



Конструкционные органопластики для защиты от ударных и баллистических воздействий

Г.Ф. Железина
кандидат технических наук

И.В. Зеленина

Л.Г. Орлова

В.В. Сидорова

П.К. Платов

Сентябрь 2007

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.

Статья подготовлена для опубликования в журнале «Конверсия в машиностроении», № 2, 2008 г.

Электронная версия доступна по адресу: www.viam.ru/public

Конструкционные органопластики для защиты от ударных и баллистических воздействий

Г.Ф. Железина, И.В. Зеленина, Л.Г. Орлова,
В.В. Сидорова, П.К. Платов

Всероссийский институт авиационных материалов

Разработаны органопластики группы ВКО-2ТБ для изготовления легких конструкций с повышенными требованиями к ударной и баллистической стойкости (корпуса вентиляторов авиационных двигателей, двери и перегородки кабины экипажа пассажирских самолетов, средства индивидуальной баллистической защиты). Материалы пожаробезопасны, устойчивы к действию факторов внешней среды, повышенной влажности, перепадам температур, не обрастают плесневыми грибами при хранении.

There have been developed organoplastics of VKO-2TB group for obtaining high-weight structures with high requirements to impact and ballistic stability (aircraft engine fans cases, crew cabin doors and dividing walls for passenger aeroplanes, means of individual ballistic protection). The materials are fire-proof, resistant to the environment action, increased humidity, temperature drops, do not overgrow with mold fungus under storing.

В авиационной технике органопластики, армированные тканями из арамидных волокон СВМ и Русар, используются для изготовления легких средненагруженных элементов конструкций, стойких к виброакустическим нагрузкам, ударным и эрозионным воздействиям (обшивки планера и лопастей вертолетов, обшивки зализов и носков крыла самолетов и др.).

Основными преимуществами органопластиков как конструкционных материалов являются низкая плотность, высокие характеристики прочности, ударной вязкости и демпфирования. Органопластики второго поколения на основе волокна Русар отличаются повышенными на 20–30%

конструкционными и эксплуатационными характеристиками (по сравнению с органопластиками на основе волокна СВМ), устойчивы к поглощению влаги и термовлажностному старению (табл. 1). Органопластики малочувствительны к различного рода повреждениям и сохраняют высокую конструкционную прочность в случае локальных разрушений при ударных и эрозионных воздействиях различного типа и степени интенсивности (град, мелкие камни, соударение с птицами и др.).

Таблица 1.

Свойства конструкционных органопластиков на основе волокна Русар

Показатель	Органит 16Т-Рус	Органит 18Т-Рус	Органит 18НЖ-Рус
Плотность, г/см ³	1,36	1,32	1,33
Прочность при растяжении, МПа	850	820	1500
Модуль упругости при растяжении, ГПа	40,8	38,5	79,0
Относительное удлинение при растяжении, %	2,3	2,5	2,5
Прочность при сжатии, МПа	250	195	290
Прочность при изгибе, МПа	520	490	710
Прочность при межслойном сдвиге, МПа	35,5	35,5	57,0
Коэффициент Пуассона, отн. ед.	0,085	0,100	–
Водопоглощение за 90 суток, %	1,10	1,55	1,45
Удельная ударная вязкость при изгибе, кДж/м ²	250	200	330
Максимальная температура эксплуатации, °С	150	80	100
Сохранение прочности при статическом изгибе после выдержки 3 мес при φ=98% и T=70°С, %	100	97	98

Примечание. Органопластики Органит 16Т-Рус и 18Т-Рус армированы тканью, Органит 18НЖ-Рус – жгутом.

Благодаря высокой устойчивости к ударным воздействиям детали из органопластиков способны выполнять функции защитных экранов. Так, использование органопластика Органит 6НТ в конструкции корпуса вентилятора газотурбинных авиационных двигателей позволяет удержать разрушившиеся лопасти вентилятора при попадании в двигатель птиц или инородных тел и обеспечить тем самым надежную защиту планера и систем жизнеобеспечения при возникновении нештатной ситуации.

В настоящее время требования к ударной и баллистической стойкости элементов авиационных конструкций повышаются. Так, согласно

ужесточенным требованиям норм АП-23, корпус газотурбинного двигателя должен удерживать лопатку вентилятора в случае ее разрушения в корневом сечении (ранее сертификационные испытания двигателей предусматривали обрыв только надполочной части рабочей лопатки вентилятора). Также повышены требования к ударной стойкости материалов, используемых в конструкциях планера самолета, в частности, перегородка кабины экипажа самолета должна препятствовать проникновению пульь легкого ручного оружия и осколков взрывных устройств.

