

цикла к циклу площадь схватывания увеличивается, незначительно повышая трансверсальную прочность боралюминия.

При температурах 500–525°C матричный сплав формирует контакт по всей поверхности волокна, и образуется монолитный композиционный материал, трансверсальная прочность которого в 3–3,5 раза превышает прочность материала, сформированного при температуре 450°C.

Выявлена критическая температура, при которой уже на 1 цикле нагрев–охлаждение формируется материал с практически полным охватом поверхности волокна деформирующейся матрицей. Для сплава АД33 и волокон бора диаметром 140 мкм эта температура составляет 500°C. Полученный при этом боралюминий не чувствителен к количеству дальнейших циклов нагрев–охлаждение.

Таким образом, при изготовлении деталей сложной конструкции из боралюминия по многоэтапному технологическому процессу, при любом количестве циклов нагрев–охлаждение, первый цикл необходимо проводить при температуре не ниже 500°C.

*Г.Ф. Железина, И.В. Зеленина, Н.П. Кувшинов,
Л.Г. Орлова, В.В. Сидорова, Н.А. Соловьева*

АВИАЦИОННЫЕ ОРГАНОТЕКСТОЛИТЫ С ПОВЫШЕННОЙ ВЛАГОСТОЙКОСТЬЮ НА ОСНОВЕ АРАМИДНОГО ВОЛОКНА РУСАР

Весовое совершенство авиационных конструкций в значительной степени зависит от применения легких, прочных и ударостойких полимерных композитов – органопластиков, армированных высокопрочными арамидными волокнами.

Конструкционные органопластики на основе арамидного волокна СВМ отличаются высокой удельной прочностью, стойкостью к динамическим нагрузкам, низкой скоростью роста усталостных трещин, высокими демпфирующими характеристиками. Органопластики мало чувствительны к различного рода повреждениям и сохраняют высокую конструкционную прочность в случае локальных разрушений при ударных, эрозионных и других воздействиях.

Опыт эксплуатации органопластиков первого поколения в составе авиационных конструкций показывает, что эти материалы имеют достаточно высокую эксплуатационную надежность в различных климатических зонах – календарный срок эксплуатации составляет не менее 5 лет. Однако в сравнении с композитами на основе стеклянных и углеродных волокон органопластики на основе волокна СВМ в большей степени сорбируют атмосферную влагу. Повышенное водопоглощение органопластиков традиционно считается основным недостатком этих материалов, несмотря на то что по уровню сохранения конструкционных свойств при увлажнении органопластики не уступают угле- и стеклопластикам.

Один из путей дальнейшего совершенствования авиационных органопластиков – это использование в их составе нового арамидного волокна Русар, обладающего пониженным водопоглощением и более высокими, по сравнению с волокном СВМ, механическими свойствами.

На основе арамидного волокна Русар разработана новая группа органопластиков: Органит 12Т(М)-Рус, Органит 18Т-Рус (на рабочую температуру 80°C) и Органит 16Т-Рус (на рабочую температуру 150°C).

В составе органопластиков использовали типовые эпоксидные связующие ЭДТ-69Н(М), ЭНФБ-2М и ВС-2526к. В качестве армирующего наполнителя новых ор-

ганопластиков использовали ткань Русар, аналогичную по текстильной структуре и весовым характеристикам ткани СВМ (арт. 56313).

Разработана технология совмещения ткани Русар с эпоксидными связующими и получения на их основе долгоживущих препрегов с жизнеспособностью от трех месяцев (препрег Органита 16Т-Рус) до одного года (препрег Органита 18Т-Рус) при хранении в холодильнике.

Физико-механические характеристики органопластиков приведены в табл. 1. По сравнению с типовыми органопластиками на основе ткани СВМ органопластики Органит 18Т-Рус, Органит 12Т(М)-Рус, Органит 16Т-Рус имеют повышенные на 20–30% прочность и модуль упругости при растяжении и обладают пониженным на 30–40% водопоглощением.

