



Базальтопластики для работ при повышенных температурах

И.Ф. Давыдова
кандидат технических наук

Н.С. Кавун
кандидат технических наук

Е.П. Швецов

Январь 2012

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 в 30-ти научно-исследовательских лабораториях, отделах, производственных цехах и испытательном центре, а также в 4-х 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 Международных салонов 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 Е.Н. Каблов.

Статья подготовлена для опубликования в журнале «Все материалы. Энциклопедический справочник», №6, 2012 г.

Электронная версия доступна по адресу: www.viam.ru/public

Базальтопластики для работ при повышенных температурах

И.Ф. Давыдова, Н.С. Кавун, Е.П. Швецов

Всероссийский институт авиационных материалов

Использование в качестве основы в композитах базальтовых волокон позволяет изготавливать разнообразные сложные по форме изделия с незначительными трудозатратами. Главное экономическое преимущество в этом случае заключается в том, что при сравнительно низкой стоимости базальтового сырья обеспечивается необходимый комплекс свойств изделия и выполняются специфические эксплуатационные требования. Поскольку базальтовые волокна имеют большую температуру плавления по сравнению со стеклянными наполнителями, представляло интерес использовать их в качестве наполнителей для создания теплостойких пластиков.

Проведены исследования свойств базальтопластиков на основе полиимидного, эпоксидного, фенольного и неорганического связующих.

Показано, что полиимидные базальтопластики сохраняют 70% от исходной прочности при статическом изгибе после воздействия температуры 400°С, эпоксидные и фенольные базальтопластики сохраняют на уровне 70–80% физико-механические свойства после воздействия повышенной влажности. При использовании неорганических связующих в базальтопластиках достигается снижение в 2 раза стоимости тканого наполнителя за счет исключения двойного неорганического покрытия волокна.

Ключевые слова: базальтовое волокно, полиимидный, эпоксидный, фенольный, неорганический базальтопластик, водостойкость, температуроустойчивость, физико-механические свойства.

Базальт – природный материал вулканического происхождения – находит все большее применение в различных отраслях техники.

Базальтовые волокна по всем основным характеристикам заметно превосходят волокна из традиционного алюмоборосиликатного стекла, приближаясь по своим показателям к более дорогим высокомодульным волокнам из магнийсиликатного стекла (табл. 1).

Таблица 1.
Сравнительные свойства базальтовых и стеклянных волокон

Свойства	Тип волокна	
	Базальтовое	Стеклоанное
<i>Термические</i>		
Температура эксплуатации, °С	От -200 до +700	От -60 до +460
Температура спекания, °С	1050	600
Коэффициент теплопроводности, ккал/м·ч·°С	0,031–0,038	0,034–0,040
<i>Физические</i>		
Плотность, кг/м ³	2600	2540
Модуль упругости, МПа	910–1100	До 720
Сохранение прочности при растяжении после термической обработки, %		
при 200°С	95	92
при 400°С	82	52
Потеря в весе, %, после 3-часового кипячения		
в воде	0,2	0,7
в NaOH	6,0	6,0
в HCl	2,2	38,9
<i>Электрические</i>		
Удельное объемное электрическое сопротивление, Ом·см	4,2 10 ¹³	1,3 10 ¹²
<i>Акустические</i>		
Нормальный коэффициент звукопоглощения	0,9–0,99	0,8–0,92

Базальтовые волокна обладают более высокой температуроустойчивостью и очень низкой гигроскопичностью. Так, при температуре 400°С процент сохранения прочности базальтового волокна составляет 60, а алюмоборосиликатного – 40%.

Базальтовые волокна можно применять при температурах от 20 до 700–900°С, а алюмоборосиликатные – от 20 до 450–500°С. Гигроскопичность базальтовых волокон составляет менее 1%, а стеклянных – 10–20%.

Прочность базальтовых волокон практически не изменяется после выдержки при 100%-ной относительной влажности в течение более 60 сут, в то время как прочность алюмоборосиликатных волокон уменьшается на 30%.

Большим достоинством базальтовых волокон является кислото- и щелочеустойчивость.

Процент сохранения прочности на разрыв базальтового волокна после выдержки в течение 3-х часов в кипящих щелочи и кислоте составляет, соответственно, 89 и 81%, а алюмоборосиликатного волокна – 63 и 54%.

На основе непрерывного базальтового волокна созданы ткани различных структур – ткани полотняного переплетения из ровинга, прошивная со стекловолокном из ровинга и некрученых нитей, сатинового переплетения из крученых нитей, трикотажное полотно на основе супертонкого волокна.

Базальтопластики – полимерные композиционные материалы, применение в которых базальтового наполнителя по сравнению со стекловолокном позволит снизить стоимость композиционного материала, его гигроскопичность, повысить температуру эксплуатации.

С целью расширения ассортимента ПКМ были опробованы разные структуры базальтовых наполнителей в сочетании с различными связующими. При этом основной задачей являлось выявление преимуществ базальтопластиков по сравнению со стеклопластиковыми на основе полиимидного, алюмофосфатного, эпоксидного и фенольного связующих.

В случае полиимидного связующего были опробованы 3 марки базальтовых тканей – БТ-10, БТ-11, БТ-13. Базальтопластики изготавливались методом вакуумного формования при температуре 170°C аналогично режиму, выбранному ранее для стеклопластика СП-97К на связующем СП-97К и стеклоткани Т-10-80.

Поскольку базальтовые ткани не содержали активного замасливателя, в процессе приготовления связующего СП-97К, предназначенного для пропитки тканей, в него вводили продукт АГМ-9 в количестве 3% от массы сухой смолы.

