



**Влияние химического состава и структуры  
стеклянных наполнителей на свойства  
эпоксидных стеклопластиков**

М.И. Мелехина

Н.С. Кавун

*кандидат технических наук*

В.П. Ракитина

Апрель 2012

Всероссийский институт авиационных материалов (ФГУП «ВИАМ» ГНЦ РФ) – 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 30 научно-исследовательских лабораториях, отделах, производственных цехах и испытательном центре, а также в 4 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 «Все материалы. Энциклопедический справочник», № 10, 2012 г.

Электронная версия доступна по адресу: [www.viam.ru/public](http://www.viam.ru/public)

## **Влияние химического состава и структуры стеклянных наполнителей на свойства эпоксидных стеклопластиков**

М.И. Мелехина, Н.С. Кавун, В.П. Ракитина

*Всероссийский институт авиационных материалов*

*В статье приведены исследования свойств стеклотекстолитов на основе эпоксидных связующих и различных структур стеклянных наполнителей с использованием новых замасливателей. Изучено влияние состава стекла на прочностные характеристики стеклотекстолитов, а также водо- и влагопоглощение.*

**Ключевые слова:** полимерные композиционные материалы (ПКМ), стеклотекстолиты, эпоксидные связующие, водостойкость, прочностные характеристики.

Композиционные материалы на основе стеклянных наполнителей широко применяются для изготовления изделий авиационной и ракетной техники. В последние годы к стеклотекстолитам предъявляются все более высокие требования по прочности и эксплуатационной надежности в различных климатических условиях.

В конструкциях самолетов и вертолетов широко используются стеклотекстолиты на основе стеклотканей из алюмоборосиликатного стекла марки Е и активного замасливателя №80. Существующие стеклотекстолиты имеют недостаточный модуль упругости и предел прочности при растяжении, что ограничивает их применение в авиационных конструкциях. К тому же в настоящее время замасливатель №80 запрещен к применению из-за его токсичности, вместо него предлагаются стеклянные наполнители с замасливателем №14 (стеклоткань Т-10-14). Однако стеклотекстолиты на этих наполнителях имеют меньшую прочность и климатическую стойкость.

Разработкой и исследованием ПКМ на основе стеклянных наполнителей для авиационной промышленности занимаются в России и за рубежом. В отечественном авиастроении их созданием традиционно занимается ФГУП «ВИАМ». Разработанный в институте стеклотекстолит ВПС-30 на основе стеклоткани сатинового переплетения Т-10-80 (из алюмоборосиликатного стекла марки Е) и эпоксидного связующего ВС-2526к имеет следующие характеристики:  $E_B=35$  ГПа,  $\sigma_B=650$  МПа. Зарубежный стеклотекстолит на основе однонаправленной стеклоткани из стекла S-2 и эпоксидного связующего фирмы Cytec 934 имеет  $E_B=48$  ГПа,  $\sigma_B=1200$  МПа. Это обусловило проведение исследований по созданию стеклотекстолитов на основе новых стеклянных наполнителей с повышенными прочностными характеристиками и улучшенной климатической стойкостью (влаго- и водопоглощением).

Для исследований были выбраны стеклотекстолиты на основе стеклянных наполнителей алюмомагнийсиликатного состава (типа ВМП) и новых замасливателей, обеспечивающих создание ПКМ с повышенной прочностью, улучшенной водостойкостью и сохраняющих стабильные механические свойства при использовании в изделиях авиационной техники на весь ресурс эксплуатации во всех климатических условиях.

Волокна типа ВМП обладают прочностью на растяжение 4500–5000 МПа, что в 1,4–1,5 раза выше прочности волокна марки Е (3500 МПа), модуль упругости волокна ВМП составляет 95000 МПа, что также больше, чем у волокна Е (70000 МПа). Стеклянное волокно ВМП имеет и меньшее значение диэлектрической проницаемости  $\epsilon=5,8$  (у стекла Е – 6,2), что позволяет улучшить тактико-технические характеристики изделий радиотехнического назначения. С целью повышения водостойкости стеклотекстолитов в их составе исследовались наполнители на новом замасливателе №4с [1, 2].

Для получения стеклотекстолита с повышенной прочностью были исследованы стеклянные наполнители – стеклоткани сатиновой структуры марок Т-10(ВМП)-14 и Т-10(ВМП)-4с на основе высокомодульного

алюмомагнийсиликатного стекла типа ВМП (аналог применяемого за рубежом стекла S-2) и замазливателях №14 и 4с, стеклоткань марки Т-10-14 на основе алюмоборосиликатного стекла марки Е, а также кордная стеклоткань марки Т-60(ВМП)-4с.

