

ВИАМ/2014-Тр-06-07



УДК 678.6

DOI: 10.18577/2307-6046-2014-0-6-7-7

**ТЕРМОСТОЙКИЕ ВОЛОКНА И
ТЕПЛОЗВУКОИЗОЛЯЦИОННЫЕ
ОГНЕЗАЩИТНЫЕ МАТЕРИАЛЫ**

Н.М. Варрик

Июнь 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 678.6

DOI: 10.18577/2307-6046-2014-0-6-7-7

*Н.М. Варрик*¹

ТЕРМОСТОЙКИЕ ВОЛОКНА И ТЕПЛОЗВУКОИЗОЛЯЦИОННЫЕ ОГНЕЗАЩИТНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

Статья содержит обзор литературы и тенденции развития в области разработки теплозвукоизоляционных огнезащитных материалов. Приведены данные научной литературы по созданию самолетной теплоизоляции, соответствующей современным требованиям пожаробезопасности для летательных аппаратов. Рассмотрены типы волокнистых материалов и конструкций теплоизоляционных систем.

Ключевые слова: *волокнистая теплоизоляция, высокотемпературный изоляционный мат, неорганическое волокно, огнеупорное волокно; огнезащитный, противопожарный, звукоизоляционный, огнезащитный пленочный ламинат.*

N.M. Varrik

HEAT-RESISTANT FIBERS AND HEAT AND SOUND INSULATING FIREPROOF MATERIALS

Article contains the review and defines tendencies in the field of development of heat and sound insulating fireproof materials for aircraft. Scientific literature data on creation of the plane thermal insulation conforming to modern requirements of fire safety for aircraft are provided. Types of fibrous materials and designs of heat-insulating systems are considered.

Keywords: *fibrous heat insulation, aircraft, high temperature insulation mat, inorganic fiber, refractory fiber; soundproof insulaton, fire blocking thermal insulation blanket, acoustical insulation mat, fire barrier film laminate.*

¹ 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

Развитие транспортной отрасли выдвигает ряд научно-технических задач, решение которых предполагает радикальное снижение энергетических и тепловых потерь, материалоемкости продукции, рациональное и эффективное использование всех видов ресурсов [1–4].

Теплозвукоизоляционная система для летательных аппаратов, как правило, содержит в качестве основы волокнистый материал (мат или войлок) из термостойкого негорючего волокна (например, используют базальтовые, кварцевые, кремнеземные, органические или стеклянные волокна) и защитной оболочки, в которую заключают этот волокнистый материал. Защитная оболочка должна, с одной стороны, препятствовать накоплению влаги в волокне и его осыпанию, с другой стороны, она должна позволять испаряться влаге, конденсирующейся в матах в процессе их нагрева и охлаждения, а, кроме того, оболочка должна соответствовать противопожарным требованиям, изложенным в АП-25 (FAR-25).

Требования к этому классу материалов комплексные, они включают такие характеристики, как низкие плотность и теплопроводность, высокие звукоизоляционные свойства, пожаростойкие характеристики (малое выделение дыма, способность к затуханию при воспламенении и пр.) и пониженные гигроскопичные свойства. Теплопроводные и акустические свойства теплозвукоизоляционной системы обеспечены волокнистым наполнителем, а гигроскопичные свойства – покрытиями и оболочками. Требованиям пожаробезопасности должны отвечать как материалы наполнителя, так и материалы оболочки теплозвукоизоляции [5–10].

В 2000 году были приняты новые авиационные правила АП-25 (американский аналог – FAR-25), регламентирующие требования противопожарной безопасности материалов, используемых при создании транспортных самолетов, в том числе для теплозвукоизоляционных материалов. В результате используемые для влагонепроницаемой оболочки полимерные материалы потребовали доработки, чтобы снизить скорость распространения пламени и размер прожога [11, 12].

Кроме того, при конкуренции на рынке самолетов – помимо требований противопожарной безопасности, малой плотности, тепловых и акустических свойств – к разрабатываемым материалам предъявляется требование их низкой стоимости.

Поэтому в настоящее время перед разработчиками материалов стоит задача повышения пожаростойкости теплозвукоизоляционных систем самолетов, требующая комплексного подхода: необходимо использовать экономичные высокотермостойкие волокна, обладающие требуемым набором эксплуатационных свойств (плотность, усадка, химическая стойкость, упругость и др.), подходящее связующее для получения матов из этих волокон, не снижающее пожаростойких свойств материала, и влагозащитную оболочку, отвечающую современным требованиям пожарной безопасности.

