

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ УНИТАРНОЕ ПРЕДПРИЯТИЕ
ВСЕРОССИЙСКИЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ИНСТИТУТ АВИАЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ НАУЧНЫЙ ЦЕНТР РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ



КОНСТРУКЦИОННЫЕ КОМПОЗИЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ







АЛЕКСЕЙ ТИХОНОВИЧ ТУМАНОВ
Член-корреспондент АН СССР, профессор.
Научное направление «Композиционные и
функциональные материалы»



ЯКОВ ДАВИДОВИЧ АВРАСИН
Доктор технических наук, профессор.
Научное направление «Конструкционные
композиционные материалы»

С момента основания ВИАМ одной из основных задач института являлось повышение удельных характеристик авиационных материалов. Именно с появлением и развитием конструкционных композиционных материалов удалось достичь наивысших показателей по удельным значениям прочности и модуля упругости.

Первым композиционным материалом, разработанным в 1940 году специалистами ВИАМ под руководством А.Т. Туманова и Я.Д. Аврасина, была дельта-древесина. Материал, состоящий из слоев шпона карельской березы, пропитанных фенолформальдегидным клеем, по удельной прочности $\sigma/\gamma=20$ км (усл. ед.) превосходил лучшую сталь предвоенных лет — 30ХГСА (хромансиль).

Негорючий и высокопрочный материал стал одним из основных для изготовления истребителей времен Великой Отечественной войны.

Появление в начале 50-х годов отечественных армирующих наполнителей на основе стеклянных волокон привело к бурному развитию первых полимерных композиционных материалов (ПКМ) — стеклопластиков. На базе лаборатории неметаллических материалов в 1959 году была создана лаборатория «Полимерные связующие», а в 1965 году выделена лаборатория «Стеклопластики». Рекордные значения удельной прочности были достигнуты на однонаправленных стеклопластиках и составили 95 км (усл. ед.). Эти материалы нашли применение, в первую очередь, для обтекателей радаров,



Радиопрозрачные обтекатели

корпусов РДТТ и слабонагруженных авиационных конструкций.

Удельная прочность композиционных материалов по мере их развития возрастала с 20 до 150 км (усл. ед.), однако удельный модуль упругости оставался практически неизменным. Только в конце 60-х — начале 70-х годов с появлением первых углеродных, борных волокон и керамических нитевидных кристаллов стало возможным значительное увеличение значений удельного модуля упругости E авиационных материалов.

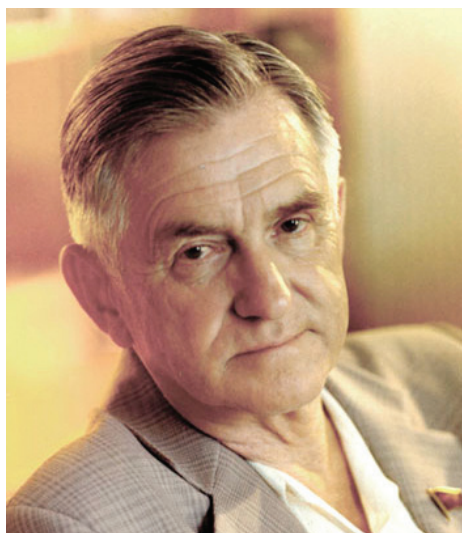
В 1967 году начальник ВИАМ А.Т. Туманов обратился в Министерство авиационной промышленности, Военно-промышленную комиссию, Госплан, Совет Министров СССР и оборонный отдел ЦК КПСС, заявив о необходимости организации в стране полноценной промышленности композиционных материалов. Решением ВПК от декабря 1968 года и Постановлением Совмина СССР от июня 1970 года к решению проблемы было привлечено более 50 орга-

низаций. Ведущей научной организацией был определен ВИАМ, на базе которого организована головная в отрасли лаборатория «Полимерные композиционные материалы». При президиуме Академии наук СССР был создан Научный совет по термостойким синтетическим и полимерным композиционным материалам, в состав которого входили ведущие специалисты ВИАМ. В составе Научного совета АН СССР по композиционным материалам, руководимого С.Т. Кишкиным, была образована секция «Композиционные материалы», которую возглавил А.Т. Туманов.

В 1971 году в ВИАМ были созданы первые высокомодульные ПКМ: боропластик КМБ-1 с отношением $E/\gamma=14000$ км (усл. ед.) и углепластик КМУ-1 с $E/\gamma=9000$ км (усл. ед.). Первые однонаправленные углепластики обладали удельной прочностью 60 км (усл. ед.), которая с появлением новых волокон была увеличена



Арамидные армирующие наполнители



Генеральный конструктор О.К. Антонов

до 150 км (усл. ед.), а модуль упругости — до 12000 км (усл. ед.).

Наиболее активно новые полимерные композиционные материалы начал внедрять в свои изделия Генеральный конструктор О.К. Антонов. Впоследствии этот класс конструкционных материалов прочно занял свое место в изделиях авиационной техники.

В этот же период начаты работы по созданию высокопрочных арамидных органопластиков, а в 1984 году была создана лаборатория «Органоволокниты». Органопластики — рекордсмены среди ПКМ по удельной прочности: на однонаправленных органопластиках σ/γ достигает 180 км (усл. ед.).

Необходимость создания принципиально нового класса материалов с высокими температурами эксплуатации в совокупности с высокими удельными прочностными ха-

рактеристиками, а также появление армирующих волокон на основе бора с покрытием из карбида бора, устойчивого к окислению углеродного борированного волокна «Кулон», нитевидных кристаллов карбида кремния и др. типов тугоплавких наполнителей определило бурное развитие во второй половине 70-х годов металлических и керамических композиционных материалов. В 1972 году основана лаборатория «Силикатные эмалевые покрытия», преобразованная впоследствии в лабораторию «Технологические покрытия и керамоподобные материалы», а в 1976 году организована лаборатория металлических композиционных материалов. За это время были разработаны композиционные материалы на основе алюминиевых, магниевых сплавов, сплавов на основе железа и никеля, тугоплавких керамических и стеклокристаллических соединений с рабочими температурами до 1650°C.

Результатом научно-производственной деятельности коллектива института по направлению конструкционные композиционные материалы является разработка более 300 марок материалов, которые в сотрудничестве с конструкторскими бюро авиационной отрасли, институтами РАН, ЦАГИ, ЦИАМ, НИАТ, ОНПП «Технология» и др. предприятиями внедрены в конструкциях



Развертывающаяся в космосе антенна
радиотелескопа

самолетов: Ан-70, Ан-124, Ан-225, МиГ-29; Су-27 и их модификаций, Бе-200, Ил-96-300, Ту-204, Ту-160, Су-26, Су-31М, Су-47, Т-50, SSJ-100 и др.; вертолетов: Ка-26, Ка-50, Ка-52, Ка-60, Ми-26, Ми-28, Ми-38 и др.; газотурбинных двигателей: Д-36, Д-18, ПС-90, ПС-90А2 и др. Значительную роль материалы ВИАМ сыграли при реализации космических проектов, направленных на создание искусственных спутников Земли «Молния», «Алмаз»; космических станций «Мир», «Альфа», в том числе меж-



Космическая станция «Мир»

планетных «Венера», «Комета Галлея», «Луна»; ракетносителя «Протон»; многоразового космического корабля «Буран».

Специалисты ВИАМ совместно с коллегами из ГНИИХТЭОС, ВНИИПВ, Редкинского опытного завода принимали активное участие в разработке и организации производства новых химических продуктов, олигомеров, полимерных связующих, борных, арамидных и углеродных волокон, нитевидных кристаллов SiC, AlN и др. Совместно



Авиационный двигатель ПС-90А

с НИАТ, Гипронеавиапромом и промышленными предприятиями ВИАМ принимал участие в проектировании, технологическом оснащении, пусконаладочных работах, обучении персонала при организации цехов по изготовлению конструкций из композиционных материалов нового поколения.

Особо следует отметить роль института в проектировании, строительстве, оснащении оборудованием и становлении ОНПП «Технология» (г. Обнинск, Калужская обл.), являвшимся до 1978 года научно-производственным филиалом ВИАМ, а в настоящее время представляющим одно из ведущих предприятий в области производства изделий из полимерных и керамических композиционных материалов в составе холдинга ОАО «РТ-Химкомпозит» Государственной корпорации «Ростехнологии».

Разработки конструкционных композиционных материалов, про-

водимые в ВИАМ, опираются на развитие и последние достижения фундаментальной науки в области физики и механики анизотропных сред, физики, химической физики полимеров, термодинамики гетерогенных систем, нанотехнологии, лазерной техники и других. Это открывает широчайшие возможности для дальнейшего совершенствования существующих материалов, расширения их функциональных возможностей и создания принципиально новых композитов и технологий.

