



УДК 678.067.5

СТЕКЛОПЛАСТИКИ НА ТЕРМОПЛАСТИЧНОЙ МАТРИЦЕ

Э.Я. Бейдер

кандидат технических наук

Г.Н. Петрова

кандидат технических наук

Т.Ф. Изотова

С.Л. Барботько

кандидат технических наук

Июль 2013

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 «Труды ВИАМ», №7,
2013 г.

Э.Я. Бейдер, Г.Н. Петрова, Т.Ф. Изотова, С.Л. Барботько

СТЕКЛОПЛАСТИКИ НА ТЕРМОПЛАСТИЧНОЙ МАТРИЦЕ

Приведены физико-механические и пожаробезопасные свойства стеклопластиков на основе теплостойких термопластичных связующих, выпускаемых в РФ. Показано, что материалы имеют высокие прочностные свойства и удовлетворяют нормам АП-25, FAR-25.853 по пожаробезопасности.

***Ключевые слова:** полимерный композиционный материал, термопластичные связующие, физико-механические характеристики, пожаробезопасные свойства.*

E.Y. Beyder, G.N. Petrova, T.F. Izotova, S.L. Barbotko

GLASS REINFORCED PLASTICS ON THE BASIS OF THERMOPLASTIC MATRIX

In the article the physical, mechanical and fire-resistant properties of glass reinforced plastics based on heat-resistant thermoplastic binders, made in RF, are given. It is shown, that materials have high strength properties and satisfied the standards of AP-25, FAR-25.853 for fire safety.

***Key words:** composite polymeric material, thermoplastic binders, physical and mechanical properties, fire-resistant properties.*

Стеклопластики являются самыми распространенными представителями полимерных композиционных материалов (ПКМ) во многих областях промышленности и сферах жизнедеятельности человека, далеко опережая по объемам производства и потребления ПКМ на основе других видов волокнистых наполнителей [1–5].

Основными причинами их лидирующего положения являются высокая прочность стеклянных волокон, доступность и дешевизна сырья, многолетний опыт их налаженного автоматизированного производства, разнообразие составов и свойств стеклянных волокон, способов их текстильной переработки, а также большой ассортимент связующих, которые позволяют добиваться требуемого уровня свойств, предъявляемых к ПКМ различного назначения.

В настоящее время стеклопластики используются в качестве конструкционных материалов в машиностроении, авиационной и космической технике, строительстве, химическом машиностроении и сельском хозяйстве; в качестве электроизоляционных материалов – в радиоэлектронике, приборостроении, электротехнике.

В качестве полимерной матрицы в стеклопластиках более 40 лет использовались терморезистивные полимеры [3, 6–8]. Однако в последние годы терморезистивные связующие стали заменять на термопластичные [1, 2, 4, 9, 10].

По сравнению с традиционными ПКМ на основе терморезистивных связующих (как правило – эпоксидных) композиционные термопластичные материалы (КТМ) обладают следующими достоинствами:

- *эксплуатационные* – на 20–40% выше стойкость к ударным нагрузкам и локальным повреждениям; устойчивость к воде и дождевой эрозии, химическая стойкость, в том числе к топливам и маслам, огнестойкость, пониженное дымообразование и токсичность при пожаре; ремонтпригодность (материалы легко свариваются);

- *технологические* – возможность формования деталей на металлургическом оборудовании (штамповкой, вытяжкой, прокаткой), короткий цикл формообразования; возможность переформовки бракованных изделий; КИМ (коэффициент использования материалов) – до 95%, неограниченный срок хранения полуфабрикатов и изделий [2, 4, 11].

Практически все промышленно выпускаемые термопласты могут служить матрицей для КТМ. Но в последние 10–15 лет тенденцией в развитии КТМ, в том числе и стеклопластиков, является использование термостойких высокопрочных термопластов: полиарилсульфонов, полиэфиркетонов, полиимидов, полифениленсульфидов и др. [1, 2, 4, 12].

За рубежом организованы специализированные фирмы, занимающиеся разработкой марочного ассортимента КТМ и выпуском на их основе препрегов, листов, профильных и специализированных изделий и конструкций.

В данной статье рассмотрены физико-механические и пожаробезопасные свойства стеклопластиков на основе термостойких высокопрочных термопластичных связующих, которые разработаны и выпускаются в ВИАМ [2, 10].

Формование стеклопластиков осуществлялось способом прямого прессования на гидравлическом прессе при температуре, на 110–130°C превышающей температуру стеклования термопластичного связующего, при удельном давлении – до 1,5 МПа. В качестве наполнителей были использованы стеклоткани конструкционного назначения

марок Т-15(п)-76 и Т-10(ВМП)-4с; в качестве матрицы – термопластичные материалы полисульфон, полиарилсульфон, полиэфирсульфон и поликарбонат.