Для использования в качестве теплоизоляции транспортных самолетов самым распространенным материалом для изготовления волокнистых матов является высокотермостойкое стекловолокно, которое производят в виде непрерывного стеклоровинга, рубленого волокна и стекловаты (рис. 1). Стекловолокно содержит основную долю SiO_2 и в зависимости от состава может иметь рабочую температуру от 600 до 1000°C. Кроме SiO_2 , стекловолокна содержат добавки CaO , Al_2O_3 и других оксидов для корректировки механических свойств и точки плавления. Обычно волокна вытягивают через фильеру из расплава, имеющего температуру ~1300°C, и производят их в виде непрерывного ровинга, содержащего несколько сотен нитей.

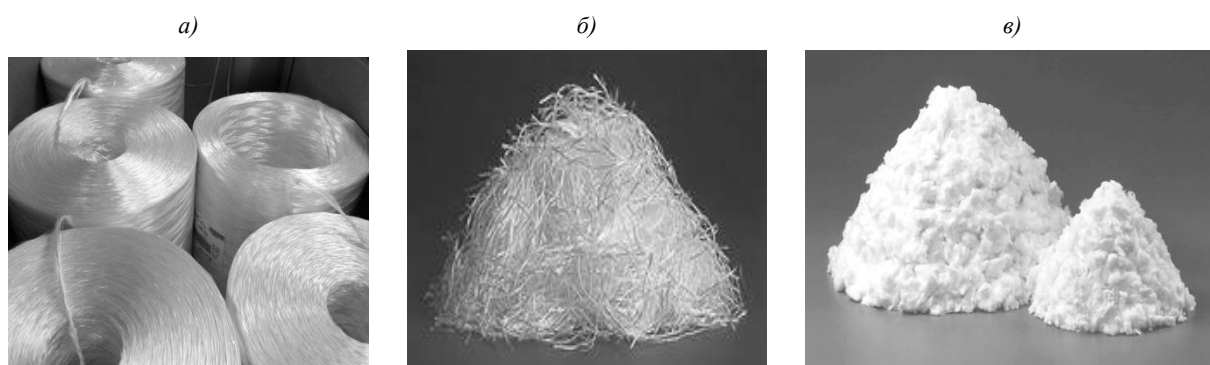


Рисунок 1. Непрерывное стекловолокно (а), рубленое стекловолокно (б) и стекловата (в)

Стекловолокна производят в интервале диаметров, определяемых размерами прядильных устьев фильеры и скоростью прядения. Типичный диаметр непрерывных стекловолокон составляет 14 мкм. Стоимость производства стекловолокон зависит от чистоты исходных материалов, для которых допустимы, например, только очень небольшие добавки железа, а также от стоимости материалов стекловаренного сосуда и шихты, так как эти материалы достаточно дороги.

Волокнообразование происходит при высокой скорости. По мере того, как стекло покидает фильеру, его охлаждают струей воды таким образом, что за время намотки волокна на катушку его температура падает на 200°C за время от 0,1 до 0,3 с. Из-за быстрого охлаждения образуются открытые атомные связи, и структура волокна соответствует стеклу. Значительные остаточные напряжения внутри волокна отсутствуют, структура изотропна. Стекловолокна имеют несколько более низкую плотность, чем эквивалентный объем стекла. Разница составляет ~0,04 г/см². Затем волокна наматывают на бобины для дальнейшей обработки по традиционным текстильным технологиям, или используют для изготовления хаотично запутанных волокнистых матов.

Изоляционную стекловату получают путем заливки расплава стекла на вращающийся поддон из никелевого сплава, где стекло отбрасывает на периферию и оно про-

текает через маленькие отверстия. Стекловату широко используют для изготовления теплозвукоизоляции.

Из термостойкого волокна получают волокнистые маты, составляющие основу теплозвукоизоляционного материала. Волокнистые маты могут производиться различных размеров, в зависимости от требований заказчика. За рубежом ассортимент серийно выпускаемых стекловолокон достаточно широк, однако имеется также большое количество новых разработок, направленных на повышение эксплуатационных характеристик волокна и их экологическую безопасность. В качестве термостойкого волокна за рубежом чаще всего используют высокотермостойкое стекло, в России – базальтовые, стеклянные и муллито-кремнеземные волокна.

Наиболее крупными производителями волокнистой теплоизоляции в США являются фирмы Johns Manville Corp., Thermal Ceramics, Unifrax Corporation, Orcon Aerospace, Hi-Temp Insulation Corp.

