



УДК 677.4

**НЕТКАНЫЕ МАТЕРИАЛЫ НА ОСНОВЕ
ТЕРМОСТОЙКИХ ПОЛИМЕРНЫХ ВОЛОКОН И
МЕЖПЛИТОЧНЫЕ УПЛОТНЕНИЯ**

Э.К. Кондрашов
доктор технических наук

В.В. Кузьмин
кандидат технических наук

В.Т. Минаков
доктор технических наук

Е.А. Пономарева

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.К. Кондрашов, В.В. Кузьмин, В.Т. Минаков, Е.А. Пономарева

НЕТКАНЫЕ МАТЕРИАЛЫ НА ОСНОВЕ ТЕРМОСТОЙКИХ ПОЛИМЕРНЫХ ВОЛОКОН И МЕЖПЛИТОЧНЫЕ УПЛОТНЕНИЯ

С самого начала работы над материалами для тепловой защиты многоразового космического корабля было ясно, что плитку из кварцевого волокна невозможно крепить непосредственно на металлический корпус изделия. Требовались демпфирующие подложки. Требовались также разнообразные прокладочные материалы, в том числе термостойкие вкладыши для защиты зазоров между плитками покрытия. В ВИАМ были предложены и разработаны нетканые материалы из полимерных волокон, обладающие всеми необходимыми свойствами, – начиная от термостойкости и заканчивая высокой надежностью в условиях работы космического корабля.

Приводятся основные свойства термостойких полимерных волокон, физико-механические показатели созданных на их основе нетканых материалов АТМ-15, АТМ-16 и АТМ-19 в исходном состоянии и пропитанных гидрофобизирующей эмульсией, с нанесением на поверхность дополнительного эрозионностойкого покрытия. В результате материалам АТМ-16 и АТМ-19 были присвоены марки соответственно АТМ-16ПКП и АТМ-19ПКП. Для создания монолитной поверхности теплозащиты, межплиточные зазоры заполняли термостойким материалом в виде вкладыша (марка МТУ). Приведены свойства материалов АТМ-16ПКП и АТМ-19ПКП.

Ключевые слова: *температурный коэффициент расширения, демпфирующий материал, термостойкие волокна, иглопробивной материал, физико-механические свойства, гидрофобизация материалов, эрозионностойкое покрытие, межплиточные зазоры.*

E.K. Kondrashov, V.V. Kuz'min, V.T. Minakov, E.A. Ponomareva

NONWOVEN MATERIALS ON THE BASIS OF HEAT-RESISTANT POLYMERIC FIBRES AND INTERTILED SEALINGS

With the beginning of the work on the material for the thermal protection of the reusable spaceship, it was clear that the tile from silica fibers cannot be attached directly on the metal casing of the product. There were required damping substrates. Also were required a variety of layers of materials, including heat-resistant inserts for the protection of the gaps between the tiles covering. In VIAM were proposed and developed non-woven materials of polymer fibers, with all the necessary properties, from thermal stability to high inflight reliability of a space ship.

The paper describes the main properties of heat-resistant polymer fibers, physical and mechanical property values of non-woven materials ATM-15, ATM-16 and ATM-19, produced from this fibers, in the as received material and after impregnating of waterproofing emulsion, with application to the surface of the additional erosion-resistant coating. As a result, the materials ATM-16 and ATM-19 were marked as ATM-16ПКП and ATM-19ПКП accordingly. To make a monolithic surface of thermal insulation, tile-to-tile gaps were filled with the fire resistant material in the form of inserts (marked as MTU). The article presents the properties of materials ATM-16ПКП and ATM-19ПКП.

Key words: *coefficient of thermal expansion, damping material, heat resistant fibers, needled felt, physical-mechanical properties, hydrophobization of materials, erosion-resistant coating, tile-to-tile gaps.*

Основным материалом теплозащиты при температурах до 1600°C является очень легкая плитка из супертонкого кварцевого волокна (ТЗМК), обладающая комплексом уникальных теплофизических свойств. Однако из-за большой разницы в температурном коэффициенте расширения (ТКР) алюминиевого сплава обшивки и плитки из ТЗМК, нельзя было крепить плитку на внешнюю поверхность «Бурана», – это могло бы привести к растрескиванию плитки при перепаде температур. Поэтому была поставлена задача разработать демпфирующий материал (компенсатор) для установки его между плиткой из ТЗМК и внешней поверхностью планера «Бурана».

