



УДК 678.84

DOI: 10.18577/2307-6046-2014-0-11-4-4

ТЕПЛОСТОЙКИЕ АНТИФРИКЦИОННЫЕ ТЕКСТОЛИТЫ

И.Ф. Давыдова

кандидат технических наук

Н.С. Кавун

кандидат технических наук

Ноябрь 2014

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.

УДК 678.84

DOI: 10.18577/2307-6046-2014-0-11-4-4

И.Ф. Давыдова¹, Н.С. Кавун¹

ТЕПЛОСТОЙКИЕ АНТИФРИКЦИОННЫЕ ТЕКСТОЛИТЫ

Исследованы свойства стеклотекстолитов на основе полиимидного связующего и различных наполнителей. Показано, что комбинированный материал с использованием в наружных слоях углеродной ткани обладает высокой механической прочностью, теплостойкостью, хорошими антифрикционными свойствами и малым износом.

Ключевые слова: *стеклопластики, углепластики, органопластики, комбинированные материалы, механические свойства, теплофизические свойства, коэффициент трения, износ.*

I.F. Davydova, N.S. Kavun

HEAT-RESISTANT ANTI-FRICTION TEXTOLITES

Properties of fiberglass laminates on a base of polyimide binder and various fillers were studied. It was shown, that a combined material with carbon fabric in external layers has high mechanical strength, heat resistance, anti-friction properties and high durability.

Keywords: *glassefibers, carbonplastics, organoplastics, combined materials, mechanical properties, thermal-physical properties, friction coefficient, deterioration.*

¹Федеральное 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

В качестве антифрикционных материалов в некоторых случаях используются неметаллические материалы, такие как древесно-слоистые и текстолиты, которые применяются для подшипников скольжения, втулок, для защиты проводов тросов управления самолета и других целей. Однако существующие текстолиты не всегда обеспечивают заданные требования.

Так, в конструкциях шасси самолетов такие материалы подвергаются одновременному воздействию высоких температур и трению и должны изготавливаться из материала, обладающего высокой механической прочностью, теплостойкостью и антифрикционными свойствами [1–4]. Помимо этого, материал должен работать длительно (до 1000 ч) и кратковременно (до 100 ч) при температурах 300 и 350°C соответственно, с сохранением при этом прочности при сжатии на уровне 120 МПа и прочности при смятии на уровне 100 МПа.

Текстолитовые материалы на основе хлопчатобумажных волокон не могут длительно работать при высоких температурах. Использование в качестве наполнителя более теплостойких стеклянных тканей повышает прочностные свойства материала и его теплостойкость. Известно большое количество слоистых материалов типа стеклопластиков, которые обладают достаточной прочностью при высоких температурах, малой теплопроводностью и могут быть использованы для силовых и теплоизоляционных деталей (втулки, прокладки, кронштейны и др.). Однако существенным недостатком стеклопластиков является их абразивность и, вследствие этого, невозможность использования их в сочетании с вращающимися элементами.

Цель работы – создание теплостойкого материала, который обладал бы одновременно высокой прочностью, хорошими теплоизоляционными и конструктивными свойствами и, кроме того, перерабатывался бы общепринятыми для слоистых пластиков методами.

Материалы и методы

Поставленная задача решена путем создания комбинированного материала, в котором отдельные слои выполняли определенные функции. Стеклопластик обеспечивает высокую теплостойкость, механическую прочность и теплоизолирующие свойства, а наружные слои из углепластика или пластика на основе арамидной ткани – малый коэффициент трения.

В связи с тем, что одним из основных требований, предъявляемых к разрабатываемому материалу, является высокая термостойкость, необходимо выбрать такое связующее для его изготовления, которое давало бы возможность получить теплостойкий материал с повышенной механической прочностью и хорошими теплоизоляционными свойствами.

С этой точки зрения особый интерес представляли полиимиды, в цепь которых входили ароматические и гетероциклические кольца, а содержание алифатических связей минимально или равно нулю.

В ряду полимеров с гетероциклами в цепи наиболее видное место занимают полиимиды. Им присущи такие отличные свойства, как высокая термостойкость, хорошие механические свойства и диэлектрические показатели в широком диапазоне температур, высокая радиационная стойкость и др. [5–10].

По термостойкости полиимиды превосходят большинство изученных гетероароматических линейных полимеров, в то же время они обладают хорошей устойчивостью к термоокислительной деструкции при повышенных температурах.