Оценка водостойкости проводилась при исследовании свойств стеклотекстолитов на основе эпоксидного связующего УП-2227 и стеклотканей Т-10-14, Т-10(ВМП)-14 и Т-10(ВМП)-4с. Исследован комплекс физико-механических свойств полученных стеклотекстолитов в исходном состоянии и после кипячения в воде в течение 2 ч. Результаты испытаний представлены в табл. 1.

Таблица 1.

Результаты испытаний образцов стеклотекстолитов  
на основе связующего УП-2227

Показатели	Условия испытания	Температура испытания, °С	Стеклоткань		
			Т-10-14	Т-10 (ВМП)-14	Т-10 (ВМП)-4с
Предел прочности при статическом изгибе, МПа	Исходные	20	740	940	1100
		80	655	815	825
		150	505	590	605
	2 ч кипячения	20	680	965	1010
		80	575	755	810
Предел прочности при растяжении, МПа		20	530	745	825
Модуль упругости при растяжении, ГПа		20	27,3	37,1	40,8

Использование стеклоткани Т-10(ВМП)-14 позволяет увеличить прочностные показатели стеклотекстолита по сравнению со стеклотекстолитом на основе стеклоткани Т-10-14 примерно на 15–40%, применение замазливателя №4с вместо №14 позволяет повысить прочностные свойства стеклотекстолита дополнительно на 10%. При использовании стеклоткани с замазливателем №4с в составе стеклотекстолита механическая прочность стеклотекстолита после 2 ч кипячения в воде более высокая по сравнению со стеклотекстолитом на основе стеклоткани с замазливателем №14. При этом водопоглощение

образцов стеклотекстолита на стеклоткани Т-10(ВМП)-4с уменьшается на 10–20% по сравнению с образцами стеклотекстолита на стеклоткани Т-10-14.

Исследованы физико-механические свойства стеклотекстолита на связующем УП-2227 и стеклоткани Т-10(ВМП)-4с после тепловлажностного воздействия. Выдержка образцов проводилась при температуре 70°C и  $\phi=98\%$  в течение 0,5 и 1 мес. Процент сохранения прочности при статическом изгибе составил при температуре 20°C – 88 и 81%; при температуре 80°C – 81 и 77% соответственно [3].

Были изготовлены стеклотекстолиты на основе выбранных стеклянных наполнителей и более термостойкого эпоксидного связующего ВС-2526к. Свойства полученных стеклотекстолитов представлены в табл. 2.

Таблица 2.

Результаты испытаний образцов стеклотекстолитов на основе связующего ВС-2526к

Показатели	Температура испытания, °С	Стеклоткань		
		Т-10-14	Т-10(ВМП)-14	Т-10(ВМП)-4с
Предел прочности при статическом изгибе, МПа	20	1010	1040	1100
	120	754	798	818
	170	442	491	553
Предел прочности при растяжении, МПа	20	652	747	925
Модуль упругости при растяжении, ГПа	20	31,7	35,3	40,7

Исследованы физико-механические свойства стеклотекстолитов в исходном состоянии и после тепловлажностного воздействия. Выдержка образцов проводилась при температуре 60°C и  $\phi=85\%$  в течение 0,5 и 1 мес. Процент сохранения прочности при статическом изгибе составил:

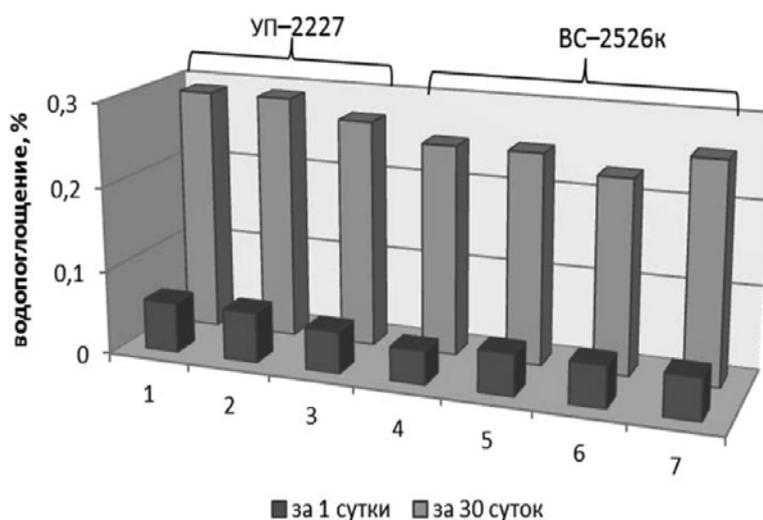
– для стеклотекстолита на основе стеклоткани Т-10-14 при температуре 20°C – 93 и 92%, при температуре 120°C – 72 и 69% соответственно после выдержки 0,5 и 1 мес;

