

УДК 678.067.5

DOI: 10.18577/2071-9140-2014-0-3-33-37

*М.И. Вавилова<sup>1</sup>, Н.С. Кавун<sup>1</sup>***СВОЙСТВА И ОСОБЕННОСТИ АРМИРУЮЩИХ СТЕКЛЯННЫХ НАПОЛНИТЕЛЕЙ, ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ КОНСТРУКЦИОННЫХ СТЕКЛОПЛАСТИКОВ**

*Приведен обзор свойств различных типов стеклянных волокон, стеклотканей, используемых при производстве изделий из стеклопластиков конструкционного назначения. Представлены результаты исследования свойств стеклопластиков на основе различных эпоксидных связующих.*

**Ключевые слова:** армирующие наполнители, стеклянные волокна, стеклоткани, полимерные композиционные материалы, стеклопластики.

*In article is shown the properties of different types of glass fiber, fiber glass cloth uses in constructions of fiberglass. The results of investigations the fiberglass properties based on different types epoxy resin are present.*

**Keywords:** filler, glass fiber, fiber glass cloth, polymeric composite material, fiberglass.

<sup>1</sup>Федеральное 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**

При изготовлении различных деталей из полимерных композиционных материалов (ПКМ) все более широкое распространение получают полиармированные материалы, к которым относятся ПКМ, состоящие из одной матрицы с распределенными в ней армирующими компонентами различных видов.

При получении полиармированных ПКМ широкое распространение получили стеклянные волокна, которые применяются при изготовлении стеклопластиков. По сравнению с другими типами волокон, например с углеродными, стеклянные уступают им по многим показателям, тем не менее их невысокая стоимость привела к тому, что по объему потребления стеклянные волокна существенно опережают все остальные типы волокнистых наполнителей. Применение стеклянных волокон в качестве армирующих наполнителей позволяет добиться сочетания высокой механической прочности, тепло- и химической стойкости, а также стабильности диэлектрических характеристик конечного ПКМ [1–5].

**Материалы и методы**

К преимуществам стеклянных волокон относятся: низкая стоимость, хорошая теплостойкость, устойчивость к химическому и биологическому воздействию, высокая прочность, низкая теплопроводность. Общими недостатками всех стеклянных волокон являются: малое удлинение и, как его следствие, хрупкость; нестойкость к истиранию; большая плотность (2500 кг/м<sup>3</sup>); низкая стойкость к атмосферной влаге (влага разрыхляет поверхность волокна, и поэтому для его защиты используются различные аппреты).

Все стеклянные волокна условно можно разделить на два больших класса, из которых выделить наиболее широко применяемые в качестве армирующих наполнителей конструкционных ПКМ: волокна общего применения (стекловолокно марки Е) и дорогостоящие волокна специального применения (стекловолокно марки ВМП – аналог применяемого за рубежом волокна марки S высокой прочности). В табл. 1 и 2 представлены химический состав различных марок стекол для производства стекловолокна и их физико-химические и механические свойства [4, 6].

Стеклянные волокна алюмоборосиликатного (марки Е) и магнийалюмосиликатного (марки ВМП) состава являются наиболее распространенными материалами для получения конструкционных стеклопластиков. Волокна марки ВМП обладают высокой прочностью при растяжении – до 4600 МПа, что выше прочности волокна марки Е (3500 МПа), модуль упругости волокна ВМП составляет 91 МПа, что также больше, чем у волокна Е (78 МПа). Стеклянное волокно ВМП имеет и меньшее значение диэлектрической проницаемости  $\epsilon=5,8$ , вместо  $\epsilon=6,2$  – у стекла марки Е, что позволяет улучшить тактико-технические характеристики изделий радиотехнического назначения. Стекловолокно марки ВМП обладает рекордными значениями прочности и модуля упругости для данного класса материалов. Лучшая продукция из стекла марки ВМП близка по своему качеству к углеродному волокну [7, 8].

Формирование стеклянной ткани, как и всякой другой ткани, происходит в результате взаимного переплетения двух систем нитей (основы и утка). Нити основы располагаются вдоль ткани, нити утка – в поперечном направлении. Переплетением

Таблица 1

## Химический состав некоторых стекол для получения непрерывного волокна

Тип волокна	Состав, % (по массе)									
	SiO <sub>2</sub>	B <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	ZrO <sub>2</sub>	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	F <sub>2</sub>
Е	52–56	4–6	12–15	21–23	0,4–4,0	0,2–0,5	0–1	0–0,2	0,2–0,5	0,2–0,7
ВМП (S)	60–65,5	–	23–35	0–9	6–11	0–1	0–0,1	–	0–0,1	–