Компания Johns Manville Corp. – одна из крупнейших корпораций, производящих теплоизоляцию, которая имеет большое число патентов на производимую продукцию [13–16]. В частности, ею предложена теплозвукоизоляционная система для использования в летательных аппаратах [16]. Система включает теплоизоляционный материал из одного или нескольких волокнистых стекломатов или вспененного материала и множества вытянутых элементов для упрочнения этого материала. В качестве упрочняющих элементов могут быть использованы прутки или проволока, выполненные из такого материала, как стеклопластик, углепластик, металл. В системе также может быть использован адгезив для скрепления между собой слоев теплоизоляционного мата, такой как фенольная, акриловая или латексная смола.

Если внутренний слой теплоизоляции выполнен из гибкого вспененного материала, то это может быть полиимидная, фенольная, меламиновая пена. Если внутренняя часть теплоизоляции представляет собой гибкий листовой волокнистый материал, выполненный из стекловолокна со связующим (например, Microlite® AA Premium NR от компании Johns Manville (США)), то его можно укладывать слоями либо размещать в виде гофрированных складок, как показано на рис. 2.

Изоляционный слой 1 теплоизоляционной системы 2 имеет верхние $3a, b, c$ и нижние $4a, b, c$ складки, средние вытянутые части $5a, b, c, d, e$. Армирующие элементы в виде стержней $6a$ и $6b$ размещены между складками теплоизоляционного материала. Сверху и снизу изоляционного слоя 1 находится слой покрытия $7a$ и $8a$, который должен быть гибким, чтобы теплоизоляция могла занимать объем любой конфигурации, например,

поливинилфторид, полиимид, полиэфир или их смесь. Также можно разместить по два слоя покрытия $7a,b$ и $8a,b$ сверху и/или снизу.

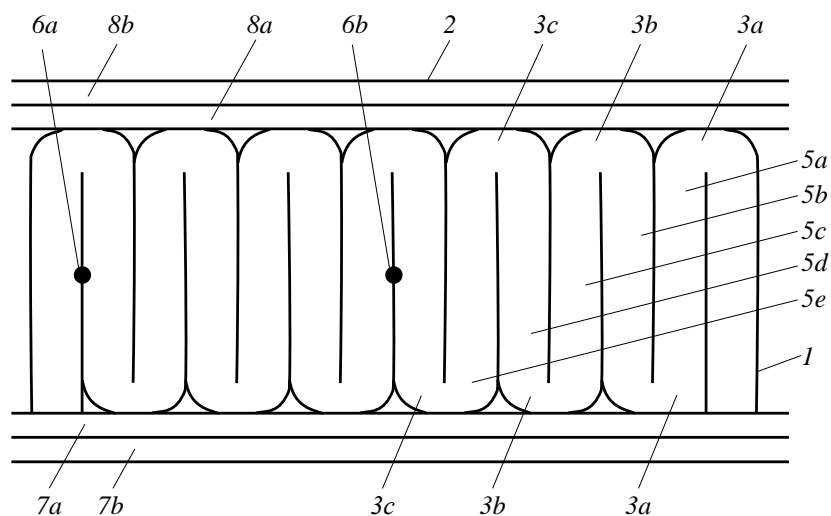


Рисунок 2. Теплозвукоизоляционный материал в виде гофрированных складок от компании Johns Manville (США):

1 – изоляционный слой; 2 – теплоизоляционная система; 3, 4 – верхние и нижние складки; 5 – вытянутая часть; 6 – армирующие элементы в виде стержней; 7, 8 – гибкий слой покрытия

Варианты производимой теплоизоляции от компании Johns Manville (США) представлены на рис. 3. Теплоизоляция изготовлена из боросиликатного стекловолокна без связующего и длительно выдерживает температуру 478°C .