ФГУП «ВИАМ» проводит исследования в соответствии со «Стратегическими направлениями развития материалов и технологий их переработки на период до 2030 года», которые разработаны с учетом приоритетных направлений и критических технологий развития науки, технологии и техники Российской Федерации; приоритетов государственной политики в промышленной



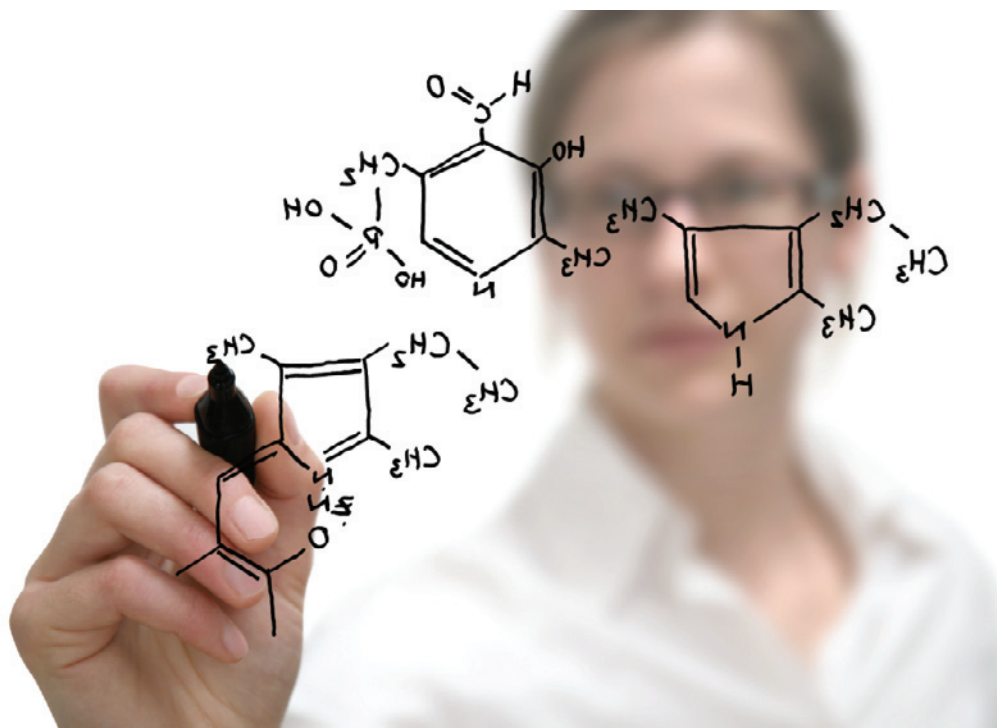
ОНПП «Технология»

сфере; стратегий развития государственных корпораций, интегрированных структур и систематизированы исходя из анализа тенденций развития материалов в мире по 18 направлениям, 12 из которых направлены на разработку комплекса научно-технических решений для создания нового поколения конструкционных композиционных материалов:

- «Умные» конструкции.
- Фундаментально-ориентированные исследования, квалификация материалов, неразрушающий контроль.
- Компьютерные методы моделирования структуры и свойств материалов при их создании и работе в конструкции.
- Интеллектуальные, адаптивные материалы и покрытия.
- Слоистые металлополимерные, биметаллические и гибридные материалы.
- Энергоэффективные, ресурсосберегающие и аддитивные технологии получения деталей, полуфабрикатов и конструкций.
- Металломатричные и полиматричные композиционные материалы.
- Полимерные композиционные материалы.
- Высокотемпературные керамические и керамоподобные материалы.

- Наноструктурированные, аморфные материалы и покрытия.
- Сверхлегкие пеноматериалы.
- Комплексная антикоррозионная защита, упрочняющие, износостойкие защитные и теплозащитные покрытия.

«Стратегические направления развития материалов и технологий их переработки на период до 2030 года» одобрены на совещании с участием федеральных органов исполнительной власти, государственных корпораций, интегрированных структур, институтов РАН, государственных научных центров и промышленных предприятий, а также на заседании научно-технического совета Военнопромышленной комиссии при правительстве Российской Федерации (Протокол №ВПК (НТС)-27пр от 02.12.2011 г.). Реализация основных научно-технологических решений и инновационных идей в соответствии со стратегическими направлениями развития материалов и технологий позволит развернуть исследовательские работы в рамках 19 комплексных проблем, направленных на создание нового поколения конструкционных композиционных материалов.



СВЯЗУЮЩИЕ

В соответствии со «Стратегическими направлениями развития материалов и технологий их переработки на период до 2030 года» по направлению № 2 «Фундаментально-ориентированные исследования, квалификация материалов, неразрушающий контроль» реализуется комплексная проблема 2.1 «Фундаментально-ориентированные исследования» и по направлению № 13 «Полимерные композиционные материалы» реализуется комплексная проблема 13.1 «Связующие для полимерных и композиционных материалов конструкционного и специального назначения».

ЭПОКСИДНЫЕ СВЯЗУЮЩИЕ, РАЗРАБОТАННЫЕ ВО ФГУП «ВИАМ» И ШИРОКО ПРИМЕНЯЕМЫЕ В ИЗДЕЛИЯХ АВИАЦИОННОЙ ТЕХНИКИ

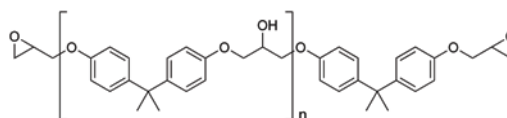
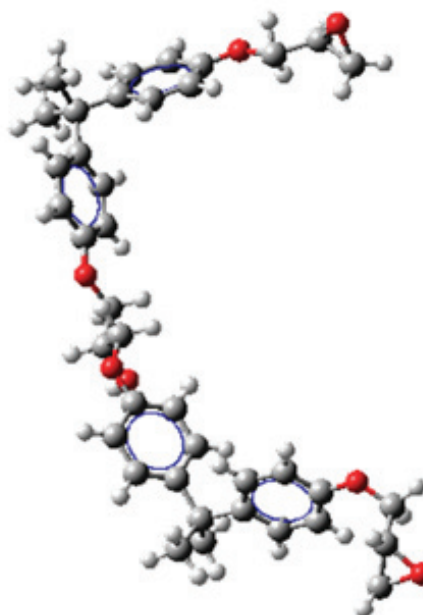
ЭДТ-10, ЭДТ-10П, 5-211Б, ЭДТ-69Н, ВС-2526, ВС-2526К, ЭНФБ, УП-2227, УП-2227Н, ЭНФБ-2М — эпоксидные связующие, широко используемые в материалах авиационной и ракетно-космической техники. На их основе разработаны стекло-, угле-, органопластики, гибридные материалы, микросферостеклотекстолиты. ФГУП «ВИАМ» производит поставки связующих по заявкам предприятий.



Лабораторный реактор для синтеза связующих

ЭПОКСИДНЫЕ СВЯЗУЮЩИЕ ДЛЯ КОНСТРУКЦИОННЫХ ПКМ

ВСТ-1211, ВСЭ-1212, ВСП-3М, ВСЭ-22 — эпоксидные связующие для препрегов и получения ПКМ автоклавным и вакуумным формованием. Отличительной особенностью связующих является высокая деформативность, прочность при изгибе — до 155 МПа, контролируемая текучесть, оптимизированная липкость. Температура стеклования связующих — от 160 до 190°C. Связующие могут быть использованы для изготовления изделий всех категорий — от слабонагруженных деталей до особо ответственных конструкций. Поставки материалов осуществляются в виде препрегов.



ЭПОКСИДНЫЕ СВЯЗУЮЩИЕ ДЛЯ БЕЗАВТОКЛАВНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

ВСЭ-21, ВСЭ-17 — эпоксидные связующие, позволяющие получать композиционные материалы без применения автоклавного или прессового оборудования. Возможна пропитка прошитых пакетов наполнителя и наполнителей в виде плетеных преформ. Связующие подходят для технологий инфузии и пропитки под давлением (RTM). Температура стеклования отвержденных матриц: 170 и 205°C.

ВСЭ-20, ВСЭ-19 — эпоксидные связующие для технологии пропитки в вязкотекучем состоянии (RFI). Связующие представляют собой пленку, скатанную в рулоны, на подложке. Подложкой

может служить силиконизированная бумага или полимерная пленка. Возможно изготовление пленки связующего, нанесенной на наполнитель — ткань или ленту (углеродная, стеклянная, органическая). Температура стеклования связующих: 170 и 225°C.

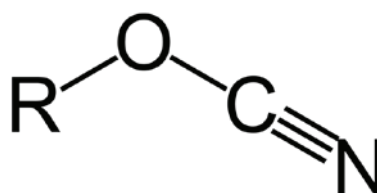
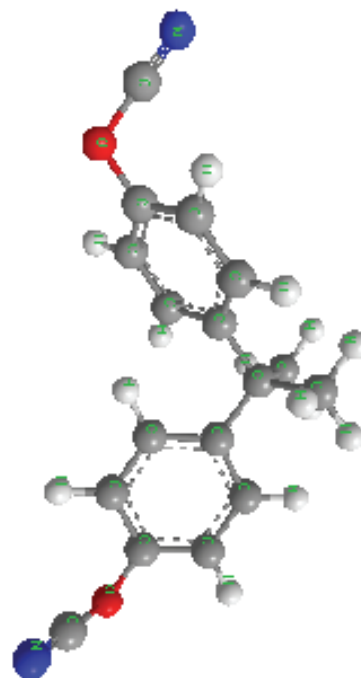
ЭПОКСИДНОЕ СВЯЗУЮЩЕЕ ДЛЯ ПКМ, ПРИМЕНЯЕМЫХ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ

ВСЭ-25 — двухкомпонентное эпоксидное связующее холодного отверждения для изготовления способом контактного формования ПКМ, применяемых в строительстве при создании конструкций поддерживающих элементов при возведении объектов инфраструктуры типа арочных мостов и других изделий из армированных пластиков, а также для восстановления и усиления уже существующих строительных конструкций. Температура стеклования отвержденной матрицы — не менее 70°C.

