodstva polimernyh kompozicionnyh materialov novogo pokolenija [Modern technologies of production of polymer composite materials of new generation] //Trudy VIAM. 2013. №4 (viam-works.ru).

15. Lukina N.F., Dement'eva L.A., Petrova A.P., Serezhenkov A.A. Konstrukcionnye i termostojkie klei [Structural and heat-resistant adhesives] //Aviacionnye materialy i tehnologii. 2012. №S. S. 328–335.
16. Kogan D.I., Chursova L.V., Petrova A.P. Polimernye kompozicionnye materialy, poluchennye putem propitki plenochnym svjazujushhim [Polymer composite material obtained by impregnating a film binder] //Vse materialy. Jenciklopedicheskij spravocnik. Kompozicionnye materialy. 2011. №11. S. 2–6.
17. Kogan D.I., Chursova L.V., Petrova A.P. Tehnologija izgotovlenija PKM sposobom propitki plenochnym svjazujushhim [Manufacturing technology RMB impregnation method binder film] //Klei. Germetiki. Tehnologii. 2011. №6. S. 25–29.
18. Muhametov R.R., Ahmadieva K.R., Kim M.A., Babin A.N. Rasplavnye svjazujushhie dlja perspektivnyh metodov izgotovlenija PKM novogo pokolenija [Melt binders for advanced methods of manufacturing a new generation of PCM] //Aviacionnye materialy i tehnologii. 2012. №S. S. 260–265.
19. Muhametov R.R., Ahmadieva K.R., Chursova L.V., Kogan D.I. Novye polimernye svjazujushhie dlja perspektivnyh metodov izgotovlenija konstrukcionnyh voloknistyh PKM [New polymeric binders for the promising methods for the manufacture of structural fibrous PCM] //Aviacionnye materialy i tehnologii. 2011. №2. S. 38–42.