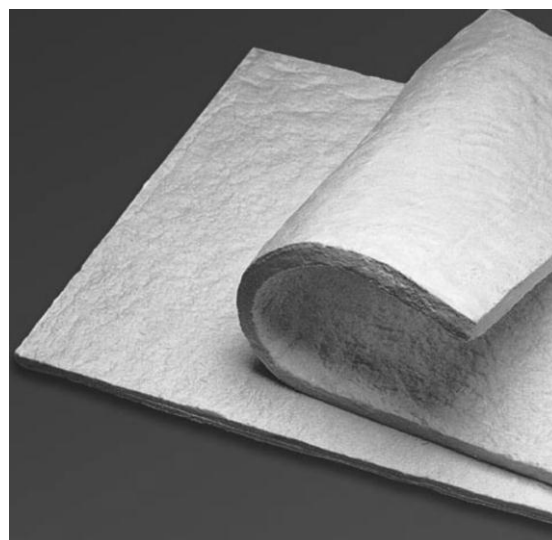
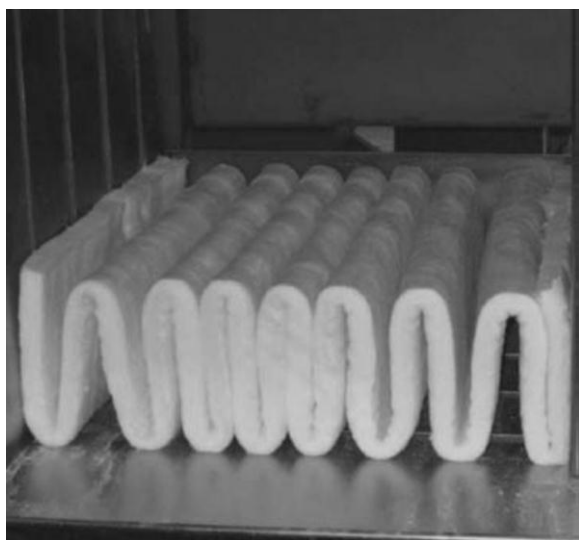


Рисунок 3. Волокнистая теплоизоляция Micro-Fiber Felt от компании Johns Manville (США)

Компанией Boeing предложена модульная система теплоизоляции [17], которая включает множество модулей из волокнистых блоков и двухслойного покрытия, имеющего наружный слой и внутренний слой со сварными швами по периметру и между

блоками (рис. 4). Наружный слой покрытия перфорирован, чтобы волокнистые блоки могли «дышать».

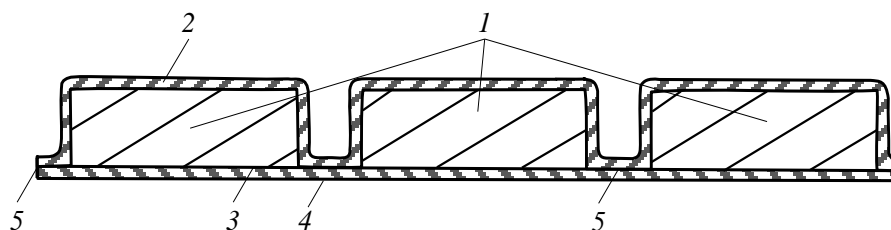


Рисунок 4. Модульная теплоизоляция от компании Boeing (США):

1 – волокнистый блок; 2 – двухслойное покрытие; 3, 4 – наружный и внутренний слой двухслойного покрытия; 5 – сварной шов

Волокнистые блоки могут быть изготовлены из нетканого или тканого материала, стекловолокна, минеральной ваты или керамических волокон. Покрытие представляет собой термопластичную пленку из группы синтетических полимеров, сополимеров, коэкструдированных полимеров из группы, содержащей поливинилфторид, полиимид, полиэфир, полиуретан, полиэтилен, полипропилен и др.

Другой вариант авиационной изоляционной системы и способ ее получения предложен фирмой Boeing Company [18]. Теплоизоляционный мат выполнен в форме, имеющей основную часть и козырек, которые соединены лентой (рис. 5).

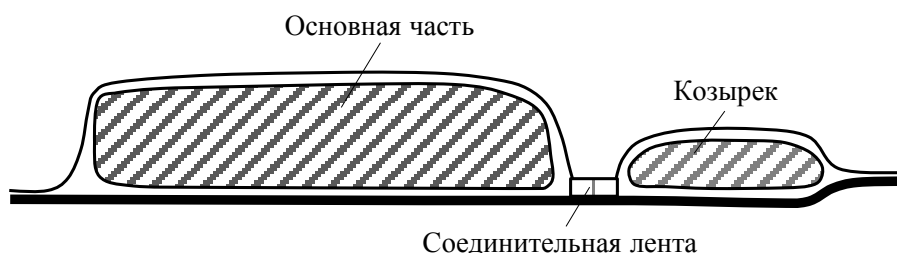


Рисунок 5. Теплоизоляционная система фирмы Boeing Company

Влагозащитная пленка может быть выполнена из полимерного материала, выбранного из группы, включающей полипропилен (ПП), полиимид (ПИ), полиэфиркетокетон (ПЭКК), полиэфифиркетон (ПЭЭК), поливинилфторид (ПВФ). Огнестойкое покрытие включает негорючую бумагу из керамических оксидных волокон, покрытую с двух сторон полимерным материалом с помощью термостойкого связующего.