ЦИАНЭФИРНЫЕ И ИЗОЦИАНУРАТНЫЕ СВЯЗУЮЩИЕ

ВСТ-1208, ВСЦ-14, ВСТ-1210 — связующие на основе циановых эфиров. Помимо высокой теплоустойчивости обладают низким влагопоглощением в отвержденном состоянии и прочностью на уровне

эпоксидных материалов. Ряд разработанных связующих позволяет получать композиционные материалы как по традиционным автоклавным технологиям (препреги), так и по технологии пропитки под давлением. Использование RTM технологии позволяет получать ПКМ на основе прошитых или тканых преформ. Температура стеклования отвержденных матриц — от 220 до 250°C. Связующие могут применяться в размеростабильных конструкциях космических аппаратов и конструкционных деталях с повышенными температурами эксплуатации.



ВСИ-23 — полиизоциануратное связующее, отличительной особенностью которого является возможность получать на его основе композиционные материалы с температурой эксплуатации — до 220°C (температура стеклования отвержденной матрицы: 250°C). Связующее может перерабатываться способом пропитки под давлением.

ФЕНОЛЬНЫЕ СВЯЗУЮЩИЕ

ФП-520, ФПР-520, БФОС, ФН, РСФ-250 — фенольные связующие, основное применение — в материалах для изготовления конструкций интерьера, полимерсотовпластов и теплозащитных покрытий. Разработанные во ФГУП «ВИАМ» связующие являются основным компонентом всех материалов, применяемых для изделий интерьера на российских самолетах.

РС-Н, ВСФ-16М — связующие для препрегов с возможностью получения стеклотекстолитов, трехслойных сотовых панелей мето-

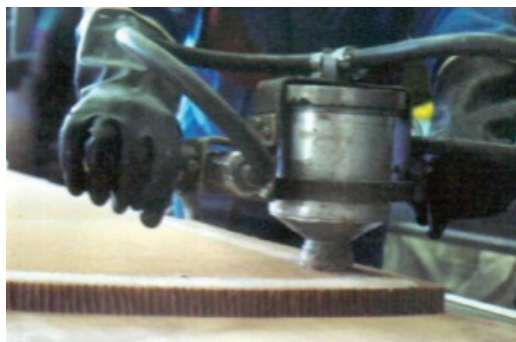


Трехслойная сотовая панель на основе связующего РС-Н с заделкой торцов полимерным наполнителем-сферопластом ВПЗ-16

дом вакуумного формования или по «crush core» технологии. Связующие не содержат антипиренов, при этом материалы на их основе удовлетворяют всем требованиям АП-25 (FAR 25) — тепловыделение 25–35 кВт/м². Связующее РС-Н может быть использовано для изготовления сотовых наполнителей. Материалы поставляются в виде препрегов, полимерных наполнителей-сферопластиков, связующих или готовых изделий. Препреги обладают жизнеспособностью не менее 6 месяцев при комнатной температуре.



Элемент интерьера из трехслойной сотовой панели (оконная панель изделия Ту-204)



Заполнение сотовой панели полимерным наполнителем-сферопластом с помощью пневматического устройства

КРЕМНИЙОРГАНИЧЕСКИЕ СМОЛЫ И СВЯЗУЮЩИЕ

К-101, К-101-СО, лак КО-554, К-9, К-9А, К9-А1, К-9ФА, К-9Э, К-9Х, К-9ХК, К-9ДФ, К-10, К-10с, К-2105 — смолы и связующие на основе кремнийорганических полимеров для стеклопластиков радиотехнического назначения, деталей электрооборудования, приборов, работающих до 200°C, материалов конструкционного назначения с рабочей температурой до 350°C (длительно) и до 800°C (кратковременно), изделий конструкционно-радиотехнического назначения.

К-9-70, К-9-70с — кремнийорганические связующие для получения теплостойких деталей пропиткой под давлением. Материалы на основе этих связующих могут длительно работать при темпе-



Синтез кремнийорганического связующего

ратурах — до 300°C и кратковременно — до 900°C.

НЕОРГАНИЧЕСКОЕ СВЯЗУЮЩЕЕ

САФС — алюмофосфатное связующее для изделий и узлов конструкционно-радиотехнического, теплоизоляционного и электроизоляционного назначения, работающих при 600–800°C в условиях полного прогрева, при температурах более 800°C — в условиях одностороннего нагрева. Изделия получают способом прямого прессования в условиях ступенчатого подъема температуры до 400°C.

ПОЛИМЕРНОЕ КЕРАМООБРАЗУЮЩЕЕ СВЯЗУЮЩЕЕ

ПКСЗ-21 — поликарбосилановое керамообразующее связующее для керамоматричных композиционных материалов. Керамические материалы на основе связующего работоспособны до 1200°C. Предназначено для изготовления композиционных материалов на основе тугоплавких армирующих наполнителей.

МЕТОДЫ АНАЛИЗА

Разработка связующих тесно связана с исследованиями свойств связующих и материалов



Газовый хроматограф с масс-спектрометрическим детектором

на их основе. Для этих целей во ФГУП «ВИАМ» применяются:

- электронная микроскопия;
- хроматография жидкостная и газовая;
- титриметрия;
- реологические исследования;
- термоанализ (ДСК, ДМА, СТА, ТГА, ТМА);
- спектроскопия (ИК, в видимом и УФ диапазонах, рентгеновский микроанализ);
- механические испытания (растяжение, сжатие, изгиб, ударные воздействия);
- климатические испытания (искусственное старение в климатических камерах, натурные испытания на климатических площадках). Разработаны атласы типовых разрушений ПКМ после различных видов испытаний, в том числе после климатических воздействий и воздействий факторов космического пространства.



Реометр AR-2000EX

УГЛЕПЛАСТИКИ

В соответствии со «Стратегическими направлениями развития материалов и технологий их переработки на период до 2030 года» по направлению № 13 «Полимерные композиционные материалы» реализуется комплексная проблема 13.2 «Конструкционные ПКМ» и по направлению № 15 «Наноструктурированные, аморфные материалы и покрытия» реализуется комплексная проблема 15.3 «Материалы и покрытия для защиты от ЭМИ, ударных, вибрационных акустических и электрических воздействий».

Конструкционные углепластики обеспечивают:

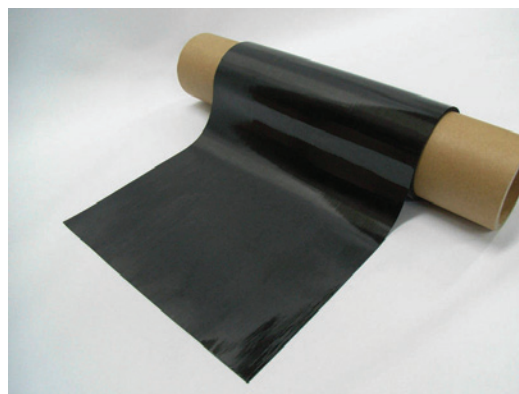
- высокие упруго-прочностные характеристики при низкой плотности (1,55–1,58 г/см³);
- регулируемую степень анизотропии упруго-прочностных характеристик;
- высокую стойкость к усталостным и динамическим нагрузкам;
- стойкость к агрессивным средам;
- малые значения температурного коэффициента линейного расширения (ТКЛР) вдоль волокон.

УГЛЕПЛАСТИКИ НА ОСНОВЕ ЭПОКСИДНЫХ СВЯЗУЮЩИХ

КМУ-4э/0,1-2м, КМУ-4т-2м, КМУ-7т, КМУ-4-2М-3673, КМУ-4-2М-3606, КМУ-7-3606, КМУ-11-М-3606 — углепластики на основе эпоксидных связующих ЭНФБ-2М, ВС-2526к, ЭДТ-69(Н)М и однонаправленных и условно однонаправленных углеродных наполнителей: Элур-П, УОЛ-300 (российские) и ткани фирмы «Porher Ind.» арт. 3673, 3606 (импортные):

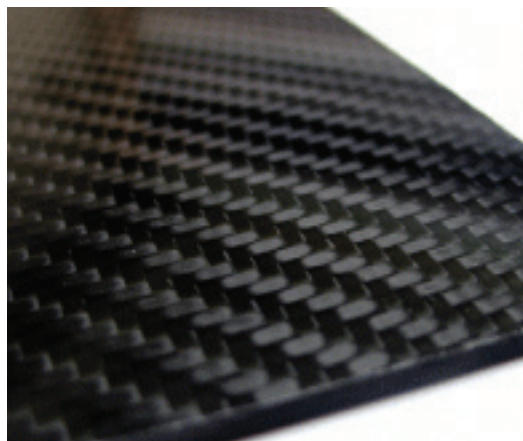
- прочность при растяжении от 900 до 1800 МПа;
- прочность при сжатии от 900 до 1100 МПа;
- модуль упругости при растяжении 110–140 ГПа;
- толщина монослоя 0,11–0,22 мм (в зависимости от марки применяемого углеродного наполнителя).