Такой материал, приклеенный как к обшивке, так и к плитке, должен нивелировать различие ТКР между керамической плиткой и металлической поверхностью, при этом иметь низкую плотность (0,15–0,20 г/см³) и термостойкость до 300°C. Схема крепления плитки к обшивке представлена на рис. 1.

С учетом этих требований и имеющихся литературных данных наиболее подходящим решением представлялось создание нетканого материала типа войлока или фетра на основе термостойких полимерных волокон, изготавливаемого

иглопробивным способом. Для исследований были выбраны наиболее термостойкие волокна: фенилон (ароматический полиамид), терлон (ароматический полиамид), ариמיד (полиимидное волокно) и лола (волокно на основе лестничных и полулестничных полимеров).

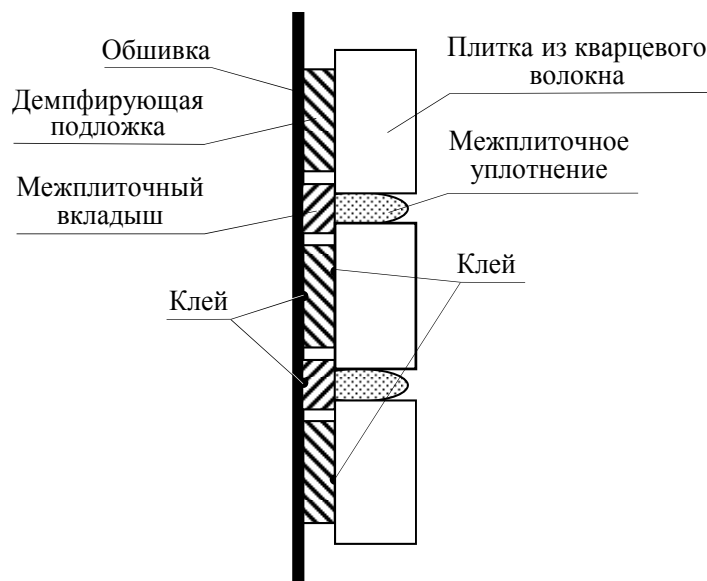


Рисунок 1. Схема крепления плиток (ТЗМК) к обшивке из алюминиевого сплава

В результате проведенных исследований и испытаний для демпфирующей подложки был разработан иглопробивной материал на основе синтетических волокон фенилон и терлон, получивший марку АТМ-15.

Положительные результаты при создании иглопробивного материала АТМ-15 позволили разработать материалы такого же типа, но на основе более термостойких полимерных синтетических волокон ариמיד и лола (табл. 1).

Таблица 1

Основные свойства термостойких полимерных волокон

Свойства	Показатели свойств волокон				
	фенилон	сульфон-Т	терлон	аримид	лола
Прочность при разрыве, Н/текс	–	0,35–0,4	0,8–1	0,45–0,5	0,15–0,2
Удлинение при разрыве, %	20–25	16–18	8–10	6–8	15–25
Плотность, кг/м ³	1380	1450	1460	1410–1460	1450
Равновесное влагопоглощение, %	4–5	5–6	2	1–1,5	8
Усадка в воде, %	1,5	1,0	1,0	–	–
Кислородный индекс, %	28–29	28–32	29–30	38	54
Температура разложения, °С	330–370	430	500	700	>700

Такие материалы были необходимы для использования в качестве межплиточных вкладышей и самостоятельной теплозащиты – на участках изделия с температурой разогрева до 400°С – вместо трудоемкой и дорогостоящей плитки ТЗМК для части крыла и боковых поверхностей фюзеляжа.

Разработанным материалам присвоены марки АТМ-16 и АТМ-19.