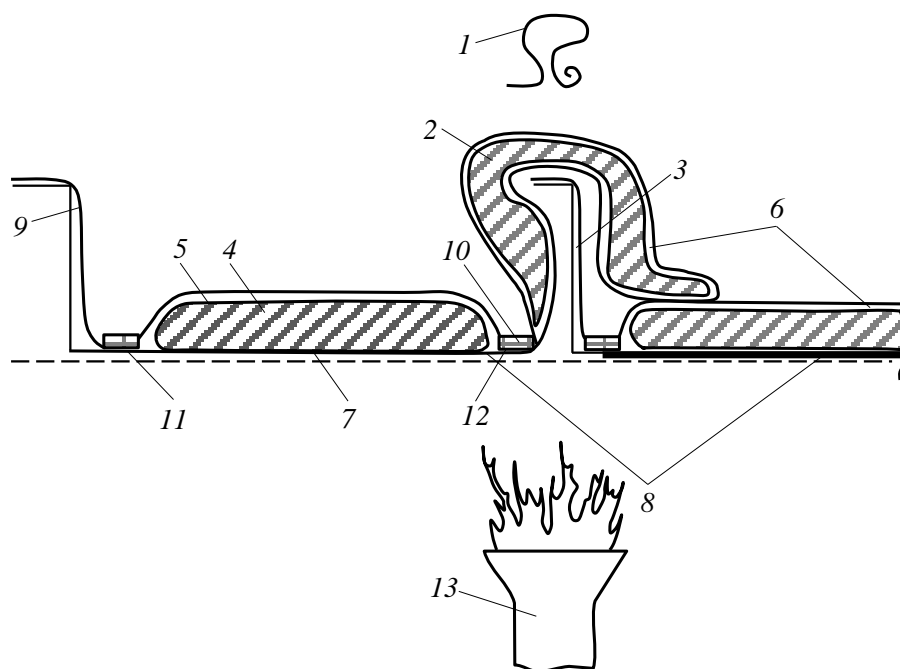


Рисунок 6. Вариант установки теплоизоляционной системы фирмы Boeing Company в нижней части фюзеляжа самолета:

1 – зажим; 2 – козырек мата; 3 – верхняя часть шпангоута; 4 – основной мат; 5 – внутренняя сторона мата; 6 – защитная пленка; 7 – наружная сторона мата с огнестойким покрытием; 8 – огнестойкое покрытие; 9 – длинная петля; 10 – сварной шов; 11, 12 – слой адгезива; 13 – источник воспламенения

Такая конструкция позволяет укладывать теплоизоляционную систему таким образом, что основная часть прилегает к фюзеляжу, а козырек накрывает шпангоуты. На рис. 6 представлен узел одного из вариантов теплоизоляционной системы. Зажим 1 служит для фиксации козырька мата 2 на верхней части шпангоута 3. Каждый из матов 2 и 4 имеют внутреннюю сторону 5 с защитной пленкой 6 и наружную сторону 7 с огнестойким покрытием 8. Длинная петля 9 отходит от покрытия 8. Маты 2 и 4 соединены термическим сварным швом 10. На внутренней стороне огнестойкого покрытия 8, прилегающей к волокнистому мату 2, может быть нанесен слой адгезива 11, а на внутренней поверхности защитной пленки 6 – слой адгезива 12.

Одним из крупнейших производителей волокнистой теплоизоляции для самолетов Boeing в США является корпорация Hi-Temp Insulation. На рис. 7, а–в представлены фотографии производства данной фирмы [19].

Во ФГУП «ВИАМ» также разрабатываются тепловозвукоизоляционные материалы [20–22]. Огнестойкий слоистый звуко-теплоизолирующий материал содержит тепловозвукоизолирующий и огнестойкий слои на основе неорганического волокна, пропитанные термостойким связующим, слои облицованы термостойким материалом. Тепловозвуко-

изолирующий слой состоит из базальтового волокна, а огнестойкий слой – из кремнеземного волокна. Кроме того, материал дополнительно содержит слой из нетканого иглопробивного материала на основе арамидных волокон, пропитанного составом на основе водной дисперсии сополимера винилхлорида с винилиденхлоридом и винилацетатом. Базальтовое волокно обеспечивает хорошие теплоизоляционные свойства, так как обладает низким коэффициентом теплопроводности, а высокотермостойкое кремнеземное волокно обеспечивает высокую стойкость к прогоранию при воздействии пламени, так как его температура плавления выше температуры пламени [20].