С учетом этого, в качестве связующего при разработке антифрикционного материала для элементов конструкций шасси выбрано полиимидное связующее СП-97с, которое обеспечивало получение стеклопластика, работающего в течение 2000 и 400 ч при температурах 300 и 350°C соответственно, сохраняющего после термостарения в этих условиях высокую механическую прочность [11–14].

Поскольку помимо высокой теплостойкости и прочности материал должен был обладать малым коэффициентом трения, представлялось целесообразным использовать для поверхностных слоев комбинированного материала пластики из углеродных или арамидных тканей, изготовленных на основе того же связующего [15–19].

В качестве наполнителя для стеклопластика выбрана бесщелочная стеклоткань алюмоборосиликатного состава марки Т-10-80.

Для углепластика были опробованы две марки углеродных тканей (УТЭП, УТМ-8) и одна марка графитированной ткани (ТГ-1).

На основе указанных тканей и полиимидного связующего изготовлены пластики, которые затем испытывались как в исходном состоянии и при повышенных до 350°C температурах, так и после термостарения при 300 и 350°C.

Результаты

Результаты испытаний пластиков представлены в табл. 1.

Таблица 1

Свойства пластиков на основе углеродных и графитированной тканей*

Наполнитель	Напряжение при изгибе, МПа						
	при температуре, °С			после термостарения при 300°С в течение, ч		после термостарения при 350°С в течение, ч	
	20	300	350	50	100	50	100
УТЭП	97	64	52	41	20	Материал претерпевает большие усадки	
УТМ-8	130	110	113	28	23	То же	
ТГ-1	100	94	90	90	90	93	86

* В пластике в смежных слоях направление основы чередовалось с направлением утка.

В связи с тем, что в процессе термостарения пластики на основе углеродных тканей УТЭП и УТМ-8 претерпевали большие усадки, представлялось целесообразным проверить влияние длительного термостарения при высоких температурах на их усадку и на основании полученных результатов установить оптимальный вариант наполнителя для углепластика.

Усадка пластиков определялась на дисках Ø50 мм. Результаты определения усадки приведены в табл. 2.

Таблица 2

Усадка пластиков на основе углеродных и графитированной тканей*

Наполнитель	Усадка (%) при термостарении образцов при 300°С в течение, ч		
	100	500	1000
УТЭП	3,8	18,6	21,6
УТМ-8	4,2	17,1	18,6
ТГ-1	0	0	0

* В пластике в смежных слоях направление основы чередовалось с направлением утка.

Как видно из данных табл. 1 и 2, оптимальным наполнителем для углепластиков является графитированная ткань марки ТГ-1, на основе которой получены пластики с более высокой механической прочностью при повышенных температурах и практически нулевой усадкой.

В табл. 3 представлены свойства пластика, изготовленного на основе графитированной ткани ТГ-1, причем ткань во всех слоях пластика располагалась по основе.

Таблица 3

Механические и теплофизические свойства пластика на основе ткани ТГ-1

(плотность 1250 кг/м³)

Напряжение при изгибе, МПа										
при температуре, °С				после термостарения при 300°С в течение, ч					после термостарения при 300°С в течение, ч	
20	300	350	400	100	500	1000	1500	2000	50	10
147	136	116	106	136	134	130	116	110	100	93

Теплофизические свойства

Температура испытания, °С	λ , Вт/(м·К)	$\alpha \cdot 10^7$, м ² /с	c , кДж/(кг·К)	$\alpha \cdot 10^6$, К ⁻¹
20	0,37	0,168	0,18	1,2–2,5
50	0,38	0,162	0,19	(от 20 до 100°С)
100	0,39	0,140	0,23	2,5
150	0,41	0,112	0,25	(от 110 до 300°С)
200	0,41	0,110	0,30	
250	0,41	0,110	0,32	
300	0,41	0,110	0,30	

В качестве арамидных опробованы ткани саржевого переплетения из нитей №10,7 и №45. Результаты испытаний пластиков на их основе представлены в табл. 4.

Таблица 4

Свойства пластиков на основе арамидных тканей

Вид нити	Напряжение при изгибе, МПа						
	при температуре, °С				после термостарения при 300°С в течение, ч		
	20	300	350	400	100	500	1000
№10,7	87	52	40	37	47	30	20
№45	97	82	56	57	45	43	40

Видно, что пластики на основе арамидных тканей из нити №45 имели более высокую прочность, в связи с чем для комбинированного материала в последующем использованы арамидные ткани из этой нити.