Материал АТМ-16 предназначен для использования в качестве межплиточного вкладыша и устанавливается по периметру плиток. Материал АТМ-19 использовался в качестве самостоятельной теплозащиты боковых поверхностей изделия.

Физико-механические свойства нетканых материалов АТМ-15, АТМ-16 и АТМ-19 приведены в табл. 2.

Материалы АТМ-15, АТМ-16, АТМ-19 соответствовали предъявленным требованиям по физико-механическим свойствам.

Однако, учитывая особенности изготовления и применения материала АТМ-19 как отдельного элемента теплозащиты, с целью повышения прочности при отрыве по толщине необходимо было осуществить прошивку полотна АТМ-19, для чего его раскраивали и разрезали на заготовки размером 700×700 мм. Прошивку проводили по прилагаемой схеме (рис. 2) технической нитью марки Аримид Т-160 с линейной плотностью 100 текс. Толщина материала АТМ-19 может быть в пределах 13–26 мм, прочность при разрыве в поперечном направлении не менее 19,6 Н/см².

Таблица 2

Физико-механические свойства материалов

Наименование характеристик	Показатели характеристик материалов		
	АТМ-15	АТМ-16	АТМ-19
Толщина, мм	5,3±0,2	5,2±0,5	6–20
Поверхностная плотность, г/м ²	610±15	600±30	3000±30 (при толщине 20 мм)
Разрывная нагрузка, Н:			
по длине	250	120	–
по ширине	300	200	–
Влажность, %	6,0	6,0	6,0
Неравномерность поверхностной плотности, %	7,0	7,0	–
Предел прочности при отрыве, МПа	0,25	0,23	0,28
Рабочий диапазон температур, °С	-130÷+300	-130÷+400	-130÷+430