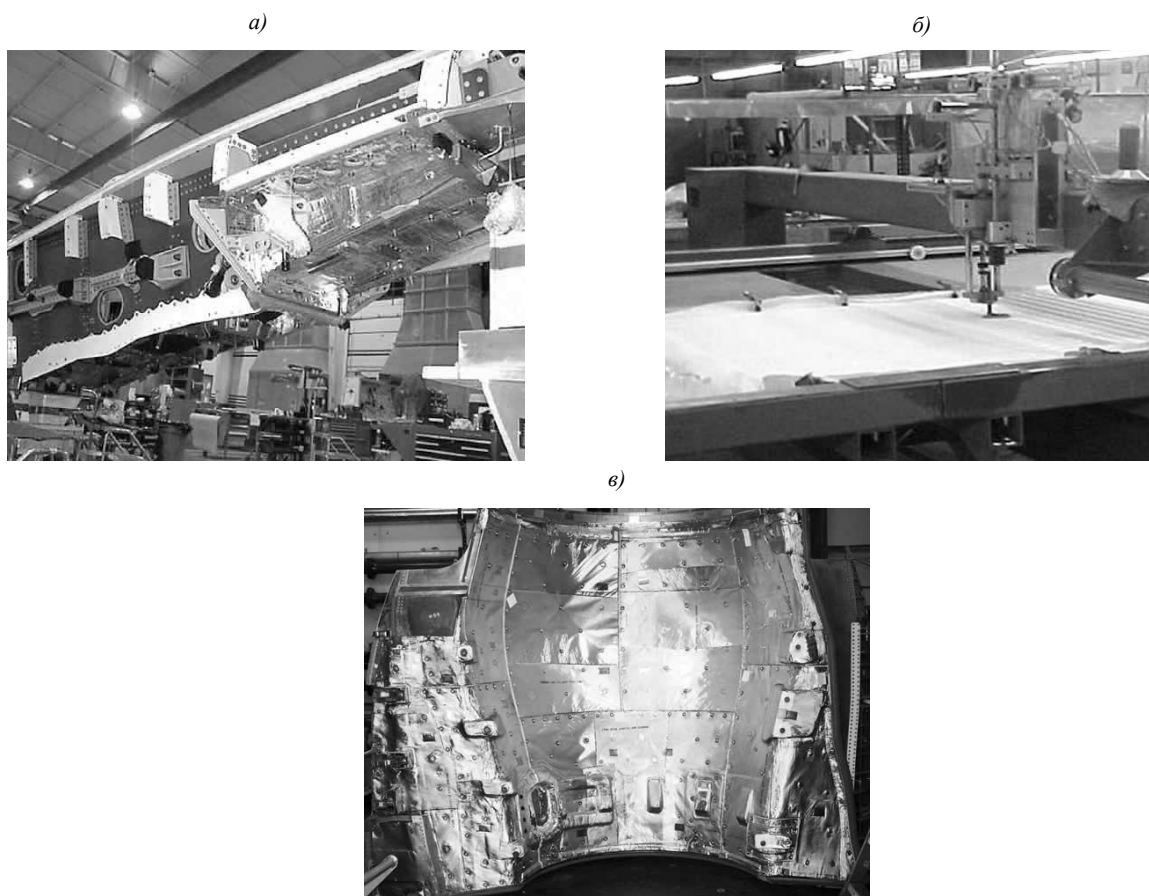


Рисунок 7. Основные этапы производства теплоизоляции компанией Hi-Temp Insulation (США)

Таким образом, подводя итоги изучения литературных данных в области создания пожаростойкой теплозвукоизоляции, можно сделать следующие выводы. В качестве сердцевины теплозвукоизоляции используют волокнистые или вспененные гибкие материалы, рабочая температура которых может быть различной (от 400 до 1200°C) в зависимости от условий эксплуатации. Теплоизоляция имеет влагозащитную оболочку, как правило, из полимерных пленок, а также дополнительные защитные слои материалов, обеспечивающие прочность теплоизоляции и ее пожаробезопасность.

Основными тенденциями развития теплозвукоизоляционных материалов являются: повышение пожаробезопасности используемых материалов при сохранении или минимальном увеличении их массы, повышение рабочей температуры теплоизоляции, снижение ее стоимости, экологическая безопасность.