Исследование свойств стеклопластиков осуществлялось по стандартным методикам в соответствии с ГОСТ 15139, ГОСТ 4650, ГОСТ 11262, ГОСТ 4651, ГОСТ 4848. Образцы для испытаний получены механической обработкой из листового пластика толщиной ≥ 2 мм, вырезанных по основе.

Физико-механические свойства разработанных материалов приведены в табл. 1. Видно, что механические свойства термопластичных стеклопластиков в значительной мере определяются структурой наполнителя и наличием аппрета.

Таблица 1

Физико-механические свойства отечественных стеклопластиков [2–4, 10]

Стеклопластик	Состав стеклопластика		Плотность, кг/м ³	Водопоглощение (за 24 ч), %	T _{испыт.} , °С	E _в , ГПа	σ _в	σ _{в.сж}	σ _{в.н}	Температура эксплуатации, °С
	наполнитель (марка стеклоткани)	связующее								
КТМС-1	Т-15(п)-76 (аппретированная)	Полисульфон	1580–1600	0,1	-60 +20 +80	19,0	600	500	650	От -60 до +80
						16,0	410	410	540	
						15,0	380	330	480	
КТМС-1П	Т-15(п)-76	Полисульфон, полиарилсульфон	1550–1580	0,4	+20 +80	14,0	330	320	440	От -60 до +80
						13,0	305	280	410	
СТ-520-15	Т-15(п)-76	Фенолформальдегидное	1340–1400	0,9	+20 +80	14,0	350	200	430	От -60 до +80
						13,0	320	190	430	
КТМС-2	Т-15(п)-76 (аппретированная)	Поликарбонат	1570–1580	0,18	-60 +20 +80	19,5	500	280	410	От -60 до +80
						17,0	400	285	380	
						15,5	380	255	340	
ВПС-38Т	Т-10(ВМП)-4с	Полиэфирсульфон	1850–1880	0,98	-60 +20 +150	24,0	510	360	460	От -60 до +150
						24,5	565	400	610	
						23,5	470	335	450	
СТ-520т	Т-10-80	Фенолформальдегидное	1700–1750	0,5	+20 +80	–	460	350	550	От -60 до +80
						–	420	250	480	

Показано, что по прочностным свойствам разработанные стеклопластики на термопластичной матрице не уступают традиционным – на основе терморезактивных смол, а по водостойкости превышают показатели последних.

Исследованы пожаробезопасные свойства разработанных стеклопластиков на соответствие требованиям отечественных (АП-25) и зарубежных (FAR-25.853) норм по пожаробезопасности: горючесть, дымообразование и тепловыделение [13–16].

Горючесть определяли в соответствии с требованиями АП-25 Приложение F, Часть I, п. 853(а); дымообразование – согласно АП-25 Приложение F, Часть V, п. 853(d), а также по ГОСТ 24632 и ASTM F814; тепловыделение – в соответствии с АП-25 Приложение F, Часть IV, а также по СТП 1-595-20-341–2000 и ASTM E906.

Изучено влияние на указанные свойства не только типа наполнителя и связующего, но и толщины стеклопластика (табл. 2).

Таблица 2

Пожаробезопасные свойства термопластичных стеклопластиков [10, 13–16]

Стеклопластик	Толщина, мм	Горючесть		Дымообразование			Тепловыделение*		
		продолжительность остаточного горения, с	классификация	режим испытания горение/пиролиз			группа дымообразования	максимальная интенсивность выделения тепла (пик), кВт/м ²	общее количество выделившегося тепла за первые 2 мин испытания, кВт·мин/м ²
				Д ₂	Д ₄	Д _{max}			
КТМС-1	0,35	0	Трудногоряющий	1/1	1/1	1/6	(II) Слабодымящий	61	47
	1,0	0	Трудногоряющий	2/1	1/5	7/24	(II) Слабодымящий	64	78
	2,0	13	Самозатухающий	7	14	32	(II) Слабодымящий	–	–
КТМС-П	0,35	6	Самозатухающий	5/0	12/1	22/5	(II) Слабодымящий	40	30
	1,0	13	Самозатухающий	9/1	21/1	52/6	(III) Среднедымящий	49	50
	2,0	13	Самозатухающий	3/0	6/0	13/2	(II) Слабодымящий	45	32
КТМС-2	0,35	0	Трудногоряющий	30/4	50/9	73/45	(III) Среднедымящий	31	25
	1,0	0	Трудногоряющий	95/19	113/55	132/139	(IV) Существеннодымящий	51	54
	2,0	6	Самозатухающий	98/17	132/54	159/185	(IV) Существеннодымящий	56	47
ВПС-38Т	0,6	1	Самозатухающий	0/0	1/0	4/0	(I) Практически не выделяющий дыма	29	20
	1,0	1	Самозатухающий	0/0	3/0	14/0	(II) Слабодымящий	20	3
	2,0	0	Трудногоряющий	0/0	9/0	24/0	(II) Слабодымящий	24	Менее 2

* Согласно требованиям Авиационных правил (Глава 25), испытания проводятся при тепловом потоке 35 кВт/м².