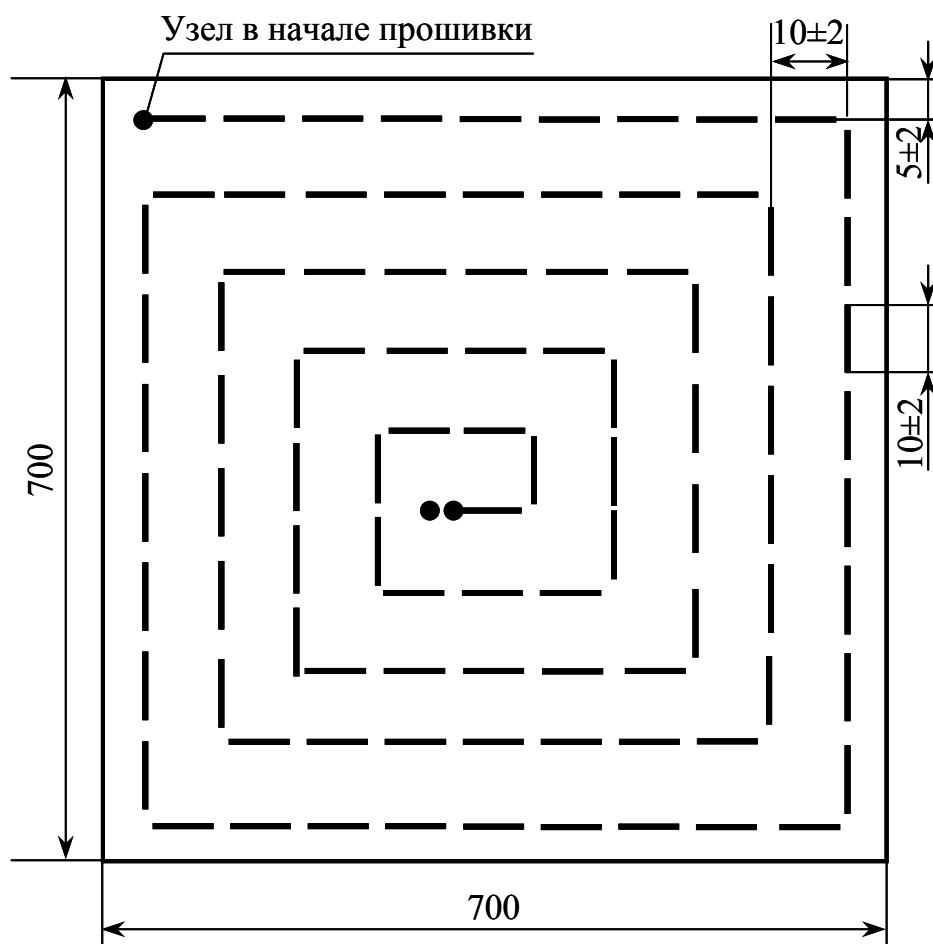


Рисунок 2. Схема прошивки материала АТМ-19

Иглопробивные материалы имеют пористую структуру, поэтому интенсивно впитывают влагу (до 600%), что увеличивает их объемную массу и снижает теплоизоляционные свойства, т. е. они не отвечают требованиям по влагопоглощению при условиях эксплуатации в открытой атмосфере. Поэтому возникла необходимость гидрофобизации материалов АТМ-15, АТМ-16, АТМ-19. Проведенные исследования целого ряда гидрофобизаторов позволили сделать выбор – лучшие результаты были получены при использовании эмульсии КЭ-37-18. Одновременно с этим возникла необходимость стабилизировать рыхловолокнистую структуру иглопробивных материалов по толщине, для чего был применен метод калибровки: исходные материалы АТМ-15, АТМ-16 и АТМ-19, пропитанные эмульсией КЭ-37-18, помещали под плиты пресса, снабженного металлическими ограничителями заданной толщины, и создавалось давление, при котором плиты плотно зажимались между ограничителями.

После стабилизации давления проводили термофиксацию заготовки. В результате материалу АТМ-15 была присвоена марка АТМ-15ПК – пропитанный калиброванный. Свойства материала АТМ-15ПК приведены в табл. 3.

Свойства материала АТМ-15ПК

Наименование характеристик	Показатели характеристик
Толщина, мм	4±0,1
Объемная масса, г/см ³	0,15±0,01
Прочность при растяжении, МПа:	
по длине	2,2
по ширине	2,03
Прочность при отрыве, МПа	0,13
Коэффициент теплопроводности, Вт/(м·К), при температуре, °С:	
20	0,067
300	0,086
Гигроскопичность, % (при φ=98%)	0,5
Горючесть	Трудногорающий
Температура эксплуатации, °С	-130÷+300

Для раскроя материала АТМ-15ПК с целью получения демпфирующих подложек требуемого размера была изготовлена лазерная установка специальной конструкции (рис. 3).



Рисунок 3. Лазерная установка для раскроя материала АТМ-15ПК

Материал АТМ-16 предназначен для использования в качестве межплиточного вкладыша, а материал АТМ-19 – в качестве боковой теплозащиты, поэтому, кроме пропитки для защиты от аэродинамического нагрева и дополнительной защиты от

увлажнения, на поверхность этих материалов наносили эрозионностойкое покрытие – герметик УФ-11-21. В результате материалам АТМ-16 и АТМ-19 были присвоены марки соответственно АТМ-16ПКП и АТМ-19ПКП (пропитанный, калиброванный с покрытием). Свойства этих материалов приведены в табл. 4.

Конструктивно плитки ТЗМК крепятся на поверхности металлического силового каркаса изделия с зазором до 4 мм. Для создания монолитной поверхности теплозащиты, устойчивой к аэродинамическому нагреву, межплиточные зазоры должны быть заполнены термостойким (до 1200°С) материалом в виде вкладыша. Такой материал тоже был разработан – он представляет собой формованную пластину из кварцевого волокна и неорганического связующего (марка материала МТУ с размером пластины 150×25×35 мм, где 150 – длина; 25 – ширина уплотнительной части; 35 – ширина крепежного хвостовика).

Свойства материала МТУ контролируются по размерно-весовым характеристикам. Разработанные материалы АТМ-15ПК, АТМ-16ПКП, АТМ-19ПКП и МТУ прошли тепловые испытания в ЛИИ в условиях лучистого нагрева и в аэродинамической трубе. Были получены положительные результаты, и материалы рекомендованы для комплектации на изделии.

