

УДК 678.83

Г.Ф. Железина

**ОРГАНОПЛАСТИК ОРГАНИТ 5Т ДЛЯ ВКС «БУРАН»**

*Для системы вентиляции планера космического самолета «Буран» разработан арамидный органический пластик Органит 5Т, обеспечивающий конструкционную жесткость, герметичность и устойчивость к случайным повреждениям тонкостенных труб воздуховода.*

**Ключевые слова:** органический пластик, арамидные волокна, полимерные композиты, космический самолет.

*5T Organit aramid-based organic plastic was developed for ventilation system of «Buran» reusable spaceship to provide structural stiffness, tightness and resistance to accident-caused damages of thin-walled air duct pipes.*

**Key words:** organic plastic, aramid fibers, polymer composites, spaceship.

Создание космического самолета «Буран» послужило импульсом для развития многих материаловедческих направлений, в частности, для полимерных композиционных материалов, армированных арамидными волокнами – органических пластиков. Потребность в органических пластиках для ВКС «Буран» возникла вследствие того, что ни один из существующих тогда материалов не позволял решить техническую проблему, возникшую из-за особенностей конструкции корабля. Эта проблема касалась необходимости использования разветвленного многометрового воздуховода для охлаждения самолета при посадке [1–3].

При посадке «Бурана» на Землю необходимо было быстро, практически мгновенно, снизить температуру внутри самолета. Иначе существовала вероятность пожара, так как пары остатков топлива скапливались во внутреннем объеме и достаточно было искры, чтобы произошло возгорание. Чтобы «мгновенно» остудить самолет, была спроектирована система воздухопроводов. Как только «Буран» садился на Землю, к нему присоединяли установку, нагнетающую охлажденный воздух. Для того чтобы подать воздух к большому числу объектов внутри самолета, система воздухопроводов имела древообразную структуру с диаметром «веток» от 300 до 20 мм и общей протяженностью десятки метров.

Первоначально для изготовления воздухопроводов был выбран алюминиевый сплав, который на первый взгляд удовлетворял всем необходимым требованиям: прочный, легкий, не накапливающий статического электричества. Однако уже в процессе изготовления обнаружилось, что тонкостенный воздухопровод из алюминия очень уязвим к механическим повреждениям, которые весьма вероятны при изготовлении и эксплуатации конструкции. При механическом сдавливании, смятии воздухопровод терял свою форму – «схлопывался», и восстановить его не представлялось возможным. Увеличивать толщину стенки для повышения конструкционной жесткости было нельзя, так как это привело бы к недопустимому увеличению массы конструкции.

Для создания максимально легкой конструкции трубопровода требовался материал, обеспечивающий необходимую прочность и жесткость трубы при минимальной толщине стенки 0,4–0,5 мм. Такие трубы должны были сохранять конструкционную прочность и герметичность при многократных перепадах температуры и давления, не накапливать заряды статического электричества, иметь устойчивость к случайным механическим повреждениям.

Все эти задачи удалось решить путем разработки арамидного органотекстолита Органит 5Т, получаемого методом намотки. В составе композита в качестве армирующего наполнителя использовали ткань из высокопрочного арамидного волокна СВМ в сочетании с эпоксиизоцианатным связующим ЭП-2МК.

Отличительной особенностью арамидных органических пластиков как конструкционных материалов является низкая плотность, высокая прочность при растяжении, стойкость к ударным и эрозионным воздействиям [4, 5]. Благодаря этим качествам разработанный для трубопроводов органический пластик Органит 5Т (табл. 1) обеспечил работоспособность труб при толщине стенок 0,3–0,4 мм и рабочем давлении 0,8 ат в диапазоне рабочих температур от -130 до +150°C. Материал устойчив к воздействию климатических факторов, тепловому и радиационному старению (табл. 2). Органит 5Т является самозатухающим материалом, нетоксичен, стоек к химическому (бензин, соляная кислота, щелочь, этиловый спирт) и микологическому воздействию.

Благодаря особенностям поведения органических пластиков под действием механических нагрузок (высокие деформации при изгибе, отсутствие хрупкого разрушения, сохранение монолитности при изгибающих нагрузках [6–8]) трубы из органического пластика Органит 5Т имеют высокую устойчивость к механическим повреждениям. Они способны восстанавливать свою форму после удара, изгиба, смятия и других воздействий, вызывающих значительные локальные деформации.