– для стеклотекстолита на основе стеклоткани Т-10(ВМП)-14 при температуре 20°C – 94 и 93%, при температуре 120°C – 69 и 64%;

– для стеклотекстолита на основе стеклоткани Т-10(ВМП)-4с при температуре 20°С – 95 и 94%, при температуре 120°С – 72 и 65% соответственно.

Проведенные сравнительные исследования водопоглощения образцов стеклотекстолитов на основе связующего ВС-2526к и УП-2227 показали более низкий уровень водопоглощения стеклотекстолитов на основе связующего УП-2227.

Данные по водопоглощению стеклотекстолитов на основе различных марок связующих и наполнителей представлены на рисунке.



Водопоглощение стеклотекстолитов на основе связующих УП-2227, ВС-2526к и различных наполнителей:  
1, 4 – Т-10-14; 2, 5 – Т-10(ВМП)-14; 3, 6 – Т-10(ВМП)-4с;  
7 – Т-60(ВМП)-4с

Из анализа полученных данных следует, что применение стеклоткани Т-10(ВМП)-4с из стекловолокна алюмомагнийсиликатного состава (марки ВМП) и активного замасливателя №4с по сравнению со стеклотканью Т-10-14 из стекловолокна алюмоборосиликатного состава дало возможность уменьшить водопоглощение стеклотекстолита на 10%.

С целью повышения прочностных характеристик стеклотекстолитов в качестве наполнителя исследовалась стеклоткань кордной структуры марки Т-60(ВМП)-4с. Применение стеклоткани Т-60(ВМП)-4с позволило получить стеклотекстолит, превышающий по уровню прочностных свойств

зарубежный аналог фирмы Cytec (табл. 3). При этом водопоглощение полученного стеклотекстолита за 30 сут составило 0,26%, что не превышает уровень водопоглощения стеклотекстолитов на основе стеклоткани Т-10(ВМП)-4с и связующих УП-2227 и ВС-2526к [4, 5].

Таблица 3.

Результаты испытаний образцов стеклотекстолитов

Показатели	Температура испытания, °С	Связующее ВС-2526к	Зарубежный аналог Cytec 934
Предел прочности при статическом изгибе, МПа	20	1725	–
	120	1105	–
	170	646	–
Предел прочности при растяжении, МПа	20	1277	1200
Модуль упругости при растяжении, ГПа	20	50	48

В ходе проведения исследований модуль упругости при растяжении определялся по ГОСТ 9550–81, предел прочности при растяжении – по ГОСТ 11262–80, предел прочности при изгибе – по ГОСТ 4648–71, водо- и влагопоглощение – по ГОСТ 4650–90.

Таким образом, применение стеклянных наполнителей на основе высокомодульного, высокопрочного алюмомагнийсиликатного стекла (типа ВМП) и нового замасливателя №4с дает возможность разрабатывать стеклотекстолиты с повышенными прочностными характеристиками и улучшенной климатической стойкостью (влаго- и водопоглощением). Эти стеклотекстолиты могут применяться для изготовления радиотехнических, слабо- и средненагруженных конструкций (зализы, створки люков и др.) перспективных гражданских пассажирских самолетов, эксплуатирующихся во всеклиматических условиях.

### Список литературы:

1. История авиационного материаловедения. ВИАМ – 75 лет поиска, творчества, открытий / Под ред. Е.Н. Каблова. М.: Наука. 2007. 246 с.

2. Физико-химические основы технологии композиционных материалов. Уч. пособие М.: Изд. МИСИС, 2011. 163 с.
3. Фомин А.В., Ракитина В.П./Авиационные материалы. Избранные труды «ВИАМ» М.: Изд. МИСиС, 2002. С. 291–300.
4. Кириллов В.В., Кавун Н.С., Деев И.С. и др. // Пласт, массы. 2008. №9. С. 14–17.
5. Ракитина В.И., Кавун Н.С., Кириллов В.В. и др. // Сб. докладов VI научно-технической конференции «Гидросалон-2006». М.; Изд. ЦАГИ, 2006. С. 28–32.