КМУ-4-2М-3692, КМУ-7тр, КМУ-7-3692, КМУ-11тр, КМУ-11-М-3692, ВКУ-22, ВКУ-24 — углепластики на основе эпоксидных связующих ЭНФБ-2М,



ВС-2526к, ЭДТ-69(Н)М и равнопрочного тканого наполнителя УТ-900 (русский), равнопрочной ткани фирмы «Porher Ind.» и др. (импортные):

- прочность при растяжении от 500 до 1000 МПа;
- прочность при сжатии от 400 до 800 МПа;
- модуль упругости при растяжении 50–80 ГПа;
- толщина монослоя 0,16 – 0,44 мм (в зависимости от марки применяемого углеродного наполнителя).



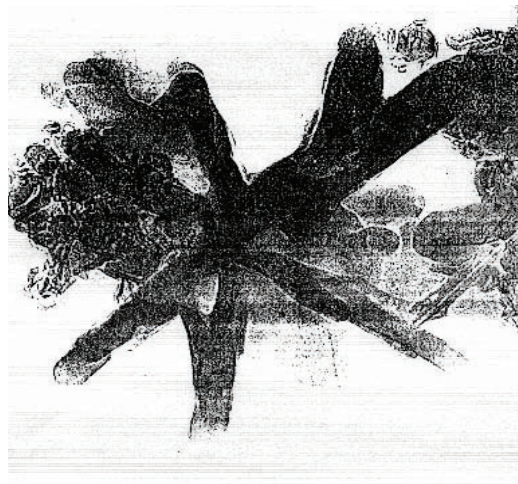
ВКУ-25, ВКУ-26, ВКУ-23 – углепластики на основе новых высокодеформативных эпоксидных связующих ВСТ-1211(В), ВСЭ-1212, однонаправленных и равнопрочных армирующих наполнителей «Torayca» Т-700, «Toho Tenax» HTS40(45) (импортные) на рабочие температуры от -60 до +(80–120)°С. Препреги материалов изготавливают по расплавной технологии, что позволя-

ет получать калиброванные по напору связующего препреги:

- прочность при растяжении от 900 до 2300 МПа;
- прочность при сжатии от 900 до 1500 МПа;
- модуль упругости при растяжении 110–160 ГПа;
- толщина монослоя 0,11–0,22 мм.



ВКУ-18 – углепластик на основе эпоксидного связующего ЭНФБ-2М, модифицированный наночастицами (астраленами), рекомендован для применения на рабочие температуры до 170°С с повышенными значениями температурной стойкости и в качестве молниезащитного покрытия, находящегося на поверхности и



Астралены размер частиц
80-150 нм

входящего в структуру углепластика. Материал сохраняет до 95% исходных значений характеристик при длительном воздействии температуры 120°C.

УГЛЕПЛАСТИК НА ОСНОВЕ ЦИАНЭФИРНОГО СВЯЗУЮЩЕГО

ВКУ-27лр — углепластик на основе нового цианэфирного связующего ВСТ-1208 и однонаправленного армирующего наполнителя «Torayusa» Т-700 (импортный) с температурой стеклования 250°C, на рабочую температуру 170°C. Препреги углепластика получают как по растворной, так и по расплавной технологиям. Обладает высокими прочностными характеристиками: прочность при растяжении 2390 МПа, прочность при сжатии 1175 МПа.

УГЛЕПЛАСТИКИ НА ОСНОВЕ ВЯЗКОТЕКУЧИХ СВЯЗУЮЩИХ

КМКУ-2м.120.Э0,1, ВКУ-17КЭ0,1, ВКУ-17КУОЛ, КМКУ-2м.120.Р4510, КМКУ-2м.120.Р2009 — углепластики на основе вязкотекучих связующих с клеевой рецептурой ВСК-14-2М, ВСК-14-3 и армирующих наполнителей отечественного производства УОЛ-300, УТ-900 и иностранного производства фирмы «Porcher Ind.». Предназначены для изготовления элементов внешнего контура планера, а так-



Фронтовой истребитель Т-50

же для изготовления за одну технологическую операцию сотовых конструкций одинарной и сложной кривизны. Рабочие температуры разработанных материалов варьируются от -130 до +150°C. Препреги типа КМК имеют длительный срок хранения (от 3 до 12 месяцев) и поставляются в виде рулонов.

ТЕРМОСТОЙКИЕ УГЛЕПЛАСТИКИ

ВКУ-21 — углепластик на основе полиимидного связующего СП-97к, предназначен на рабочие температуры до 300°C для слабонагруженных элементов конструкций, работающих при повышенных температурах.

ВКУ-14 — высокотемпературный углепластик на рабочие температуры — до 400°C на основе гетероциклического связующего ИП-5.

СТЕКЛОПЛАСТИКИ

В соответствии со «Стратегическими направлениями развития материалов и технологий их переработки на период до 2030 года» по направлению № 13 «Полимерные композиционные материалы» реализуется комплексная проблема 13.2 «Конструкционные ПКМ» и по направлению № 15 «Наноструктурированные, аморфные материалы и покрытия» реализуется комплексная проблема 15.3 «Материалы и покрытия для защиты от ЭМИ, ударных, вибрационных акустических и электрических воздействий».

Стеклопластики конструкционного и радиотехнического назначения обеспечивают:

- высокие радиотехнические характеристики за счет снижения диэлектрической проницаемости и тангенса угла диэлектрических потерь и их стабильности при длительном воздействии повышенных температур и влажности, работоспособность изделий в широкой полосе радиочастот;
- снижение массы конструкции и трудоемкости изготовления в 1,5–2 раза по сравнению с металлическими;
- кратковременную эксплуатацию до рабочих температур +1200°С при одностороннем нагреве;

- высокую пожаробезопасность конструкций;
- плотность 1,5–2 г/см³.

ВЫСОКОПРОЧНЫЕ СТЕКЛОПЛАСТИКИ

СТ-69Н(М), ВПС-30, ВПС-33, ВПС-34 — стеклопластики на основе эпоксидных связующих и высокопрочных стеклотканей Т-10-14(80), Т-10(ВМП)-14, Т-15, Т-25(ВМ)-73, Т-45(П)-76.

Свойства высокопрочных стеклопластиков:

- прочность при растяжении 220–2000 МПа и прочность при сжатии 340–1000 МПа зависят от типа применяемого стекловолоконного армирующего наполнителя;
- прочность при изгибе 335–1000 МПа.

ВПС-40 — стеклопластик на основе многослойных заготовок из высокопрочной стеклоткани, трансверсально прошитой нитями СВМ, и цианэфирного связующего



Кожух задней подвески реверса звукопоглощающей конструкции двигателя

расплавного типа. Рекомендуется для изготовления самолетных, вертолетных деталей конструкционного радиотехнического назначения (крыло, обшивки, панели и силовые элементы фюзеляжа, створки, люки и др.), обеспечивает высокие значения межслойной прочности при сдвиге и трансверсальном отрыве.

ТЕРМОСТОЙКИЕ СТЕКЛОПЛАСТИКИ

СТП-97с, СТП-97К, СТМ-Ф — высокопрочные, негорючие полиимидные стеклопластики конструкционного и радиотехнического назначения с рабочей температурой — до 350°C. Применяются в мотогондолах двигателей, для изготовления панелей капотов, различных кожухов, защитных экранов самолетов, деталей планеров летательных аппаратов, находящихся в зоне воздействия газового потока от двигателя. Обеспечивают сохранение высоких прочностных характеристик при длительном воздействии по-

вышенных температур и высокую пожаробезопасность конструкций.

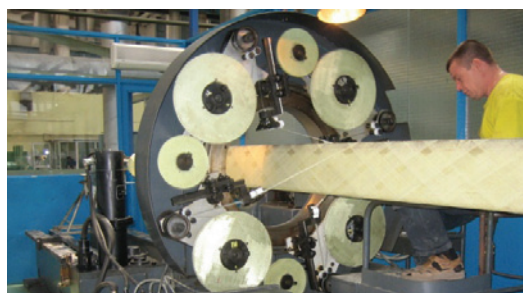
РАДИОПРОЗРАЧНЫЕ СТЕКЛОПЛАСТИКИ

СК-9-70 — стеклопластик с диапазоном значений диэлектрической проницаемости $\epsilon=1,9-4,5$ и тангенсом угла диэлектрических потерь $\operatorname{tg}\delta=0,003-0,02$ для антенных обтекателей самолетов и ракет. Стеклопластик сохраняет стабильность диэлектрических характеристик при воздействии влажности ($\varphi=98\%$) в течение всего срока хранения и эксплуатации, при температуре 900°C — кратковременно.