Плиточная теплозащита (см. рис. 1) корабля «Буран» была испытана при условиях, имитирующих вход в атмосферу с орбиты ИСЗ (искусственного спутника Земли), на специально созданных моделях «Бор-4» (рис. 4).

После приводнения модели в акватории Индийского океана, его подъема на борт боевого корабля ВМФ и осмотра было установлено, что вся плиточная теплозащита находится в отличном состоянии и выбранная схема крепления плиток (см. рис. 1) с использованием материалов АТМ-15ПК и АТМ-16ПКП может быть применена для летных вариантов МКС «Буран».



Рисунок 4. Модель «Бор-4»

Свойства материалов АТМ-16ПКП и АТМ-19ПКП

Наименование характеристик	Показатели характеристик материалов	
	АТМ-16ПКП	АТМ-19ПКП
Толщина, мм	4±0,1	6÷21
Объемная масса, г/см ³	0,26–0,28	0,25–0,28
Прочность при растяжении, МПа:		
по длине	2	1,65
по ширине	1	1,05
Прочность при отрыве, МПа	0,22	0,28
Коэффициент теплопроводности, Вт/(м·К), при 20°С	0,05	0,06
Влагопоглощение за 24 ч, % (при φ=98%)	0,5	0,5
Водопоглощение, %:		
флотационный контакт с водой		
за 15 мин	-1,5	1,6
за 24 ч	2,5	3
метод принудительного погружения		
за 15 мин	7	8
за 24 ч	20	20
Горючесть	Трудногорающий	Трудногорающий
Температура эксплуатации, °С	-130÷+430	-130÷+430

Статья подготовлена по результатам работ, проведенных под руководством д.т.н. Э.К. Кондрашова, к.т.н. В.Т. Минакова и начальников лаборатории к.т.н. В.Г. Набатова, а в последующем д.т.н. Б.Н. Морина. В исследовании принимали участие: К.К. Борисова, к.т.н. Е.Г. Сурнин, Н.А. Полепкина, Н.К. Грибкова, Е.А. Пономарева, А.С. Семенова, Е.Е. Муханова, И.В. Тихонова и Л.Л. Полстянко.

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. Гращенков Д.В., Чурсова Л.В. Стратегия развития композиционных и функциональных материалов //Авиационные материалы и технологии. 2012. №5. С. 231–242.
3. Тинякова Е.В., Гращенков Д.В. Теплоизоляционный материал на основе муллитокорундовых и кварцевых волокон //Авиационные материалы и технологии. 2012. №3. С. 43–47.
4. Гофин М.Я. Жаростойкие и теплозащитные конструкции многоразовых космических аппаратов. М.: ЗАО ТФ Мир. 2003. 671 с.
5. Авиационные материалы: Справочник в 12-ти томах. Т. 9. Теплозащитные, теплоизоляционные и композиционные материалы, высокотемпературные неметаллические покрытия. М.: ВИАМ. 2011. С. 31.
6. Гусева А.И. Комплексные исследования теплофизических характеристик теплозащитно-теплоизоляционных материалов длительного и многоразового применения: Автореф. дис. к.т.н. М. 1981. С. 20.
7. Исследование гибкой многоразовой теплозащиты: Обзор № 611. М.: ЦАГИ. 1982. С. 44–49.
8. Усовершенствование свойств фетра АТМ-15 с целью повышения качества: Технич. отчет. М.: ВИАМ. 1984. С. 28.
9. Масленников К.Н. Химические волокна: Словарь-справочник. М.: Химия. 1973. 192 с.
10. Разработка фетра из синтетических волокон: Технический отчет. М. 1977. С. 45.
11. Савенкова А.В., Тихонова И.В., Требукова Е.А. Тепломорозостойкие герметики /В сб.: Авиационные материалы на рубеже XX–XXI веков: науч.-технич. сб. М.: ВИАМ. 1994. С. 432–439.
12. Волокнистый войлок-конструкционный материал низкой плотности //Р.Ж. Машиностроение. М: ВИНТИ. 1983. С. 168.