Таблица 1

Характеристики	Физико-механические свойства органопластиков					
	Значения характеристик Органитов					
	12Т(М)	12Т(М)-Рус	18Т	18Т-Рус	16Т	16Т-Рус
Плотность, г/см ³	1,35–1,38		1,30–1,33		1,35–1,37	
Предел прочности при растяжении, МПа	700	880	650	820	700	850
Модуль упругости при растяжении, ГПа	30	35	30,5	38,5	37,5	40
Предел прочности при изгибе, МПа	460	460	490	490	520	520
Водопоглощение, %:						
за 1 сут	0,15	0,12	0,15	0,09	0,35	0,1
за 90 сут	2,50	1,75	2,50	1,55	2,60	1,10

Испытания органопластиков при максимальной температуре эксплуатации показали, что сохранение свойств Органитов 12Т(М)-Рус, 18Т-Рус при температуре 80°C составляет 78–85%, а для Органита 16Т-Рус сохранение свойств при температуре 150°C составит 70–85% – от уровня свойств при 20°C.

С целью оценки эксплуатационной надежности новых органопластиков проведены исследования свойств материалов после длительного теплового и тепловлажностного воздействия. Известно, что стабильность механических свойств полимерных композитов в тепловлажностных условиях зависит от стойкости к поглощению влаги, что в свою очередь зависит от сорбционной активности компонентов (волокна и полимерной матрицы), их объемного соотношения, плотности и других факторов.

Исследовали влияние плотности на водопоглощение Органита 12Т(М)-Рус (рис. 1). Установлено, что образцы Органита 12Т(М)-Рус с плотностью более 1,35 г/см³ имеют наименьшее водопоглощение. Равновесное водопоглощение достигается в образцах к трем месяцам экспозиции (кривая водопоглощения меняет угол наклона и выходит на горизонтальное плато). Образцы с плотностью менее 1,33 г/см³ имеют существенно более низкую водостойкость и продолжают активно сорбировать воду после четырех месяцев экспозиции. Полученные данные подтверждают, что для обеспечения стабильности и эксплуатационной надежности органопластика следует вести его жесткую отбраковку по плотности, содержанию связующего и толщине монослоя.

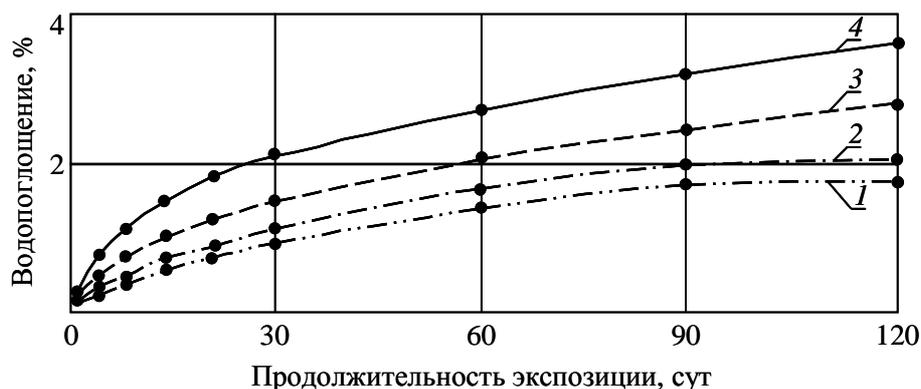


Рис. 1. Зависимость водопоглощения Органита 12Т(М)-Рус от его плотности d , г/см³:
1 – 1,37; 2 – 1,35; 3 – 1,33; 4 – 1,31

Для оценки эксплуатационной надежности органопластиков Органиты 12Т(М)-Рус и 18Т-Рус исследовали их физико-механические свойства после тепло-влажностного старения в течение до 12 недель при температуре 70°C и влажности $\phi=98\%$ (табл. 2). В тех же условиях проводили определение количества сорбированной влаги. Сравнительные кривые влагопоглощения при $T=70^\circ\text{C}$ и $\phi=98\%$ органопластиков на основе тканей СВМ и Русар приведены на рис. 2 и 3.

Таблица 2

Тепловлажностное старение органопластиков Органит 12Т(М)-Рус и Органит18Т-Рус

Время экспозиции, нед	$T_{\text{исп}}, ^\circ\text{C}$	Свойства Органитов			
		12Т(М)-Рус		18Т-Рус	
		Прочность при изгибе, МПа	Влагопоглощение, %	Прочность при изгибе, МПа	Влагопоглощение, %
Контрольные образцы	20	460	–	500	–
	80	350	–	400	–
2	20	460	1,4	505	1,5
	80	320	–	355	–
4	20	450	1,9	505	1,85
	80	310	–	355	–
6	20	450	2,2	500	2,2
	80	310	–	350	–
8	20	450	2,2	500	2,3
	80	300	–	345	–
12	20	440	2,4	485	2,3
	80	290	–	350	–