Комбинированный материал изготовлялся путем сочетания пропитанной полиимидным связующим СП-97с стеклоткани и поверхностных слоев из графитированной или арамидной ткани, пропитанных тем же связующим, с последующим одновременным прессованием по режиму, разработанному для стеклотекстолита СП-97с. Во всех случаях армирующий наполнитель составлял 72–75% (по массе), а связующее соответственно 25–28% (по массе), причем количество слоев стеклоткани определялось толщиной готового материала, а количество листов графитированной или арамидной ткани всегда равнялось четырем – по 2 слоя с каждой стороны.

Сравнительные свойства комбинированных материалов, изготовленных с использованием в наружных слоях графитированной ткани ТГ-1 и арамидной ткани из нити №45, приведены в табл. 5 и 6.

Таблица 5

Свойства комбинированного материала на основе ткани ТГ-1 (плотность 1370 кг/м³)

Состав комбинированного материала	Свойства	Значения свойств							
		при температуре испытания, °С			после термостарения при температуре 300°С в течение, ч			после термостарения при температуре 350°С в течение, ч	
		20	300	350	100	500	1000	50	100
Наполнитель: 6 слоев стеклоткани Т-10-80 и по 2 слоя с каждой стороны графитированной ткани ТГ-1; связующее СП-97с	$\sigma_{в.н.}$, МПа	212	173	153	160	144	140	142	124
	$\sigma_{сж.}$, МПа	192	170	150	136	140	130	136	130
	$\sigma_{в.}$, МПа	232	193	190	176	83	80	176	120
	E , ГПа	21,0	21,0	17,5	17,5	16,5	16,0	17,0	15,0
	$\sigma_{см.}$, МПа	235	170	180	170	120	110	180	120
Коэффициент трения в паре со сталью 30ХГСА: 0,16; износ материала при трении в паре со сталью 30ХГСА: 1,2%									

Теплофизические свойства

Температура испытания, °С	λ , Вт/(м·К)	$\alpha \cdot 10^7$, м ² /с	c , кДж/(кг·К)
20	0,26	0,091	0,21
50	0,26	0,085	0,22
100	0,27	0,075	0,26
150	0,28	0,065	0,31
200	0,29	0,065	0,32
250	0,30	0,063	0,35
300	0,31	0,059	0,38

Таблица 6

Свойства комбинированного материала на основе арамидной ткани

Состав комбинированного материала	Свойства	Значения свойств							
		при температуре испытания, °С			после термостарения при температуре 300°С в течение, ч			после термостарения при температуре 350°С в течение, ч	
		20	300	350	100	500	1000	50	100
Наполнитель: 6 слоев стеклоткани Т-10-80 и по 2 слоя с каждой стороны арамидной ткани из нити №45; связующее СП-97с	$\sigma_{в.и}$, МПа	200	160	120	100	70	85	100	55
	$\sigma_{сж}$, МПа	190	145	140	120	110	100	90	40
	$\sigma_{в}$, МПа	220	170	160	77	–	–	110	–
	E , ГПа	16,0	14,0	12,0	12,5	11,0	10,0	13,0	–
	$\sigma_{см}$, МПа	165	140	100	–	–	–	–	–
Коэффициент трения в паре со сталью 30ХГСА: 0,27; износ материала при трении в паре со сталью 30ХГСА: 1,7%									

Обсуждение и заключения

Исходя из данных расширенных испытаний комбинированных материалов, с учетом комплекса полученных свойств в качестве оптимального варианта выбран комбинированный материал, изготовленный с использованием в качестве поверхностных слоев пластика на основе графитированной ткани марки ТГ-1.

Полученный материал является термостойким вплоть до температуры 350°С, обладает хорошими прочностными и антифрикционными свойствами. Пределы прочности при сжатии и смятии удовлетворяют поставленным требованиям – после термостарения в течение 1000 и 100 ч при температурах 300 и 350°С соответственно $\sigma_{сж} \approx 130$ МПа, $\sigma_{см} \approx 100$ МПа.

Коэффициент трения материала в паре со сталью очень небольшой и составляет 0,16 при износе 1,2%.

Таким образом, разработанный материал может быть применен для изготовления теплоизоляционных нагруженных деталей, обладающих способностью скольжения по стальной и другим поверхностям.