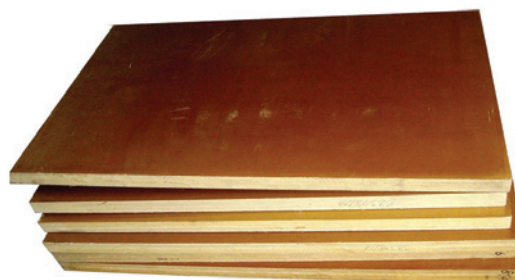
Свойства стеклотекстолита СК-9-70

- прочность при растяжении — 350 МПа;
- прочность при сжатии — 127 МПа;
- прочность при изгибе — 275 МПа;
- модуль упругости при растяжении — 2,7 ГПа;
- коэффициент теплопроводности — 38 Вт/мК.

СТАФ, АФК — слоистые листовые материалы, изготавливаемые



Намотка стеклопластикового лонжерона



Стеклотекстолит

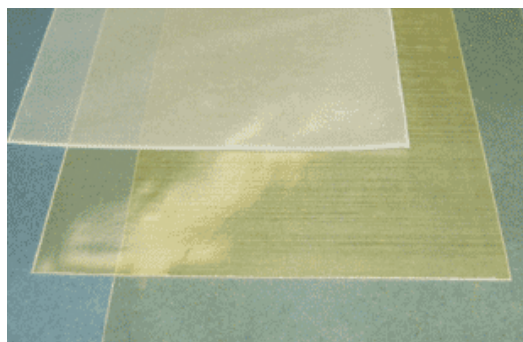
методом горячего прессования стеклотканей, пропитанных алюмофосфатным связующим. Применяются для изготовления деталей конструкционно-теплоизоляционного, электроизоляционного и радиотехнического назначения с рабочей температурой до 1200°C.

Свойства стеклопластика СТАФ:

- прочность при растяжении — 30 МПа;
- прочность при сжатии — 74 МПа;
- прочность при изгибе — 80 МПа;
- максимальная рабочая температура — 800°C;
- диэлектрическая проницаемость — 3,4;
- тангенс угла диэлектрических потерь — 0,015.

Свойства стеклопластика АФК:

- прочность при растяжении — 62 МПа;
- прочность при сжатии — 75 МПа;
- прочность при изгибе — 84 МПа;
- максимальная рабочая температура — 1000°C;
- диэлектрическая проницаемость — 3,53;



Препрег стеклопластика

- тангенс угла диэлектрических потерь — 0,008.

МИКРОСФЕРОСТЕКЛОТЕКСТОЛИТЫ

МСТ-2, МСТ-5, МСТ-6П, МСТ-9П, МСТ-10П — конструкционные микросферостеклотекстолиды на различных связующих с температурой эксплуатации до 400°C, плотностью 0,6—0,9 г/см³ и высокими диэлектрическими характеристиками. Используются для изготовления слабонагруженных изделий конструкционного и радиотехнического назначения, а также в качестве негорючих отделочных материалов в авиастроении, судостроении и других областях техники.

МСТ-5 — микросферостеклотекстолит для объектов с температурами эксплуатации до 350°C.

МСТ-6П — микросферостеклотекстолит для носовых обтекателей больших размеров, панелей, перегородок и др., например, крупногабаритных радиопрозрачных конструкций самолетов наземного и морского базирования.

МСТ-10П — микросферостеклотекстолит, отвечающий требованиям АП-25 по пожаробезопасности. Характеризуется низким тепловыделением и рекомендован для изготовления элементов интерьера пассажирских самолетов.

Свойства микросферостеклотекстоликов:

- тип связующего — эпоксидное, фенольное;
- плотность — 0,43–0,9 г/см³;
- прочность при изгибе — 110–260 МПа;
- диэлектрическая проницаемость — 2,21–2,44;
- тангенс угла диэлектрических потерь — 0,007–0,017;
- температура эксплуатации — 80–300°C.

ОРГАНОПЛАСТИКИ

В соответствии со «Стратегическими направлениями развития материалов и технологий их переработки на период до 2030 года» по направлению № 13 «Полимерные композиционные материалы» реализуется комплексная проблема 13.2 «Конструкционные ПКМ» и по направлению № 15 «Наноструктурированные, аморфные материалы и покрытия» реализуется комплексная проблема 15.3 «Материалы и покрытия для защиты от ЭМИ, ударных, вибрационных акустических и электрических воздействий».

Конструкционные и функциональные органопластики обеспечивают:

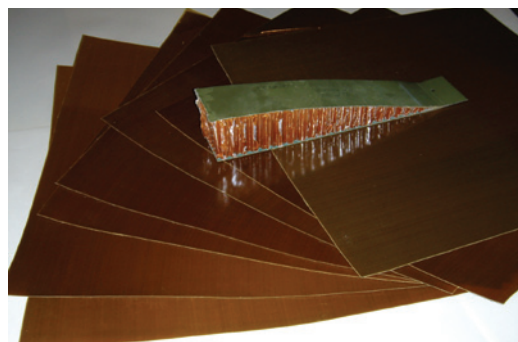
- стойкость к динамическим и виброакустическим нагрузкам, эрозийным повреждениям, агрессивным средам;
- стойкость к низко- и высокоскоростному ударному воздействию;
- плотность 1,32–1,35 г/см³.

ВЫСОКОПРОЧНЫЕ ОРГАНОПЛАСТИКИ

Органит 12Т(М)–Рус, Органит 16Т–Рус, Органит 18Т–Рус, ВКО–19 — органопластики на основе ткани (равнопрочной по основе и утку) из нитей Русар и эпоксидных связующих различных марок. Температура эксплуатации для органопластиков от -60 до +80°C, для органопластика Органит 16Т–Рус — от -60 до +150°C. Изготавливают слабо- и средненагруженные конструкции: форкиль, обшивки зализа и носков крыла самолетов, обшивки планера и хвостовых отсеков несущих винтов вертолетов и другие детали авиационной техники.

Свойства высокопрочных органопластиков:

- прочность при растяжении — 670–880 МПа;
- модуль упругости при растяжении — 31–40 ГПа;
- относительное удлинение при растяжении — 2,2–2,5 %;
- прочность при сжатии — 175–210 МПа;



Препрег стеклопластика

- прочность при изгибе — 460–520 МПа;
- прочность при межслоевом сдвиге — 35–50 МПа;
- водопоглощение за 90 суток — 1,1–1,75%;

БАЛЛИСТИЧЕСКИ СТОЙКИЙ ОРГАНОПЛАСТИК

ВКО-2ТБ — органопластик на основе ткани Русар и фенолокаучукового связующего. Рекомендуется для изготовления легких конструкций с повышенными требованиями к ударной и баллистической стойкости (корпуса вентиляторов авиационных двигателей, двери и перегородки самолетов), а также для изготовления защитных экранов различного назначения, средств индивидуальной баллистической защиты. Материал пожаро- и коррозионнобезопасен, устойчив к перепадам температур, повышенной влажности и воздействию микроорганизмов.



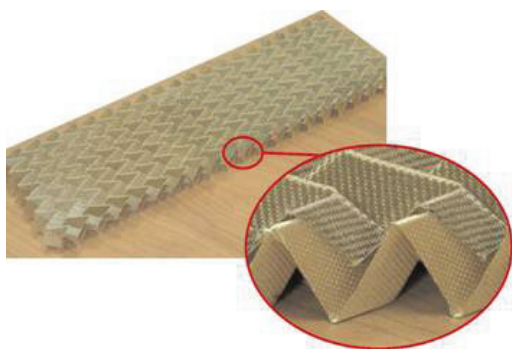
Пуля калибра .44 Магнум между слоями органопластика после баллистических испытаний

Свойства органопластика ВКО-2ТБ:

- плотность — 1,1 г/см³;
- стойкость к баллистическому воздействию (при массе пули — 5,6 кг/м²) соответствует требованиям АП-25 п. 25.795 (устойчив к проникновению пули калибра .44 Магнум, массой 15,6 г, со скоростью 436 м/с);
- горючесть — трудносгорающий (по АП-25 п. 25.853);
- коррозионная безопасность — может применяться в контакте с алюминиевыми, титановыми сплавами и сталями.

ЗВУКОПОГЛОЩАЮЩИЙ ОРГАНОПЛАСТИК

Органит 15ТМ-0,3 — высокопрочный тонколистовой воздухопроницаемый материал на основе арамидной ткани и фенольного связующего. Предназначен для изготовления многослойных звукопоглощающих конструкций и легких заполнителей различных типов (гофрированных, ячеистых, складчатых и др.). Обеспечивает повышение акустической эффективности, расширение полосы звукопоглощения и независимость акустических характеристик ЗПК от уровня звукового давления. Температура эксплуатации — от -60 до +150°С.



Препрег стеклопластика



Препрег стеклопластика

Свойства органопластика

Органит 15ТМ-0,3:

- плотность — $0,65 \text{ г/см}^3$;
- предел прочности при растяжении — 450 МПа ;
- коэффициент звукопоглощения в диапазоне частот — $1500 - 6000 \text{ Гц}$, $0,8 - 1$ отн. ед.