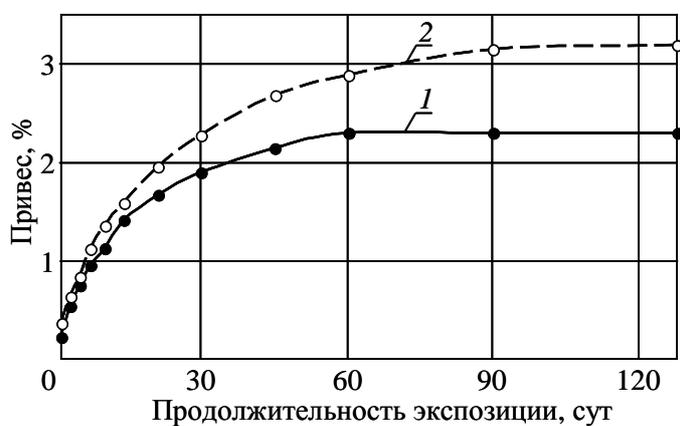


Рис. 2. Влагопоглощение (при $T=70^\circ\text{C}$, $\phi=98\%$) органопластиков Органит 18Т-Рус (1) и Органит 18Т (2)

Исследование органопластиков Органитов 12Т(М)-Рус и 18Т-Рус после тепловлажностного старения в течение 3 мес показало, что сохранение прочности при статическом изгибе составляет 97% (при температуре испытаний 20°C) и 85% – при температуре испытаний 80°C.

Сравнение свойств органопластиков на основе тканей Русар и СВМ после тепловлажностного старения свидетельствует, что уровень сохранения свойств у Органитов 12Т(М)-Рус и 18Т-Рус на 20–30% выше, чем у органопластиков на основе ткани СВМ (Органиты 12Т(М) и 18Т). Равновесное влагопоглощение у органопластика Органит 18Т-Рус на 40% ниже, чем у органопластика Органит 18Т на основе ткани СВМ (см. рис. 2.) Кроме этого, равновесное насыщение у Органита 18Т-Рус наступает раньше – через 60 сут, а у Органита 18Т – только через ~100 сут.

Анализируя характер кривых (см. рис. 3), следует отметить, что к 90 сут органопластик Органит 12Т(М)-Рус практически выходит на равновесное насыщение, тогда как Органит 12Т(М) продолжает активно сорбировать влагу. Влагопоглощение у органопластика Органит 12Т(М)-Рус после 90 сут экспозиции в тепловлажностной камере в 2 раза ниже, чем у Органита 12Т(М) на основе ткани СВМ.

Для оценки эксплуатационной надежности органопластика Органит 16Т-Рус были определены его свойства (предел прочности и модуль упругости при статическом изгибе, влагопоглощение) после тепловлажностного старения при $T=70^{\circ}\text{C}$ и $\phi=98\%$ и в камере тропиков. Полученные результаты приведены в табл. 3.

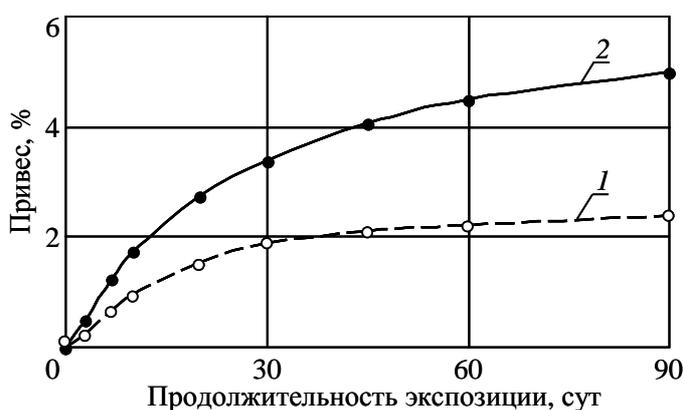


Рис. 3. Влагопоглощение (при $T=70^{\circ}\text{C}$, $\phi=98\%$) органопластиков Органит 12Т(М)-Рус (1) и Органит 12Т(М) (2)

Таблица 3

Свойства Органита 16Т-Рус после тепловлажностного старения

Условия испытания	Срок экспозиции	$\sigma_{в.и}$, МПа		$E_{и}$, ГПа		Влагопоглощение, %
		при температуре испытания, °С				
		20	170	20	170	
При $T=70^{\circ}\text{C}$, $\phi=98\%$	Контрольные образцы	540	260	29,4	17,7	–
	2 нед	550	265	23,9	16,8	1,28
	4 нед	495	225	23,7	14,4	1,84
	6 нед	525	205	28,8	12,7	1,92
	8 нед	565	190	25,9	12,6	2,20
	12 нед	550	200	27,3	14,2	2,10
В камере тропиков	1 мес	530	275	22,3	17,4	0,82
	3 мес	550	260	28,0	17,6	1,28