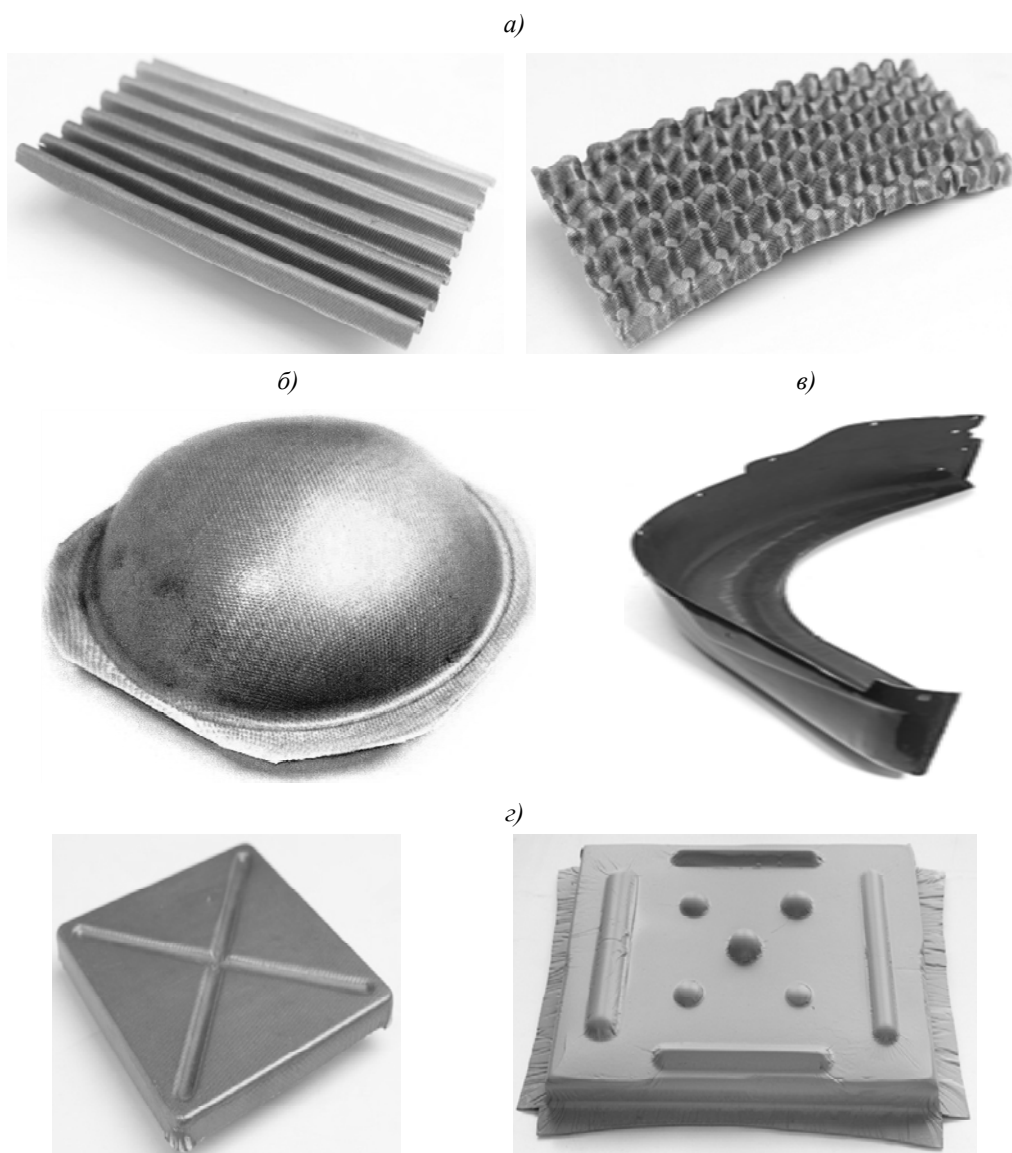
Установлено, что при продолжительности экспозиции пламенем в течение 60 с (вертикальное положение образца) термопластичные стеклопластики являются самозатухающими или трудногоряющими материалами (продолжительность остаточного самостоятельного горения (тления) составляет соответственно 1–13 и 0 с), что отвечает требованиям АП-25 по горючести ($\tau_{ост} \leq 15$ с).