ЛИТЕРАТУРА

1. Каблов Е.Н. Стратегические направления развития материалов и технологий их переработки на период до 2030 года //Авиационные материалы и технологии. 2012. №5. С. 7–17.
2. Ткачук А.И., Гребнева Т.А., Чурсова Л.В., Панина Н.Н. Термопластичные связующие. Настоящее и будущее //Труды ВИАМ. 2013. №11. Ст. 07 (viam-works.ru).
3. Каблов Е.Н., Старцев О.В., Деев И.С., Никишин Е.Ф. Свойства полимерных композиционных материалов после воздействия открытого космоса на околоземных орбитах //Все материалы. Энциклопедический справочник. 2012. №11. С. 2–16.
4. Каблов Е.Н. Химия в авиационном материаловедении //Российский химический журнал. 2010. Т. LIV. №1. С. 3–4.
5. Каблов Е.Н. Материалы для изделия «Буран» – инновационные решения формирования шестого технологического уклада //Авиационные материалы и технологии. 2013. №51. С. 3–9.
6. Давыдова И.Ф., Кавун Н.С. Стеклопластики – многофункциональные композиционные материалы //Авиационные материалы и технологии. 2012. №5. С. 253–260.
7. Давыдова И.Ф., Каблов Е.Н., Кавун Н.С. Термостойкие негорючие полиимидные стеклотекстолиты для изделий авиационной и ракетной техники //Все материалы. Энциклопедический справочник. 2009. №7. С. 2–11.
8. Давыдова И.Ф. Кавун Н.С. Термостойкие герметичные стеклотекстолиты //Все материалы. Энциклопедический справочник. 2011. №11. С. 18–20.
9. Davidova I.F., Kavun N.S. Glass plastics to aviation and rocket Engineering. Springer. 2012 (clause in the electronic).
10. Давыдова И.Ф. Кавун Н.С., Швецов Е.П. Базальтопластики для работы при повышенных температурах //Все материалы. Энциклопедический справочник. 2012. №11. С. 18–24.
11. 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.
12. Давыдова И.Ф., Кавун Н.С. Стеклопластики в конструкциях авиационной и ракетной техники //Стекло и керамика. 2012. №4. С. 36–42.

13. Давыдова И.Ф., Кавун Н.С. Огнестойкие стеклопластики в конструкциях мотогондол двигателей самолетов //Все материалы. Энциклопедический справочник. 2011. №7. С. 16–20.
14. Давыдова И.Ф., Кавун Н.С., Швецов Е.П. Высокотермостойкие карбоносодержащие стеклотекстолиты //Все материалы. Энциклопедический справочник. 2012. №9. С. 18–24.
15. 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.
16. Михайлин Ю.А. Конструкционные полимерные композиционные материалы. М.: «НОТ». 2008. 820 с.
17. Зорин В.А. Опыт применения композиционных материалов в изделиях авиационной и ракетно-космической техники //Конструкции из композиционных материалов. 2011. №4. С. 44–58.
18. Каблов Е.Н., Гращенков Д.В., Исаева Н.В., Солнцев С.С. Перспективные высокотемпературные керамические композиционные материалы //Российский химический журнал. 2010. Т. LIV. №1. С. 20–24.
19. Гуляев И.Н., Власенко Ф.С., Зеленина И.В., Раскутин А.Е. Направления развития термостойких углепластиков на основе полиимидных и гетероциклических полимеров //Труды ВИАМ. 2014. №1. Ст. 04 (viam-works.ru).

REFERENCES LIST

1. Kablov E.N. Strategicheskie napravlenija razvitija materialov i tehnologij ih pererabotki na period do 2030 goda [Strategic directions of development of materials and technologies to process them for the period up to 2030] //Aviacionnye materialy i tehnologii. 2012. №S. S. 7–17.
2. Tkachuk A.I., Grebneva T.A., Chursova L.V., Panina N.N. Termoplastichnye svjazujushhie. Nastojashhee i budushhee [Thermoplastic binders. Present and Future] //Trudy VIAM. 2013. №11. St. 07 (viam-works.ru).
3. Kablov E.N., Starcev O.V., Deev I.S., Nikishin E.F. Svojstva polimernyh kompozicionnyh materialov posle vozdejstvija otkrytogo kosmosa na okolozemnyh orbitah [Properties of polymer composites after exposure to outer space orbiting the Earth] //Vse materialy. Jenci-klopedicheskij spravochnik. 2012. №11. S. 2–16.