Результаты испытания показали, что более высокая прочность при статическом изгибе была получена при использовании базальтовой ткани БТ-11. При этом сохранение прочности базальтопластика на этой ткани при 400°С составило >70%, в то время как для стеклопластика на ткани Т-10-80 – ~30%. Однако следует отметить, что по прочности на растяжение и сжатие базальтопластик уступает стеклопластику СТП-97К за счет более низкой прочности базальтовых тканей.

При опробовании алюмофосфатного связующего и ткани БТ-13 показано, что при изготовлении базальтопластика возможно исключение двойного неорганического покрытия на основе окислов Mg и Cr на базальтовом волокне, которое было необходимо для защиты стеклоткани от агрессивного воздействия алюмофосфатной композиции. Это в 2 раза снижало стоимость тканого наполнителя и являлось одним из основных достоинств неорганического материала.

Базальтопластик СТАФ-4 изготавливался методом прямого прессования и рекомендован для изготовления деталей конструкционно-теплоизоляционного назначения, в том числе и деталей двойкой кривизны, которые могут длительно (до 200 ч) эксплуатироваться при температуре до 600°С и кратковременно (0,5 ч) при температуре 700°С (табл. 2). При этом плотность материала составила ~1500 кг/м³.

Таблица 2.

Механические свойства базальтопластика СТАФ-4

Наименование свойств	Температура испытания, °С			Температура и время выдержки		
	20	600	700	600°С		700°С, 0,5 ч
				0,5 ч	200 ч	
Прочность при статическом изгибе, МПа	52	60	32	60	46	32
Прочность при растяжении, МПа	27	25	21	27	21	21
Модуль упругости при растяжении, $E \cdot 10^{-3}$ МПа	22	22	–	22	20	–
Прочность при сжатии, МПа	32	45	32	45	34	32
Удельная ударная вязкость, кДж/м ²	10,5	8,4	–	8,4	7,2	–

Проведены исследования по упрочнению базальтопластика на алюмофосфатном связующем путем изготовления комбинированного материала с использованием слоев препрега на основе базальтовой ткани и полиимидного связующего СП-97К.

Изучалась возможность получения базальтопластиков на основе фенольных связующих типа ФП-520 и ВМФ-2 и эпоксидных связующих типа ЭДТ-69. Отработана технология изготовления препрегов и базальтопластика на указанных связующих.

Исследование влияния воды и влаги на изменение механических свойств показало, что для увеличения водостойкости базальтопластиков необходимо удаление парафинового замасливателя с базальтовой ткани с последующим ее аппретированием кремнийорганическими сшивающими агентами, которые повышают механическую прочность и главное позволяют сохранить ее в процессе эксплуатации в результате предотвращения адсорбции, миграции и разрушающего действия воды на поверхности раздела базальт–смола.

Например, эпоксидно-фенольные базальтопластики, как, впрочем, и стеклопластики, изготовленные с применением наполнителей с замасливателем, содержащим продукт АГМ-3 или АГМ-9, имеют лучшие физико-механические показатели, чем аналогичные материалы, полученные с использованием обычного замасливателя (парафиновой эмульсии).

При изготовлении базальтопластиков могут быть использованы три метода аппретирования кремнийорганическими агентами:

- обработка расшлихтованного волокна или ткани раствором аппрета в воде, водном спирте или подходящем органическом растворителе, желательно не токсичном и не горючем;
- введение аппрета в состав замасливателя базальтового волокна;
- добавка аппрета к полимерному связующему.

Улучшенные результаты иногда может дать сочетание двух методов использования кремнийорганических сшивающих агентов – армирование аппретированным наполнителем полимера, содержащего добавку аппрета.

Повышение водостойкости эпоксидных и фенольных базальтопластиков позволяет утверждать, что основным принципом теории механизма взаимодействия аппретированного базальтового волокна с полимерным связующим является химическое связывание аппретом поверхности базальта и полимерного связующего в единую систему, что в свою очередь повышает срок эксплуатации материалов.

Таким образом, использование коммерчески доступной базальтовой ткани является весьма перспективным, поскольку на ее основе могут быть созданы полиимидные базальтопластики, сохраняющие 70% от исходной прочности при статическом изгибе после воздействия температуры 400°C, эпоксидные и фенольные пластики с сохранением физико-механических характеристик после воздействия влаги на уровне 75–80%, а также неорганический пластик с плотностью ниже на 10%, сокращенными на 2 ч временем прессования и на 4 ч временем термообработки; кроме того, в этом случае, как уже отмечалось, достигается снижение в 2 раза стоимости тканого наполнителя за счет исключения неорганического покрытия.

Базальтопластики могут найти широкое применение в автомобиле-, судостроении как конструкционно-радиотехнические и теплоизоляционные материалы.

Перспективно использование базальтового грубого волокна для армирования бетонных дорожных покрытий, создания базальтофибробетонов и других материалов (табл. 3).

Таблица 3.
Некоторые свойства базальтофибробетона (БФБ) в сравнении с бетоном

Показатели свойств	БФБ	Бетон
Плотность, кг/м ³	2100	2400
Прочность при сжатии, МПа	5000	4300
Прочность при растяжении, МПа	1000	360

Следовательно, использование в качестве основы в композитах тканей и волокон из базальтового волокна позволяет изготавливать разнообразные сложные по форме изделия с незначительными трудозатратами. Главное

экономическое преимущество при этом заключается в том, что при сравнительно малой стоимости базальтового сырья обеспечивается необходимый уровень свойств материалов на его основе, сопоставимых и даже в ряде случаев превосходящих их ближайших конкурентов – стеклопластиков.