Таблица 2

## Физико-механические свойства некоторых марок стеклянного волокна

Свойства	Значения свойств волокон марок	
	Е	ВМП (S)
Температура формования, °С	1160–1196	1565
Температура размягчения, °С	830–860	1056
Температура плавления, °С	1066–1077	1500
Плотность, г/см <sup>3</sup>	2,54–2,55	2,48–2,49
Прочность, МПа	3100–3500	4380–4590
Модуль упругости, ГПа	76–78	88–91
Удлинение до разрыва, %	4,5–4,9	4,5–4,9

Таблица 3

## Свойства стеклянных тканей

Ткани	Количество нитей на 1 см		Вид переплетения ткани	Вид замасливателя и аппретирующего вещества
	по основе	по утку		
Т-10	36±1	20±1	Сатиновое (8/3)	№14, парафиновая эмульсия
Т-10(ВМП)	36±1	20±1	То же	№14, №4с
Т-25(ВМП)	10±1	6±1	Полотняное	№78, №14, парафиновая эмульсия
Т-60(ВМП)	28±1	6±1	– « –	№14
Т-15(П)	24±1	18±1	Сатиновое (5/3)	№76
Т-45(П)	22±1	16±1	То же	№76

Таблица 4

## Физико-механические показатели стеклянных тканей

Ткани	Номинальная масса единицы площади, г/м <sup>2</sup>	Номинальная толщина ткани, мм	Разрывная нагрузка, Н (не менее)	
			по основе	по утку
Т-10	290	0,23	2450–2940	1323–1568
Т-10(ВМП)	310	0,25	3136	1764
Т-25(ВМП)	365	0,25–0,30	3920–4410	294–343
Т-60(ВМП)	235	0,22	2546	–
Т-15(П)	160	0,19	785	687
Т-45(П)	216	0,26	1176	784

Таблица 5

## Свойства стеклопластиков на основе эпоксидных связующих

Свойства	Значения свойств стеклопластика		
	СТ-2227М	СТ-69Н(М)	ВПС-33
Предел прочности, МПа: при растяжении (ГОСТ 11262–80) при сжатии (ГОСТ 4651–82) при изгибе (ГОСТ 4648–71)	560	550	600
	550	500	450
	730	900	710
Модуль упругости при растяжении, ГПа (ГОСТ 9550–81)	28	29	29
Температура эксплуатации, °С	-60÷+150	-60÷+80	-60÷+100

называется определенный порядок чередования перекрытий нитей одной системы с нитями другой системы. Переплетение нитей в ткани определяет ее строение, а следовательно, и свойства. Стекланные ткани в зависимости от их назначения вырабатывают с помощью главных, сложных, мелкоузорчатых и крупноузорчатых переплетений:

– *главные переплетения*

– полотняное – для электроизоляционных тканей;

– сатиновое и полотняное – для тканей конструкционного назначения;

– саржевое, сатиновое и полотняное – для фильтровальных тканей;

– *сложные (многослойные) переплетения* – для тканей специального конструкционного назначения;

– *мелко- и крупноузорчатые переплетения* – для тканей декоративного назначения.

В процессе текстильной переработки, связанной со значительной трудоемкостью и сложностью, эффективность получения различных текстильных форм определяется набором поверхностных свойств перерабатываемых волокон и, как следствие, деформационными свойствами полупродукта. Стекланные волокна изначально характеризуются фрикционными и электрофизическими свойствами, которые делают малоэффективной текстильную переработку. Появляется необходимость в модификации поверхности стекланных волокон для повышения адгезии. Одним из традиционных способов такой модификации является обработка волокон замасливающими и аппретирующими составами, в результате которой текстильным материалам придаются новые фрикционные и электрофизические свойства.

При получении непрерывных стекланных волокон используют два основных типа замасливателя:

– технологические замасливатели, которые предотвращают механическое повреждение волокна при текстильной переработке;

– гидрофобно-адгезионные (или «прямые») замасливатели, образующие на поверхности волокон прочные покрытия.

Так называемые «прямые» замасливатели не подлежат удалению в отличие от технологических и улучшают свойства волокон и изделий на их основе, с помощью химических связей они обеспечивают хорошую адгезию как с поверхностью волокна, так и со связующим.

В качестве «прямых» замасливателей в зависимости от дальнейшего назначения могут применяться замасливатели с номерами 76, 78, 14, 4с и другими, представляющие собой многокомпонентную малоконцентрированную вододисперсионную дисперсию, характеризующуюся содержанием кремнийорганических соединений аппретов (ГВС-9, АГМ-9 и т. п.), и водную дисперсию ПВА (для замасливателя №4с). Замасливатели применяются при выработке

комплексных нитей из стекол различных составов, предназначенных для получения армирующих материалов [9, 10].