Таблица 1

Физико-механические свойства органопластика Органит 5Т

Характеристика	Значение характеристик при температуре испытания, °С		
	20	80	150
Плотность, г/см <sup>3</sup>	1,3	–	–
Прочность при растяжении, МПа	545	390	280
Модуль упругости при растяжении, ГПа	34,3	19,2	16,3
Прочность при сжатии, МПа	165	152	123
Прочность при статическом изгибе, МПа	310	250	100

Таблица 2

Влияние различных факторов на прочностные характеристики органопластика Органит 5Т

Характеристика	Значение характеристик после экспозиции в условиях		
	термостарения (5000 ч, $T=100^{\circ}\text{C}$ )	ускоренных климатических испытаний* (3 мес)	радиационного старения (доза облучения 22,5 МГр)
Прочность при растяжении, МПа	455	450	–
Прочность при сжатии, МПа	190	120	177
Прочность при статическом изгибе, МПа	350	230	–

\* Режим одного цикла: 8 ч при температуре 50°C и влажности 100% + 12 ч при температуре 20°C и влажности 100% + 4 ч при температуре 20°C и влажности 65% (испытания образцов проводили во влажном состоянии).

Трубы для системы вентиляции и наддува планера изготавливали методом намотки ленты препрега шириной 25–40 мм на металлическую оправку. Благодаря использованию эпоксиизоцианатного связующего препрега органопластика Органит 5Т имеет хорошие технологические свойства и повышенную липкость, что необходимо для изготовления изделий методом намотки.

Проблема обеспечения герметичности тонкостенных труб из органопластика была решена благодаря использованию клеевой эпоксиполиамидной пленки марки ПКС-171. Один слой пленки толщиной 40 мкм вводили в состав органопластика Органит 5Т и отверждали совместно с композитом. Это позволило обеспечить минимальные потери воздуха при продувке труб (не более 5 кг/(ч·м<sup>2</sup>) при  $\Delta P=0,4$  ат).

Для предотвращения электризуемости трубопроводов были разработаны способы изготовления органопластика, способного не накапливать статическое электричество. С этой целью на поверхность органопластика приформовывали металлизированную полиэтилентерефталатную пленку или проводили обработку поверхности терморезистивной антистатической эмульсией АСЭ-1. Приформовывание металлизированной полиэтилентерефталатной пленки проводили совместно с отверждением органопластика. В результате значение поверхностного сопротивления материала составило ~100 Ом, что обеспечило стекание зарядов статического электричества. На рисунке показаны элементы труб из органопластика с различными покрытиями для защиты от накопления статического электричества.



Элементы труб с различными покрытиями для защиты от накопления статического электричества

Производство комплектов труб различных типоразмеров из органопластика Органит 5Т было организовано в условиях предприятия ОНПО «Технология» при непосредственном участии сотрудников ВИАМ: Г.П. Машинской, Р.З. Волошиновой, И.Н. Квашениковой, В.М. Фадеевой и др. Были разработаны способы соединения труб, ремонта, механической обработки. Для монтажа труб был предложен метод намотки стыков труб тканой лентой из нити СВМ шириной 40 мм с использованием клея холодного отверждения ВК-9.

Разработанная конструкция трубопроводов из органопластика на период создания не имела аналогов в отрасли. Использование органопластика Органит 5Т в деталях системы наддува и вентиляции планера вместо алюминиевых сплавов позволило снизить массу космического самолета «Буран» на 50 кг.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Доспехи для «Бурана». Материалы и технологии ВИАМ для МКС «Энергия–Буран» /Под общ. ред. акад. РАН Е.Н. Каблова. М.: Фонд «Наука и жизнь». 2013. 128 с.
2. Каблов Е.Н. Стратегические направления развития материалов и технологий их переработки на период до 2030 года //Авиационные материалы и технологии. 2012. №S. С. 7–17.
3. Гращенко Д.В., Чурсова Л.В. Стратегия развития композиционных и функциональных материалов //Авиационные материалы и технологии. 2012. №S. С. 231–242.
4. Железина Г.Ф. Особенности разрушения органо-пластиков при ударных воздействиях //Авиационные материалы и технологии. 2012. №S. С. 272–277.
5. 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.
6. Mashinskaya G.P., Zhelezina G.F., Senatorova O.G. Laminated Fibrous Metal – Polymer Composites Soviet Advanced Composites Technology Series //Chapman & Hall. 1995. P. 487–570.
7. Машинская Г.П. Органопластики – итоги и проблемы /В сб. Авиационные материалы на рубеже XX–XXI веков: Науч.-технич. сб. М.: ВИАМ. 1994. С. 219–228.
8. Гуняев Г.М., Железина Г.Ф., Кривонос В.В., Румянцев А.Ф. Полимерные композиционные материалы в конструкциях летательных аппаратов /В сб.: Авиационные материалы и технологии. Вып. «Полимерные композиционные материалы». М.: ВИАМ. 2002. С. 12–20.