АНТИФРИКЦИОННЫЕ ОРГАНОПЛАСТИКИ

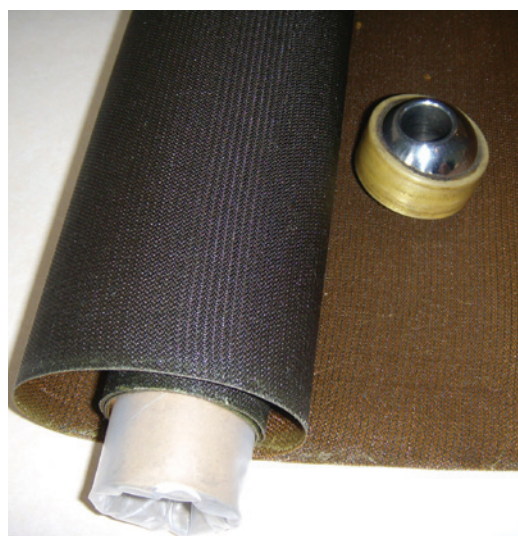
Оргалон АФ-1М-260, Оргалон АФ-1М-500, Оргалон АФ-1МР-260, Оргалон АФ-1МР-500 — антифрикционные органопластики для изготовления тяжело нагруженных узлов трения скольжения, работающих без смазки при температурах от -60 до $+200^\circ\text{C}$.

Свойства антифрикционных органопластиков:

- толщина — $0,25 - 0,52 \text{ мм}$
- коэффициент трения — $0,08 - 0,12$ отн. ед.;
- прочность при отслаивании от стали — $1,2 - 1,8 \text{ кгс/см}$;
- скорость скольжения — $0,05 - 0,2 \text{ м/с}$.

Оргалон АФ-1М-260, Оргалон АФ-1М-500 — обеспечивают работоспособность подшипников скольжения в условиях сухого трения, препреги имеют длительную жизнеспособность — 6 месяцев при температуре $+25^\circ\text{C}$.

Оргалон АФ-1МР-260, Оргалон АФ-1МР-500 — обеспечивают работоспособность подшипников скольжения в условиях сухого трения и при повышенном контактном давлении (до 30 МПа) в сравнении с базовыми материалами Оргалон АФ-1М-260 и Оргалон АФ-1М-500.



Препрег антифрикционного органопластика

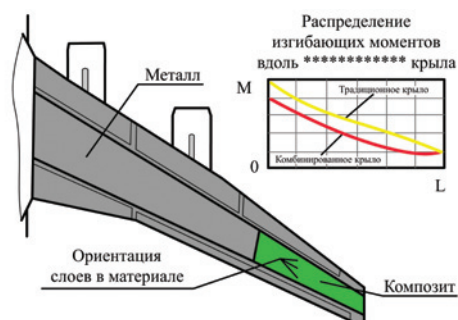
ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ ПОЛИМЕРНЫЕ КОМПОЗИЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ

В соответствии со «Стратегическими направлениями развития материалов и технологий их переработки на период до 2030 года» по направлению № 1 «Умные» конструкции» и направлению № 4 «Интеллектуальные, адаптивные материалы и покрытия» реализуется комплексная проблема 4.1 «Интеллектуальные ПКМ II и III поколения».

Интеллектуальные («умные») материалы способны контролировать напряженно-деформированное состояние в условиях воздействия внешней среды (нагрузок, температур) и адаптироваться (приспосабливаться) к этим воздействиям, например, путем изменения формы для снижения возникающих в нем напряжений. Такие материалы могут применяться и устанавливаться в наиболее ответственных конструкциях или в труднодоступных для контроля участках. Для осуществления этих функций в структуру материала встраиваются сенсоры — тензорезисторные, оптоволоконные, пьезоэлектрические элементы, которыми могут служить армирующие элементы, входящие в состав композиционного материала.

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ ПКМ I ПОКОЛЕНИЯ

АКМ-1, АКМ-2 — углепластики для самоадаптирующихся конструкций, в которых используется эффект возникновения крутящих напряжений при изгибающей нагрузке, возникающей в аэродинамическом потоке и приводящих к изменению формы поверхности, подъемной силы на крыло и снижению напряженности конструкции из-за неравномерной структуры композиционного материала. Также разработаны углепластики с функцией самоадаптации КМУ-7т, КМУ-4т2М и КМУ-4-2М-3673.



Самолет «Беркут»

Материал АКМ-1 применен в конструкции панелей крыла самолета

с обратной стреловидностью «Беркут», обеспечив стабилизацию углов атаки и повышение его маневренности. Работы в этом направлении развиваются применительно к законцовке крыла самолета МС-21.

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ ПКМ II ПОКОЛЕНИЯ

В ВИАМ разработана технология введения в конструкционный материал сенсорных элементов на основе оптических волокон с брегговскими решетками, позволяющая осуществлять online мониторинг напряженно-деформированного состояния конструкции в зависимости от условий ее нагружения и воздействия окружающей среды.

Совместно с ООО «РосДорТех» и ООО «Спецдортехника» разработанный материал и технология были опробованы в условиях эксплуатации в г. Саратове для ремонта и контроля плит перекрытия в подвальном помещении промышленного здания и в дорожном полотне

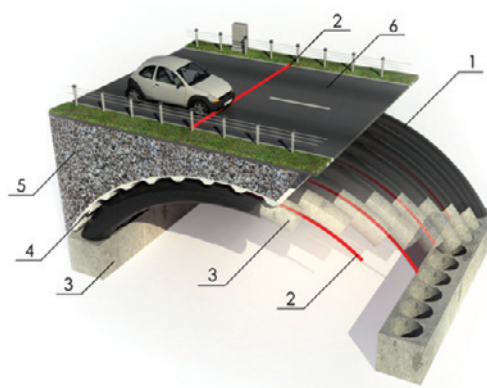
правого бокового проезда проспекта Строителей.

Применение информкомпози-та в качестве формирующей основы (опалубки) и бандажа (внешнего усиления) для бетонной арочной опоры быстровозводимого моста:

- 1— углепластиковые арочные элементы;
- 2— датчики контроля напряженно деформированного состояния на базе информкомполитов;
- 3— бетон;
- 4— профнастил;
- 5— песчано-гравийная смесь;
- 6— дорожное покрытие.

Обеспечивает:

- мониторинг напряженно-деформированного состояния конструкций, мостов, зданий и инженерных систем;
- контроль технического состояния и температуры дорожного покрытия;
- определение интенсивности и анализ транспортного потока;



- точность определения деформаций до 104% на локальном участке длиной 3–5 мм;
- точность определения температуры 0,1°C.

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ ПКМ III ПОКОЛЕНИЯ

Механокомпозиты — материалы со встроенными актюаторными элементами, обладающие функциями мониторинга за деформациями, температурой и активного противодействия внешним силам в режиме реального времени. При этом актюаторы могут быть реализованы на основе сплавов с памятью формы, магнитострикционных сплавов, электрореологических и магнитных жидкостей, электролюминисцентных и радиопоглощающих материалов, оптических волокон, пьезоэлектриков, бифункциональных сополимеров, проводящих полимеров, золь-гелей и других материалов. Предназначены для изготовления элементов сверхбыстродействующих обшивок или обтекателей, осуществляющих управление воздушными потоками без применения механических рулей, а также для осуществления активного гашения вибраций и перераспределения механических напряжений.

Интеллектуальные материалы III поколения способны выбирать и выполнять определенные функции автономно в ответ на изменение внешних параметров или использовать вложенные сенсорные способности для контроля качества при изготовлении изделий.

В высокоструктурированных интеллектуальных материалах будут интегрированы не только способности к адекватному взаимодействию с внешней средой, позволяющие сохранить эксплуатационные свойства материалов в конструкции и способности противодействовать внешним воздействиям, но и возможностью исправлять повреждения, вызванные внешними и внутренними воздействиями. Это становится возможным при обеспечении направленного управления структурой ПКМ на различных уровнях: на молекулярном и кристаллическом, в поверхностных и межфазных слоях, на границе зерен, путем перемещения ионов, радикалов и т. д., переносом и сохранением заряда, адсорбцией, массопереносом, высвобождением энергии или изменениями физических констант и многими другими изменениями.

ПЕНОПЛАСТЫ

В соответствии со «Стратегическими направлениями развития материалов и технологий их переработки на период до 2030 года» по направлению № 16 «Сверхлегкие пеноматериалы» реализуется комплексная проблема 16.1 «Полимерные синтактные пеноматериалы».

Пенопласты — газонаполненные материалы на основе различных полимерных материалов находят широкое практическое применение благодаря сочетанию низкой удельной плотности с высокими физико-механическими, тепловыми и другими свойствами.

ПЕНОПЛАСТЫ НА ОСНОВЕ ПОЛИМЕРОВ ЛИНЕЙНОЙ СТРУКТУРЫ

ПС-1, ПС-4, ПХВ-1 — пенопласты на основе полистирола и поливинилхлорида, отличаются низкой плотностью (от 0,03 г/см³),



Готовые плиты из пенопласта

высокими теплоизоляционными свойствами, удовлетворительной механической прочностью и высокими эксплуатационными характеристиками в диапазоне температур от -60 до +80°C.