Основные марки стекланных тканей, их строение, виды замасливателей и аппретирующих составов, применяющихся при изготовлении стеклопластиков конструкционного назначения, приведены в табл. 3, физико-механические показатели тканей представлены в табл. 4. Рассмотрены следующие стеклоткани: Т-10(ВМП) равнопрочная, Т-25(ВМП) кордная, Т-60(ВМП) однонаправленная, а также Т-15(П) на основе полых волокон и Т-45(П) из стекла Е.

При производстве стеклопластиков в качестве связующих широко применение нашли ненасыщенные полиэфирные, фенолформальдегидные, эпоксидные и кремнийорганические смолы. Эти полимерные материалы благодаря наличию сырьевой базы, достаточно хорошим технологическим и физическим свойствам послужили основой для создания конструкционных, радиотехнических и теплозащитных стеклопластиков [11, 12].

### Результаты

Стеклопластики на основе тканых материалов и эпоксидных смол применяются при изготовлении ответственных деталей и конструкций авиационной техники благодаря своим высоким физико-механическим свойствам, коррозионной стойкости, антимагнитным свойствам, удовлетворительным радиотехническим характеристикам. Стеклопластики применяют при производстве заливов, створок люков, элементов механизации крыла, хвостового оперения в самолетах и в конструкциях лопастей вертолетов [13, 14].

В ВИАМ разработан широкий ассортимент стеклопластиков на основе эпоксидных связующих и различных стекланных наполнителей с высокими упруго-прочностными и эксплуатационными характеристиками, нашедших свое применение в изделиях авиационной техники. В табл. 5 приведены свойства некоторых стеклопластиков на основе эпоксидных связующих и стеклоткани марки Т-10.

Разработка стеклопластика СТ-69Н(М) на основе стеклоткани из волокон алюмоборосиликатного состава (марки Е) обеспечила создание средненагруженных элементов внешнего контура летательных аппаратов конструкционного и радиотехнического назначения (преимущественно многослойных – обтекателей РЛС, створок шасси и грузовых отсеков, заливов, капотов и др.). Стеклопластик марки ВПС-33 на основе эпоксифенольного связующего ЭНФБ-2м также применяется в качестве средненагруженных элементов конструкций авиационной техники (обшивки трехслойных панелей, люки, двери, створки и др.) как самостоятельно, так и в сочетании со слоями углепластика. Стеклопластики ма-

Таблица 6

Свойства стеклопластиков на основе различных эпоксидных связующих и стеклоткани марки Т-10(ВМП)

Свойства	Значения свойств стеклопластика на основе связующего		
	УП-2227	ЭДТ-69Н(М)	ЭНФБ-2м
Предел прочности, МПа: при сжатии (ГОСТ 4651–82) при изгибе (ГОСТ 4648–71)	640 1040	620 960	530 790
Температура эксплуатации, °С	-60÷+150	-60÷+80	-60÷+100

Таблица 7

Свойства стеклопластиков на основе различных эпоксидных связующих и стеклотканей

Свойства	Значения свойств стеклопластика	
	СТ-69Н-15П	СТ-69Н-45П
Предел прочности, МПа: при растяжении (ГОСТ 11262–80) при сжатии (ГОСТ 4651–82) при изгибе (ГОСТ 4648–71)	460 310 500	460 285 455
Модуль упругости при растяжении, ГПа (ГОСТ 9550–81)	21	23
Диэлектрическая проницаемость (при частоте 10 <sup>10</sup> Гц)	3,62	3,69
Тангенс угла диэлектрических потерь (при частоте 10 <sup>10</sup> Гц)	0,018	0,017
Температура эксплуатации, °С	-60÷+80	-60÷+80

рок СТ-69Н(М) и ВПС-33 до настоящего времени применяются для изготовления элементов конструкций двигателей семейства ПС-90А2, таких как панель реверса, кожух сопла звукопоглощающей конструкции, кожух задней подвески реверса звукопоглощающей конструкции [14, 15].

В последнее время широкое применение в ответственных конструкциях и изделиях авиационной техники находят стеклопластики на основе армирующих наполнителей однонаправленной (кордной) структуры, таких как стеклянные ткани Т-25(ВМП) и Т-60(ВМП). Разработанные на основе кордных стеклотканей лонжероны лопастей вертолетов позволили повысить усталостную прочность, снизить массу лопасти и конструкции вертолета в целом, что, в свою очередь, снизило расход топлива и увеличило летную нагрузку и ресурс работы техники. Преимущество таких лопастей особенно проявилось при создании скоростных машин, когда наиболее полно реализовывалась способность ПКМ выдерживать большие переменные нагрузки, а также боевых вертолетов, лопасти которых должны сохранять работоспособность несмотря на серьезные повреждения конструкции. Разработанные высокопрочные стеклопластики на основе таких стеклотканей обеспечили создание одних из самых больших в мире (1800 мм) лопастей винтовентиляторных двигателей самолетов Ан-70, Ан-140, Ил-114 и др. В табл. 6 представлены свойства стеклопластиков

на основе стеклоткани Т-10(ВМП) из высокопрочных, высокомодульных волокон магнийалюмосиликатного состава.