Данные табл. 3 показывают, что прочность органопластика при статическом изгибе (при 20°C) после тепловлажностного старения (как при $T=70^{\circ}\text{C}$ и $\phi=98\%$, так и в камере тропиков) остается на уровне прочности исходного материала. Сравнение $\sigma_{в.и}$ и $E_{и}$ при температуре 20°C, а также влагопоглощения после выдержки в течение 3 мес в различных условиях позволяет сделать вывод о том, что условия экспозиции при $T=70^{\circ}\text{C}$ и $\phi=98\%$ являются более жесткими, чем испытание в камере тропиков. Влаго-

поглощение после трех месяцев камеры тропиков составляет 1,28%, что на 38% ниже, чем после экспозиции при $T=70^{\circ}\text{C}$ и $\phi=98\%$. Испытания при повышенной температуре показали, что после экспозиции в камере тропиков прочность остается на уровне исходной прочности, а после 3 мес экспозиции при $T=70^{\circ}\text{C}$ и $\phi=98\%$ сохранение прочности при изгибе составляет лишь 77% от исходной прочности при повышенной температуре.

Таким образом, исследование конструкционных и эксплуатационных характеристик органопластиков на основе нового арамидного волокна Русар показало, что органопластики второго поколения имеют пониженное водопоглощение, повышенную стабильность свойств в тепловлажностных условиях и повышенные на 20–30% прочность и модуль упругости при растяжении.

Использование органопластиков на основе волокна Русар для изготовления средне- и слабонагруженных деталей планера самолетов (например, Ту-334: обшивки зализа крыла; элементы закрылка; форкиль; обшивки нижней части киля; обшивки носков крыла и др.) позволит увеличить эксплуатационную надежность авиационных конструкций, в том числе в условиях теплого влажного климата.

*Ю.О. Попов, Т.В. Колокольцева,
Л.С. Беспалова, А.В. Хрульков, Д.И. Коган*

СТЕКЛОПЛАСТИК ВПС-31 И ГИБРИДНЫЙ КОМПОЗИЦИОННЫЙ МАТЕРИАЛ ВКГ-5 ИЗ ОДНОНАПРАВЛЕННЫХ ПРЕПРЕГОВ НА ОСНОВЕ РАСПЛАВНОГО СВЯЗУЮЩЕГО И ЖГУТОВЫХ УГЛЕ-, СТЕКЛОПОЛНИТЕЛЕЙ

В зарубежной практике достаточно широкое применение получила технология «сухой» намотки деталей летательных аппаратов из однонаправленных лент (препрегов) на основе армирующих наполнителей в виде непрерывных стекло-, угле-, органо-волокон и различных связующих [1–3]. В отечественной промышленности с середины 70-х годов прошлого века, в изделиях последнего поколения разработки ОАО «МВЗ им. М.Л. Миля» применяется технология намотки лонжеронов лопастей несущих и рулевых винтов вертолетов. Казанским вертолетным заводом, ОАО «Роствертол» и заводом «Вперед» освоена серийная технология производства лопастей с лонжеронами из ПКМ методом «сухой» спиральной намотки.

Базовыми технологиями производства таких лонжеронов являются:

- получение однонаправленных лент препрегов на установках типа УЛС;
- намотка заготовок лонжеронов на станках типа НЛ;
- формование лонжеронов в ступельных пресс-формах или автоклаве.

Использование технологии намотки лонжеронов лопастей на станках с ЧПУ позволяет механизировать процесс сборки заготовок, сократить влияние человеческого фактора на качество сборки и тем самым стабилизировать свойства получаемых деталей.

Опыт применения гибридного материала на основе препрега ВМПС/УКН-М-3К/УП2227 на Казанском вертолетном заводе для изготовления лонжеронов позволил значительно повысить крутильную жесткость лонжеронов и увеличить подъемную силу винтов. Так, на вертолете Ми-38МТ использование гибридных материалов в лонжеронах лопастей позволило увеличить подъемную силу винта более чем на 1 тс.

Слабым звеном лопастного производства являются «недолгоживущие» препреги (5–12 дней при 20°C), низкопроизводительная, экологически опасная, энергоемкая рас-