ЛИТЕРАТУРА

1. Каблов Е.Н. Тенденции и ориентиры инновационного развития России: Сб. научно-информационных материалов. М.: ВИАМ. 2013. 543 с.
2. Доспехи для «Бурана». Материалы и технологии ВИАМ для МКС «Энергия–Буран» /Под общ. ред. Е.Н. Каблова. М.: Фонд «Наука и жизнь». 2013. 128 с.
3. 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.
4. Гращенков Д.В., Чурсова Л.В. Стратегия развития композиционных и функциональных материалов //Авиационные материалы и технологии. 2012. №5. С. 231–242.
5. Барботько С.Л. Пожаробезопасность авиационных материалов //Авиационные материалы и технологии. 2012. №5. С. 431–439.
6. Барботько С.Л., Кириллов В.Н., Шуркова Е.Н. Оценка пожарной безопасности полимерных композиционных материалов авиационного назначения //Авиационные материалы и технологии. 2012. №3. С. 56–63.
7. Гращенков Д.В., Щетанов Б.В., Тинякова Е.В., Щеглова Т.М. О возможности использования кварцевого волокна в качестве связующего при получении легковесного теплозащитного материала на основе волокон Al_2O_3 //Авиационные материалы и технологии. 2011. №4. С. 8–14
8. Авиационные материалы: Справочник в 13-ти томах. Т. 9. Теплозащитные, теплоизоляционные и композиционные материалы, высокотемпературные неметаллические покрытия. М.: ВИАМ. 2011. С. 31.
9. Ивахненко Ю.А., Бабашов В.Г., Зимичев А.М., Тинякова Е.В. Высокотемпературные теплоизоляционные и теплозащитные материалы на основе волокон тугоплавких соединений //Авиационные материалы и технологии. 2012. №5. С. 380–385.
10. Тинякова Е.В., Гращенков Д.В. Теплоизоляционный материал на основе муллито-корундовых и кварцевых волокон //Авиационные материалы и технологии. 2012. №3. С. 43–46.

11. Federal Register. 14 CFR Part 25 – Airworthness standards. Transport category airplanes /Federal Aviation Administration. Certification Specifications for Large Aeroplanes – CS-25 /ED Decision 2003/2/RM Final 17/10/2003 /In: European Aviation Safety Agency. 2003. 473 p.
12. Авиационные правила. Глава 25. Нормы летной годности самолетов транспортной категории /Межгосударственный авиационный комитет. 3-е изд. с поправками 1–6. ОАО Авиаиздат. 2009. 274 с.
13. Coated air duct insulation sheets and the like and the method of coating such sheets: pat. 6399186 US; publ. 04.06.2002.
14. Burn through Resistant Systems for Transportation, Especially Aircraft: pat. 6565040 US; publ. 20.05.2003.
15. Fiberglass Mat, Method and Laminate: pat. 6883575 US; publ. 26.04.2005.
16. Reinforced Insulation Product and System Suitable for Use in an Aircraft: pat. 7278608 US; publ. 09.10.2007.
17. Modularized Insulation, Systems, Apparatus and Methods: pat. 7083147 US; publ. 01.08.2006.
18. Aircraft Insulation Systems and Methods: pat. 2236412 European; publ. 31.03.2010.
19. www.hi-tempinsulation.com.
20. Огнестойкий слоистый звуко-теплоизолирующий материал: пат. 2465145 Рос. Федерация; опубл. 27.10.2012. Бюл. №30. С. 7.
21. Каблов Е.Н. Химия в авиационном материаловедении //Российский химический журнал. 2010. Т. LIV. №1. С. 3–4.
22. Полимерная теплоотражающая композиция для покрытия: пат. 2467042 Рос. Федерация; опубл. 07.06.2011.

REFERENCES LIST

1. Kablov E.N. Tendencii i orientiry innovacionnogo razvitija Rossii [Trends and benchmarking innovation development in Russia]: Sb. nauchno-informacionnyh materialov. M.: VIAM. 2013. 543 s.
2. Dosphehi dlja «Burana». Materialy i tehnologii VIAM dlja MKS «Jenergija–Buran» [Armor for the «Buran». Materials and technologies for VIAM ISS «Energia-Buran»] /Pod obshh. red. E.N. Kablova. M.: Fond «Nauka i zhizn'». 2013. 128 s.
3. Kablov E.N. Strategicheskie napravlenija razvitija materialov i tehnologij ih pererabotki na period do 2030 goda [Strategic directions of development of materials and technolo-