На основе различных связующих и наполнителей создана серия радиопрозрачных материалов, нашедших широкое применение в антенных обтекателях сотовой, сетчатой и монолитной конструкций. Использование в составе стеклопластиков наполнителей на основе капиллярных (полых) волокон – стеклоткани Т-15(П), Т-45(П) – позволило получить материалы с уникальными диэлектрическими характеристиками. В результате внедрения радиопрозрачных стеклопластиков на основе этих наполнителей удалось достичь снижения массы конструкции обтекателей на 15–20% и повысить их тактико-технические характеристики [17, 18]. В табл. 7 приведены свойства стеклопластиков на основе эпоксидного связующего ЭДТ-69Н и стеклотканей из полых волокон.

### Заключение

В последние годы ведутся работы по созданию новых материалов с улучшенными по всем показателям (механической прочности, технологичности, стойкости к различным эксплуатационным факторам) характеристиками [19], что позволит рекомендовать их не только для интерьеров самолетов, но и с целью применения в качестве более ответственных конструкций внешнего контура летательных аппаратов.

## ЛИТЕРАТУРА

1. 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.
2. Каблов Е.Н. Химия в авиационном материаловедении //Российский химический журнал. 2010. Т. LIV. №1. С. 3–4.
3. Каблов Е.Н. Авиакосмическое материаловедение //Все материалы. Энциклопедический справочник. 2008. №3. С. 2–14.
4. Гутников С.И., Лазоряк Б.И., Селезнёв А.Н. Стекланные волокна: Учеб. пособ. М.: МГУ им. М.В. Ломоносова. 2010. 53 с.
5. Бородулин А.С. Свойства и особенности структур стекланных волокон, используемых при изготовлении стеклопластиков //Материаловедение. 2012. №7. С. 34–37.
6. Демонис И.М., Петрова А.П. Материалы ВИАМ в космической технике //Все материалы. Энциклопедический справочник. 2011. №6. С. 2–9.
7. Давыдова И.Ф., Кавун Н.С. Стеклопластики – многофункциональные композиционные материалы //Авиационные материалы и технологии. 2012. №S. С. 253–260.
8. Михайлин Ю.А. Конструкционные полимерные композиционные материалы. М.: «НОТ». 2008. 820 с.
9. Мелехина М.И., Кавун Н.С., Ракитина В.П. Влияние химического состава и структуры стекланных наполнителей на свойства эпоксидных стеклопластиков //Все материалы. Энциклопедический справочник. 2012. №10. С. 44–47.
10. Кондратенко А.Н., Голубкова Т.А. Полимерные композиционные материалы в изделиях зарубежной ракетно-космической техники (обзор) //Конструкции из композиционных материалов. 2009. №2. С. 24–34.
11. Баженов С.Л., Берлин А.А., Кульков А.А., Ошмян В.Г. Полимерные композиционные материалы. Долгопрудный: «Интеллект». 2010. 352 с.
12. 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.
13. Душин М.И., Хрульков А.В., Мухаметов Р.Р. Выбор технологических параметров автоклавного формования деталей из полимерных композиционных материалов //Авиационные материалы и технологии. 2011. №3. С. 20–26.
14. Эпоксидное связующее, препрег на его основе и изделие, выполненное из него: пат. 2424259 Рос. Федерация; опубл. 22.10.2009.
15. Физико-химические основы технологии композиционных материалов: Учеб. пособ. М.: МИСиС. 2011. 163 с.
16. Соколов И.И., Раскутин А.Е. Углепластики и стеклопластики нового поколения //Труды ВИАМ. 2013. №4 (viam-works.ru).
17. Кириллов В.Н., Ефимов В.А., Шведкова А.К., Николаев Е.В. Исследование влияния климатических факторов и механического нагружения на структуру и механические свойства ПКМ //Авиационные материалы и технологии. 2011. №4. С. 41–45.
18. Зорин В.А. Опыт применения композиционных материалов в изделиях авиационной и ракетно-космической техники //Конструкции из композиционных материалов. 2011. №4. С. 44–58.
19. Власенко Ф.С., Раскутин А.Е. Применение полимерных композиционных материалов в строительных конструкциях //Труды ВИАМ. 2013. №8. Ст. 03 (viam-works.ru).