Для создания эффективных защитных конструкций, к которым предъявляются повышенные требования по ударной и баллистической стойкости, разработана группа конструкционных органопластиков марки ВКО-2ТБ (патент РФ №2304270).

Состав и структура ударобаллистическистойких органопластиков

Выбор армирующего наполнителя и связующего для органопластика проводили с учетом требований, предъявляемых к материалу защитных конструкций как по баллистической стойкости, так и по конструкционной прочности.

В качестве армирующих наполнителей органопластиков использовали ткани из арамидных волокон Русар (с поверхностной плотностью от 80 до 400 г/м²), которые широко применяются в средствах индивидуальной баллистической защиты (каска, бронежилеты).

Важной задачей при выборе полимерного связующего для органопластика является сохранение баллистической стойкости арамидной ткани в составе композиционного материала. Эта задача была решена за счет использования модифицированного фенолокаучукового связующего горячего отверждения. На основе этого связующего и тканей Русар разработан препрег (ТУ 1.595-11-925–2007), способный к длительному хранению (до трех месяцев при комнатной температуре).

Особенностью структуры органопластиков на основе разработанных препрегов является неравномерное распределение полимерной матрицы в

объеме композита – с преимущественным расположением между слоями тканого армирующего наполнителя. Это позволило обеспечить высокую межслойную прочность органопластиков группы ВКО-2ТБ (прочность при отслаивании 2,1 кН/м) и реализовать баллистические характеристики тканей в составе композиционного материала (табл. 2).

Таблица 2.

Противоосколочная стойкость пакетов армирующих наполнителей и органопластиков группы ВКО-2ТБ на их основе

Материал	Количество слоев армирующего наполнителя	$V_{50\%}$, м/с
Органопластик ВКО-2ТБ на основе ткани Русар (атлас, 400 г/м ²)	17	578
Пакет из ткани Русар (атлас, 400 г/м ²)	17	585
Органопластик ВКО-2ТБ на основе ткани СВМ (саржа, 200 г/м ²)	36	578
Пакет ткани СВМ (саржа, 200 г/м ²)	36	590

Примечание. Испытания стальным шариком диаметром 6 мм.

Стойкость органопластиков к ударным воздействиям

При проведении испытаний использовали метод определения стойкости к удару падающим индентором. Удар наносили по плоскому образцу органопластика толщиной 1,8–2,4 мм. После ударного воздействия исследовали характер разрушения образцов (трещины, вмятины) и определяли площадь повреждения с использованием ультразвукового теневого метода неразрушающего контроля.

Испытаниям подвергали органопластик типа ВКО-2ТБ и для сравнения – типовые конструкционные органопластики Органит 7Т, Органит 11Т, Органит 12Т(М) на основе связующих соответственно 5-211-БН, ВК-36, ЭДТ-69Н(М). В качестве армирующего наполнителя во всех случаях использовали равнопрочную ткань СВМ арт. 56313 с поверхностной плотностью 90 г/м².

Установлено, что при ударе с кинетической энергией от 8 до 12 Дж/мм типовые конструкционные органопластики имеют несквозные повреждения (трещины на фронтальной и тыльной поверхностях, расслоения), величина которых зависит от типа связующего в составе композита. При ударе с

кинетической энергией 15 Дж/мм происходит сквозное повреждение всех исследованных типовых конструкционных органопластиков (табл. 3).

Таблица 3.

Стойкость органопластиков к ударным воздействиям

Материал	Удельная энергия удара, Дж/мм	Площадь зоны повреждения, мм ²	Характер повреждений
Органопластик ВКО-2ТБ	8	0	Отсутствие трещин и расслоений
	10	0	
	12	10	Несквозное повреждение (вмятина)
	15	36	
Органит 7Т	10	370	Несквозные повреждения (расслоения, трещины на фронтальной и тыльной поверхностях)
Органит 11Т	10	250	То же
Органит 12Т(М)	8	122	Несквозные повреждения (расслоения, трещины на тыльной поверхности)
	10	192	Несквозные повреждения (расслоения, трещины на фронтальной и тыльной поверхностях)
	12	260	
	15	400	Сквозное повреждение

Органопластик ВКО-2ТБ не имеет трещин и расслоений при ударе с кинетической энергией до 15 Дж/мм (на образцах после ударного воздействия остается область пластического деформирования – вмятина диаметром 6 мм и глубиной 3 мм), по ударной стойкости органопластик значительно превосходит типовые конструкционные органопластики.