- gies to process them for the period up to 2030] //Aviacionnye materialy i tehnologii. 2012. №S. S. 7–17.
4. Grashhenkov D.V., Chursova L.V. Strategija razvitija kompozicionnyh i funkcional'nyh materialov [Development Strategy composite and functional materials] //Aviacionnye materialy i tehnologii. 2012. №S. S. 231–242.
 5. Barbot'ko S.L. Pozharobezopasnost' aviacionnyh materialov [Fire safety of aircraft materials] //Aviacionnye materialy i tehnologii. 2012. №S. S. 431–439.
 6. Barbot'ko S.L., Kirillov V.N., Shurkova E.N. Ocenka pozharnoj bezopasnosti polimernykh kompozicionnyh materialov aviacionnogo naznachenija [Evaluation of fire safety of polymeric composite materials aviation applications] //Aviacionnye materialy i tehnologii. 2012. №3. S. 56–63.
 7. Grashhenkov D.V., Shhetanov B.V., Tinjakova E.V., Shheglova T.M. O vozmozhnosti ispol'zovanija kvarcevogo volokna v kachestve svjazujushhego pri poluchenii legkovesnogo teplozashhitnogo materiala na osnove volokon Al_2O_3 [The possibility of using a silica fiber as a binder in the preparation of a lightweight heat-fiber-based material Al_2O_3] //Aviacionnye materialy i tehnologii. 2011. №4. S. 8–14.
 8. Aviacionnye materialy [Aircraft materials]: Spravochnik v 13-ti tomah. T. 9. Teplozashhitnye, teploizoljacionnye i kompozicionnye materialy, vysokotemperaturnye nemetallicheskie pokrytija [Heat protection, thermal insulation and composite materials, high-temperature non-metallic coatings]. M.: VIAM. 2011. S. 31.
 9. Ivahnenko Ju.A., Babashov V.G., Zimichev A.M., Tinjakova E.V. Vysokotemperaturnye teploizoljacionnye i teplozashhitnye materialy na osnove volokon tugoplavkih soedinenij [High-temperature and heat-insulating materials based on fibers of refractory compounds] //Aviacionnye materialy i tehnologii. 2012. №S. S. 380–385.
 10. Tinjakova E.V., Grashhenkov D.V. Teploizoljacionnyj material na osnove mullitokorundovykh i kvarcevykh volokon [Thermal insulation material on the basis of mullite-corundum and quartz fibers] //Aviacionnye materialy i tehnologii. 2012. №3. S. 43–46.
 11. Federal Register. 14 CFR Part 25 – Airworthiness standards. Transport category airplanes /Federal Aviation Administration. Certification Specifications for Large Aeroplanes – CS-25 /ED Decision 2003/2/RM Final 17/10/2003 /In: European Aviation Safety Agency. 2003. 473 p.
 12. Aviacionnye pravila. Glava 25. Normy letnoj godnosti samoletov transportnoj kategorii [Aviation Regulations. Chapter 25. Airworthiness standards transport category

airplanes] /Mezhgosudarstvennyj aviacionnyj komitet. 3-e izd. s popravkami 1–6. OAO Aviaizdat. 2009. 274 s.

13. Coated air duct insulation sheets and the like and the method of coating such sheets: pat. 6399186 US; publ. 04.06.2002.
14. Burn through Resistant Systems for Transportation, Especially Aircraft: pat. 6565040 US; publ. 20.05.2003.
15. Fiberglass Mat, Method and Laminate: pat. 6883575 US; publ. 26.04.2005.
16. Reinforced Insulation Product and System Suitable for Use in an Aircraft: pat. 7278608 US; publ. 09.10.2007.
17. Modularized Insulation, Systems, Apparatus and Methods: pat. 7083147 US; publ. 01.08.2006.
18. Aircraft Insulation Systems and Methods: pat. 2236412 European; publ. 31.03.2010.
19. www.hi-tempinsulation.com.
20. Ognestojkij sloistyj zvukoteploizolirujushhij material [Fireproof material layered zvukoteploizoliruyuschy]: pat. 2465145 Ros. Federacija; opubl. 27.10.2012. Bjul. №30. S. 7.
21. Kablov E.N. Himija v aviacionnom materialovedenii [Chemistry aviation materials] //Rossijskij himicheskij zhurnal. 2010. T. LIV. №1. S. 3–4.
22. Polimernaja teplootrazhajushhaja kompozicija dlja pokrytija [Polymer heat-reflecting coating composition]: pat. 2467042 Ros. Federacija; opubl. 07.06.2011.