Существенным недостатком указанных пенопластов является их сравнительно низкая рабочая температура эксплуатации, что ограничивает их более широкое практическое использование.

ПС-1 — один из лучших высокочастотных диэлектриков, широко используется в качестве радиопрозрачного материала при изготовлении различных антенных обтекателей радиолокационных станций.

ПС-4 — отличается при меньшей плотности более высокими значениями теплостойкости, прочности, что позволило широко использовать его для изготовления различных панелей и перегородок в интерьере летательных аппаратов.

ПХВ-1 — малогорючий и устойчивый в углеводородных топливах, применяется не только для изготовления негорючих трехслойных панелей для интерьера и пола самолетов, но и для изготовления поплавков-уровнемеров в топливных баках авиационных двигателей.

ПЕНОПЛАСТЫ НА ОСНОВЕ ПОЛИУРЕТАНОВ

ПУ-101, ПУ-101Т, ПУ-101Б, ПУ-102В, ПУ-104, ПУ-104Б, ПУ-107ЭТ — пенопласты «жидко-заливочного» типа, получаемые на основе продуктов взаимодействия толуилендиизоцианатов и полиизоцианатов с различными полиэфирами.

Удовлетворительные диэлектрические свойства пенопластов, а также высокие теплоизоляционные и физико-механические характеристики определили широкое практическое использование пенопластов в «решетчатых зеркалах», обтекателях радиолокационных станций в качестве легких компаундов различных электросхем, теплоизоляции «черных ящиков» и как теплостойких конструкционных заполнителей в обшивках оперения и стеновых панелях летательных аппаратов.



Попловок-уровнемер из пенопласта ПУ-107

Свойства пенополиуретанов с плотностью 100–500 кг/м³:

- прочность при сжатии — 1–2,9 МПа;
- удельная ударная вязкость — 0,3–1,1 кДж/м²;
- рабочая температура — 130–230°C.

ПУ-102В — «полужесткий» тип, особая разновидность пенополиуретанов, полученный с использованием простых полиэфиров, который нашел и находит до настоящего времени применение для изготовления индивидуальных амортизационных кресел космонавтов.

ПУ-101Б, ПУ-104Б — «ультралегкие» пенопласты, характеризующиеся рабочей температурой до 80–100°C при плотности 0,04–0,07 г/см³.

ПУ-107 — характеризуется замкнуто-ячеистой структурой и величиной топливопоглощения не более 5% (по массе), широко используется для изготовления теплостойких



Кабина спускаемого аппарата с креслами

поплавков-уровнемеров в топливных баках летательных аппаратов.

ПЕНОПЛАСТЫ НА ОСНОВЕ ПОЛИГЕТЕРОАРИЛЕНОВ

ППИ-1, ППИ-2 — негорючие высокотеплостойкие пенопласты на основе полиамидных кислот, полученные при взаимодействии ароматических ангидридов тетракарбоновых кислот и аминов. Пенопласты характеризуются стабильностью размеров в диапазоне температур от -60 до $+300^{\circ}\text{C}$, негорючестью, хорошими термо- и звукоизоляционными свойствами.

ПЕНОПЛАСТЫ НА ОСНОВЕ ФЕНОЛОКАУЧУКОВЫХ СОПОЛИМЕРОВ

ФК-20, ФК-40, ФК-20-А20, ФрК-40 — пенопласты на основе продуктов совмещения нитрильных каучуков с фенолоальдегидными олигомерами, рекомендуются в качестве теплостойких, конструкционных заполнителей трехслойных конструкций и для изготовления различных конструкционных элементов. Обладают плотностью $0,17\text{--}0,23\text{ г/см}^3$.

ФК-20-А20 — длительно работоспособен до 200°C и кратковременно до 250°C , рекомендован к использованию в каче-

стве теплостойкого конструкционного пенозаполнителя. Прочность при сжатии $1,2\text{--}1,8\text{ МПа}$, удельная ударная вязкость $0,5\text{--}0,6\text{ кДж/м}^2$.

ФрК-40 — «безаммиачного» типа, с рабочей температурой до 150°C , прочность при сжатии $1\text{--}1,3\text{ МПа}$, удельная ударная вязкость $0,5\text{--}0,7\text{ кДж/м}^2$, не имеет коррозионной активности к цветным металлам. Рекомендован в качестве теплоизоляционного материала для головных частей ракет, оснащенных приборами, имеющими серебряные и медные контакты.

ФК-20 — благодаря сочетанию прочностных, упругих и вибрационностойких свойств нашел широкое применение в качестве конструкционного заполнителя лопастей самолетов и вертолетов и винтовентиляторов. Прочность при сжатии $0,8\text{--}1\text{ МПа}$, удельная ударная вязкость



0,3–0,7 кДж/м², рабочая температура — до 120°С.

ФК-40 — упругоэластичный пенопласт, успешно применяется в качестве вибростойкой теплоизоляции для изготовления крупногабаритного теплозащитного экрана в ракетоносителе «Протон».

СФЕРОПЛАСТИКИ

В соответствии со «Стратегическими направлениями развития материалов и технологий их переработки на период до 2030 года» по направлению № 16 «Сверхлегкие пеноматериалы» реализуется комплексная проблема 16.1 «Полимерные синтактные пеноматериалы».

Сферопластики — полимерные композиции с низкой плотностью на основе, как правило, эпоксидных или фенольных связующих, основным наполнителем которых являются полые стеклянные микросферы. Применение полимерных сферопластиков для местного упрочнения панелей сотовых конструкций с целью повышения их прочности и жесткости в зонах установки крепежа, для заделки торцевых участков, заполнения различных полостей, фиксации трубопроводов, закрепления электротехнических кабелей и т. п. нашло широкое распространение в авиастроении.

Сферопластики обеспечивают:

- повышение прочности и жесткости сотовых панелей в зонах установки крепежа;
- выполнение требований ИКАО и АП-25 по пожаробезопасности;
- формование конструкции за одну технологическую операцию;
- снижение толщины конструкций, что увеличивает внутренний полезный объем;
- сохранение высоких механических и радиотехнических характеристик в различных условиях эксплуатации.

СФЕРОПЛАСТИКИ НА ОСНОВЕ ЭПОКСИДНЫХ И ФЕНОЛЬНЫХ СВЯЗУЮЩИХ

ВПЗ-7М, ВПЗ-10, ВПЗ-14, ВПЗ-18 — сферопластики с плотностью 0,5–0,7 г/см³, соответствующие требованиям ИКАО по пожаробезопасности, обладают высокими эксплуатационными свойствами и применяются для заполнения участков сотовых конструкций и установки крепежных элементов.

Свойства сферопластиков

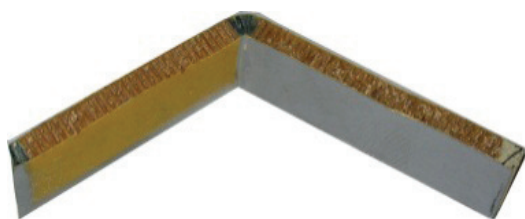
- тип связующего — эпоксидное, фенольное, эпоксикремнийорганическое;
- прочность при сжатии — 30–47 МПа;
- горючесть — самозатухающий, трудносгорающий.

ВПЗ-7М — негорючий материал с высокими физико-механическими характеристиками.

ВПЗ-10 — полностью соответствует требованиям АП-25 по горючести, дымообразующей способности и тепловыделению.

ВПЗ-14 — негорючий, отверждается при повышенных температурах, обладает высокими механическими и адгезионными свойствами и работоспособен до температуры 160°C.

ВПЗ-18 — характеризуется комплексом высоких физико-механических свойств и отверждается при комнатной температуре в течение 10–12 часов.



Элемент сотовой панели из стеклопластика, заполненный сферопластиком

СФЕРОПЛАСТИКИ НА ОСНОВЕ ЦИАНЭФИРНЫХ СВЯЗУЮЩИХ

ВПЗ-17 — представляет собой рулонный материал для применения в составе многослойных конструкций на основе цианэфирного связующего, включающего полые стеклянные микросферы. Плотность материала 0,55–0,7 г/см³, пределы прочности при растяжении 20–30 МПа и сжатии



Элемент многослойной конструкции с обшивками из углепластика и средним слоем из синтактного материала

40–60 МПа. Может эксплуатироваться в диапазоне температур от -60 до +170°C длительно.

ТЕХНОЛОГИИ ПОЛУЧЕНИЯ ПКМ

В соответствии со «Стратегическими направлениями развития материалов и технологий их переработки на период до 2030 года» по направлению № 3 «Компьютерные методы моделирования структуры и свойств материалов при их создании и работе в конструкции» реализуется комплексная проблема 3.3 «Технология прогнозирования свойств, моделирования и реализации современных процессов конструирования и производства изделий из неметаллических и композиционных материалов с использованием цифровых методов, совместимых с CAD/CAM/CAE и PLM системами», по направлению № 10 «Энергоэффективные, ресурсосберегающие и аддитивные технологии получения деталей, полуфабрикатов и конструкций» реализуется

комплексная проблема 10.11 «Энергоэффективные ресурсосберегающие технологии механической обработки металлических и неметаллических композиционных материалов» и по направлению № 13 «Полимерные композиционные материалы» реализуются комплексные проблемы 13.1 «Связующие для полимерных и композиционных материалов конструкционного и специального назначения» и 13.2 «Конструкционные ПКМ».