По дымообразованию (удельной оптической плотности дыма) исследованные стеклопластики относятся в основном ко II группе материалов – «слабодымящий» (D_4 – от 1 до 14) и к III группе – «среднедымящий» (D_4 – от 21 до 50), что также удовлетворяет требования норм АП-25 ($D_4=200$).

Испытания образцов стеклопластиков на тепловыделение (максимальной интенсивности (пик) и общего количества выделившегося тепла (за первые 2 мин) при горении материала под воздействием внешнего теплового потока) показали, что максимальная интенсивность тепловыделения (пик) стеклопластиков на основе термопластичных матриц составляет 20–49 кВт/м²; общее количество выделившегося тепла за первые 2 мин колеблется от «менее 2» до 50 кВт·мин/м², что значительно ниже требований FAR-25 и АП-25 (≤ 65 кВт·мин/м²).

Из приведенных данных видно, что наличие аппрета (в рецептуре стеклопластика имеется эпоксидная смола) приводит к снижению его пожаробезопасных свойств – повышается дымо- и тепловыделение.

Таким образом, результаты проведенных исследований показали, что все марки разработанных стеклопластиков на основе термопластичных матриц (полисульфона, полиарилсульфона, поликарбоната и полиэфирсульфона) имеют высокие прочностные свойства и удовлетворяют нормам АП-25 и FAR-25.853 по пожаробезопасности.



Образцы деталей, изготовленные из термопластичных стеклопластиков:
а – детали заполнителя трехслойных панелей из КТМС-1П (формование); *б* – обтекатель из КТМС-1П (вытяжка); *в* – элемент крыла КамАЗа из КТМС-1 (штамповка); *г* – крышка прибора из ВПС-38Т (прессование)

Разработанные термопластичные стеклопластики нашли применение в промышленности для изготовления деталей радиотехнического и конструкционного назначения (см. рисунок).

ЛИТЕРАТУРА

1. Михайлин Ю.А. Термоустойчивые полимеры и полимерные материалы. СПб.: Профессия. 2006. С. 267–272.
2. Петрова Г.Н., Бейдер Э.Я. Конструкционные материалы на основе армированных термопластов //Российский химический журнал. 2010. Т. LIV. №1. С. 30–40.
3. Давыдова И.Ф., Кавун Н.С. Стеклопластики – многофункциональные композиционные материалы //Авиационные материалы и технологии. 2012. №S. С. 253–260.
4. Кербер М.Л., Виноградов В.М., Головкин Г.С. и др. Полимерные композиционные материалы: структура, свойства, технология. СПб.: Профессия. 2011. С. 32–33.
5. Петрова Н.А. Стеклопластики и их сырьевое обеспечение в России //Полимерные материалы. 2008. №11. С. 33–36.
6. Каблов Е.Н. Стратегические направления развития материалов и технологий их переработки на период до 2030 г. //Авиационные материалы и технологии. 2012. №S. С. 7–17.
7. Гращенков Д.В., Чурсова Л.В. Стратегия развития композиционных и функциональных материалов //Авиационные материалы и технологии. 2012. №S. С. 231–242.
8. Михайлин Ю.А. Терморезактивные связующие ПКМ //Полимерные материалы. 2008. №10. С. 14–19.
9. Комаров Г.А. Состояние, перспективы и проблемы применения ПКМ в технике //Полимерные материалы. 2009. №2. С. 20–23.
10. Авиационные материалы: Справочник. Т. 8. М.: ВИАМ. 2002. С. 60–70.
11. Душин М.И., Хрульков А.В. и др. Особенности изготовления изделий из ПКМ методом пропитки под давлением //Авиационные материалы и технологии. 2012. №1. С. 18–26.
12. Володин К.Е., Изотова Т.Ф., Малышенко С.В. Термопластичные наполнители для многослойных конструкций /В сб. Авиационные материалы и технологии. М.: ВИАМ. 2004. С. 19–21.
13. Авиационные правила. Глава 25. Нормы летной годности самолетов транспортной категории. 3-е изд. с поправками 1–6. М.: ОАО Авиаиздат. 2009. 274 с.
14. Барботько С.Л., Вольный О.С., Изотова Т.Ф. Математическое моделирование тепловыделения при горении для полимерных композиционных материалов различной толщины //Пожаровзрывобезопасность. 2007. Т. 16. №4. С. 16–20.

15. Коротков М.М., Изотова Т.Ф., Зуев А.В., Барботько С.Л. Влияние теплофизических свойств на пожаробезопасность термостойких полимеров на основе полисульфона //Пожаровзрывобезопасность. 2008. Т. 17. №6. С. 11–15.
16. Шуркова Е.Н., Вольный О.С., Изотова Т.Ф., Барботько С.Л. Исследование возможности снижения тепловыделения при горении композиционного материала путем изменения его структуры //Авиационные материалы и технологии. 2012. №1. С. 27–30.