4. Kablov E.N. Himija v aviacionnom materialovedenii [Chemicals in aviation materials] //Rossijskij himicheskij zhurnal. 2010. T. LIV. №1. S. 3–4.
5. Kablov E.N. Materialy dlja izdelija «Buran» – innovacionnye reshenija formirovanija shestogo tehnologicheskogo uklada [Materials for the product "Buran" - innovative solutions forming the sixth technological order] //Aviacionnye materialy i tehnologii. 2013. №S1. S. 3–9.
6. Davydova I.F., Kavun N.S. Stekloplastiki – mnogofunkcional'nye kompozicionnye materialy [GRP - multifunctional composite materials] //Aviacionnye materialy i tehnologii. 2012. №S. S. 253–260.
7. Davydova I.F., Kablov E.N., Kavun N.S. Termostojkie negorjuchie poliimidnye steklotekstolity dlja izdelij aviacionnoj i raketnoj tehniki [Heat-resistant polyimide incombustible Fiberglass products for the aviation and rocketry] //Vse materialy. Jenciklopedicheskij spravocnik. 2009. №7. S. 2–11.
8. Davydova I.F. Kavun N.S. Termostojkie germetichnye steklotekstolity [Heat-resistant sealed Fiberglass] //Vse materialy. Jenciklopedicheskij spravocnik. 2011. №11. S. 18–20.
9. Davidova I.F., Kavun N.S. Glass plastics to auiation and roket Engineering. Springer. 2012 (clause in the electronic).
10. Davydova I.F., Kavun N.S., Shvecov E.P. Bazal'toplastiki dlja raboty pri povyshen-nyh tem-peraturah [Basalt for use at elevated temperatures] //Vse materialy. Jenciklopedicheskij spravocnik. 2012. №11. S. 18–24.
11. Muhametov R.R., Ahmadieva K.R., Chursova L.V., Kogan D.I. Novye polimernye svjazujushhie dlja perspektivnyh metodov izgotovlenija konstrukcionnyh voloknistyh PKM [New polymeric binders for the promising methods for the manufacture of structural fibrous RMB] //Aviacionnye materialy i tehnologii. 2011. №2. S. 38–42.
12. Davydova I.F., Kavun N.S. Stekloplastiki v konstrukcijah aviacionnoj i raketnoj tehniki [GRP in the construction of aviation and rocketry] //Steklo i keramika. 2012. №4. S. 36–42.
13. Davydova I.F., Kavun N.S. Ognestojkie stekloplastiki v konstrukcijah motogondol dvigatelej samoletov [Fire-resistant fiberglass in the construction of aircraft engine nacelles] //Vse materialy. Jenciklopedicheskij spravocnik. 2011. №7. S. 16–20.
14. Davydova I.F., Kavun N.S., Shvecov E.P. Vysokotermostojkie karbonosoderzhashhie steklotekstolity [High temperature resistant Fiberglass carbon-containing] //Vse materialy. Jenciklopedicheskij spravocnik. 2012. №9. S. 18–24.

15. Kondratenko A.N., Golubkova T.A. Polimernye kompozicionnye materialy v izdelijah zarubezhnoj raketno-kosmicheskoy tehniki (obzor) [Polymer composite materials in the products of foreign missile and space technology (review)] //Konstrukcii iz kompozicionnyh materialov. 2009. №2. S. 24–34.
16. Mihajlin Ju.A. Konstrukcionnye polimernye kompozicionnye materialy [Structural polymer composite materials]. M.: «NOT». 2008. 820 s.
17. Zorin V.A. Opyt primenenija kompozicionnyh materialov v izdelijah aviacionnoj i raketno-kosmicheskoy tehniki [Experience in the application of composite materials in the products aviation and space technology] //Konstrukcii iz kompozicionnyh materialov. 2011. №4. S. 44–58.
18. Kablov E.N., Grashhenkov D.V., Isaeva N.V., Solncev S.S. Perspektivnye vysokotemperaturnye keramicheskie kompozicionnye materialy [Promising high-temperature ceramic composites] //Rossijskij himicheskij zhurnal. 2010. T. LIV. №1. S. 20–24.
19. Guljaev I.N., Vlasenko F.S., Zelenina I.V., Raskutin A.E. Napravlenija razvitija termostojkih ugleplastikov na osnove poliimidnyh i geterociklicheskih polimerov [Directions of development of heat-resistant carbon-fiber-based polyimide polymers and heterocyclic] //Trudy VIAM. 2014. №1. St. 04 (viam-works.ru).