Стойкость органопластиков группы ВКО-2ТБ к баллистическому воздействию

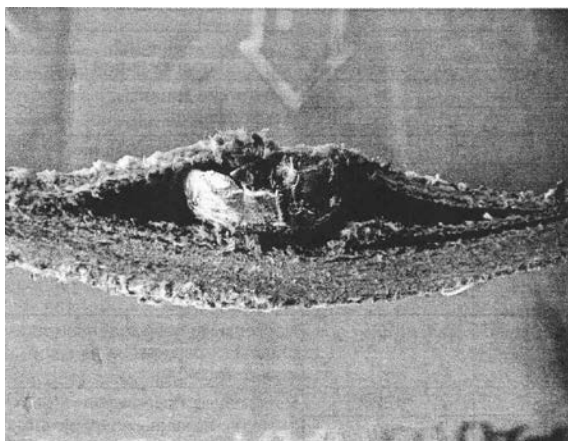
Условия испытаний органопластиков на баллистическую стойкость были выбраны с учетом требований АП-25 п. 25.795, в соответствии с которыми элементы авиационных конструкций (двери, перегородки кабины экипажа) должны препятствовать проникновению пуль легкого ручного оружия и осколков взрывных устройств с параметрами, соответствующими параметрам следующих демонстрационных снарядов:

- демонстрационный снаряд №1 – пуля калибра 9 мм с полностью металлической оболочкой, круглой головкой (FVJ RN номинальной массой 8,0 г и скоростью 436 м/с);

- демонстрационный снаряд №2 – пуля калибра 44 Магнум с пустой полостью (JHP), номинальной массой 15,6 г и скоростью 436 м/с.

Испытаниям подвергали органопластик ВКО-2ТБ толщиной 4,6 мм (масса – 4,93 кг/м²) и уровнем механических свойств: предел прочности при растяжении 670 МПа; предел прочности при изгибе 60 МПа; модуль упругости при изгибе 3,6 ГПа; прочность при отслаивании 2,1 кН/м.

После баллистического воздействия указанными выше снарядами органопластик не имел сквозных повреждений (см. рисунок). Трещины на лицевой и тыльной поверхности образцов отсутствовали. Максимальная глубина проникновения пули составила 30% от толщины органопластика. В результате баллистического воздействия на тыльной стороне образцов возникла область пластического деформирования (выпучивание) высотой 10–15 мм. При препарировании образцов в месте остановки пули наблюдали локальное расслоение материала по границе между слоями, площадь расслоения не более 25 см². В результате взаимодействия с органопластиком пули изменяли свою форму.



Образец после баллистических испытаний (в разрезе)

Баллистически стойкие органопластики группы ВКО-2ТБ могут эксплуатироваться в различных климатических зонах при температуре от

-60°С до +70°С. Материалы имеют хорошую устойчивость к действию факторов внешней среды – повышенной влажности, перепадам температуры, и сохраняют работоспособность (баллистическую стойкость) после их длительного воздействия (табл. 4). При хранении во влажных условиях органоластики не обрастают плесневыми грибами.

Таблица 4.

Свойства органоластика ВКО-2ТБ после воздействия факторов внешней среды

Условия воздействия	Прочность при растяжении, МПа	Прочность при отслаивании поверхностного слоя, кН/м	Сохранение баллистической стойкости, %
Тепловлажностное старение (80 сут при $T=70^{\circ}\text{C}$, $\varphi=95\%$)	520	1,23	100
Термоциклирование (20 циклов: 3 ч при $T=70^{\circ}\text{C}$, затем 3 ч при $T=-60^{\circ}\text{C}$)	740	1,97	100
Камера тропического климата (90 сут)	670	1,99	100

Эксплуатация органоластиков не представляет пожарной опасности. В соответствии с АП-25 п. 25.853 баллистически стойкие органоластики группы ВКО-2ТБ относятся к группе «трудногорающие», поскольку не поддерживают горения после выноса из пламени газовой горелки диаметром факела 40 мм и температурой 840–850°С (время воздействия пламени – 60 с).

Органоластики группы ВКО-2ТБ являются коррозионнобезопасными материалами по отношению к металлам и могут применяться в контакте с алюминиевыми и титановыми сплавами.

Новые органоластики группы ВКО-2ТБ (на основе препрегов из арамидных тканей и фенолокаучукового связующего) являются перспективными материалами для изготовления легких конструкций с повышенными требованиями к ударной и баллистической стойкости (корпуса вентиляторов авиационных двигателей, двери и перегородки кабины экипажа пассажирских самолетов), а также для изготовления защитных экранов различного назначения и средств индивидуальной защиты.