В настоящее время во ФГУП «ВИАМ» ведутся работы по освоению следующих технологий изготовления деталей из ПКМ.

«Классическая» автоклавная технология наиболее широко распространена в мире для изготовления силовых деталей из ПКМ авиационного назначения. Предполагает выкладку пропитанного связующим армирующего наполнителя (препрега) на оснастку с последующим формованием в автоклаве при повышенной температуре и давлении.

Вакуумное формование препрега позволяет изготавливать детали из ПКМ без использования избыточного давления (под действием вакуума), что дает возможность отказаться от применения дорогостоящего автоклава. Реализация технологии возможна путем применения специализированных связую-

щих и оптимизации режимов формования.

Пропитка под давлением — изготовление деталей путем пропитки армирующего наполнителя, уложенного в оснастку закрытого типа, полимерным связующим с низкой вязкостью, подаваемым в форму под давлением. При этом процессы пропитки наполнителя и формования детали совмещены в единый цикл. К преимуществам такого способа можно отнести отсутствие необходимости в дорогостоящем оборудовании, хорошие условия труда (отсутствует непосредственный контакт человека со связующим), возможность изготовления деталей сложной формы, возможность использования трехосноармированных наполнителей, невысокая стоимость процесса, точность геометрических размеров получаемых изделий, возможность организации крупносерийного производства деталей.

Вакуумная инфузия — разновидность безавтоклавной технологии, однако предполагает применение более дешевой оснастки открытого типа, а также более простого оборудования (благодаря применению для подачи связующего вакуума вместо избыточного давления). Одна из



Установка вакуумной инфузии

наиболее перспективных и быстроразвивающихся технологий.

Данная технология позволяет существенно снизить энергетические, финансовые и трудозатраты при производстве деталей.

Пропитка с использованием пленочных связующих — аналогична технологиям RTM и вакуумной инфузии, процесс пропитки наполнителя связующим совмещен с процессом формования детали. Однако пропитка наполнителя осуществляется не в продольном, а в поперечном направлении, благодаря применению связующих, представляющих собой (при комнатной температуре) эластичные пленки.

Технология позволяет изготавливать изделия из ПКМ вакуум-

ным способом, в том числе с возможностью использования заранее сформированных пакетов наполнителя — так называемых преформ, а также прошитых в трансверсальном направлении пакетов наполнителя, что повышает в получаемом пластике характеристики вязкости разрушения и стойкости к ударным воздействиям. Таким образом получают детали с заданным объемным содержанием наполнителя в пластике и, как следствие, с заданными геометрическими и упруго-прочностными характеристиками.

Технологии изготовления препрегов — полуфабрикаты полимерных композиционных материалов (препреги) могут изготавливаться на основе



Опытно промышленная установка для производства препрегов Coatema BL-280

связующих растворного, расплавного и порошкового типа. Экспериментальная база ФГУП «ВИАМ» оснащена более чем 10 установками по изготовлению препрегов, позволяющими изготавливать препреги на любых типах армирующих наполнителей и связующих на основе порошков, растворов, низковязких и высоковязких расплавов.

Во ФГУП «ВИАМ» создана экспериментально-технологическая база с возможностью малотоннажного производства, позволяющая проводить научные исследования на мировом уровне.

Химический участок по изготовлению связующих. Выпускаются связующие для изготовления препрегов для ПКМ, объем производства связующих — до 10 тонн в год.

Участок по изготовлению препрегов для ПКМ произво-

дительностью до 50000 м² в год. Оснащен установками УПСТ-1000М для производства препрегов по растворной технологии. Поставляет препреги для углепластиков КМУ-4э-2м, КМУ-7Т, стеклопластиков ВПС-33, ВПС-34 и других ПКМ.

Участок по изготовлению расплавных и клеевых препрегов оснащен самым современным высокоавтоматизированным оборудованием с компьютерными системами управления, включая: специализированную опытно-промышленную линию для производства расплавных, клеевых калиброванных препрегов и пленочных клеев Coatema BL-2800 (Германия) с производительностью 6–10 м/мин (при ширине препрега до 1200 мм) и опытную установку «Фрегат»; компьютеризированное оборудование



Выкладка препрега для автоклавного формования в помещении «чистая комната»

для многопараметрического автоклавного формования образцов, конструктивноподобных элементов и малогабаритных деталей из ПКМ.

На участке функционирует производственное помещение «Чистая комната» (класса 100 000 по ГОСТ ИСО 14644-1-2000 и FED STD 209E) для сборки заготовок из препрегов полимерных композиционных материалов, а также специализированное оборудование для хра-

нения исходных компонентов и готовой продукции и контроля их качества.

Участок обеспечивает поставку клеевых препрегов марок КМКС-1.80.ПТ10, КМКС-2.120.Т10, КМКС-2.160.Т60, КМКС-2.120.Т64, КМКУ-2.120.Э0,1, КМКУ-2.120.Э0,8, а также препрегов, углепластиков ВКУ-25, ВКУ-27, стеклопластика ВПС-31 и других ПКМ.

Участок по изготовлению препрегов и деталей из ПКМ Ульяновского научно-технологического центра

оснащен пропиточной установкой УПР-4 с производительностью 30000–50000 м²/год препрегов ПКМ с применением расплавных и высококонцентрированных растворных связующих, а также печами и прессовым оборудованием для выпуска деталей интерьера авиационного, железнодорожного, автомо-



Установка УОЛ-300



Установка УПСТ-300



Участок изготовления фенольно-каучуковых пенопластов

бильного назначения и силовых деталей конструкции изделий малой авиации.

Участок по изготовлению препрегов для ПКМ в Воскресенском ЭТЦ ВИАМ производительностью до 25 тонн в год. Оснащен установками УПСТ-300 и УОЛ-300. Позволяет поставлять препреги для углепластиков КМУ-4э-2м, КМУ-7т и др., стеклопластиков ВПС-31, ВКГ-5.

Участок по изготовлению препрегов антифрикционных органопластиков — листового органопластика Органит 11ТЛ и препрега баллистически стойкого органопластика ВКО-2ТБ.

Участок по изготовлению фенолкаучуковых пенопластов производительностью до 15 тонн в год. Поставляет полуфабрикаты пенопластов ФК-20, ФК-40 и ФФ в виде исходных полуфабрикатов и готовых деталей. Мощность участка, оснащенного современным технологическим оборудованием, позволя-

ет полностью удовлетворять потребности авиационной и смежных отраслей промышленности в пенопластах типа ФК.

НАЦИОНАЛЬНАЯ ЛАБОРАТОРИЯ ПО ПОЛИМЕРНЫМ КОМПОЗИЦИОННЫМ МАТЕРИАЛАМ

В соответствии со «Стратегическими направлениями развития материалов и технологий их переработки на период до 2030 года» по направлению № 2 «Фундаментально-ориентированные исследования, квалификация материалов, неразрушающий контроль» реализуется комплексная проблема 2.2 «Квалификация и исследование материалов» и по направлению № 13 «Полимерные композиционные материалы» в рамках реализации комплексной проблемы 13.2 «Конструкционные ПКМ».

На базе ФГУП «ВИАМ» создается Национальная лаборатория по



Лабораторная установка для изготовления препрегов Coatema LS-11

полимерным композиционным материалам. В задачи лаборатории входят: разработка, исследование свойств и квалификация полимерных композиционных материалов, разработка и освоение новых технологий получения ПКМ.

Создаваемая лаборатория оснащается самым современным высокоавтоматизированным технологическим и исследовательским оборудованием с компьютерными системами управления, включая специализированную опытно-промышленную линию для производства расплавных калиброванных препрегов, пленочных клеев и связующих, по своим свойствам не уступающих лучшим мировым аналогам, а также оборудование для термомеханического, термогравиметрического, динамического механического анализа, дифференциальной

сканирующей калориметрии, сканирующей и просвечивающей электронной микроскопии, рентгеновской и ИК спектроскопии, газовой и жидкостной хроматографии, масс-спектропии, оценки реологических и механических характеристик (в том числе определения сжатия после удара, вязкости разрушения, смятия, прочности при межслоевом сдвиге и сдвиге в плоскости листа и т. д.).

Создано первое в России производственное помещение «Чистая комната» для сборки заготовок из препрегов полимерных композиционных материалов, спроектированное с учетом жестких требований как отечественных, так и зарубежных стандартов.

Введено в эксплуатацию компьютеризированное оборудование для многопараметрического автоклавного формования образцов,



Автоклав



конструктивноподобных элементов и малогабаритных деталей из ПКМ.

Особое внимание уделяется обеспечению возможности разработки уникальных технологий получения нового поколения ПКМ на основе калиброванных прецизионных препрегов с использованием высокодеформативных связующих, а также новым подходам к проектированию, моделированию и реализации технологий получения деталей и изделий из ПКМ с использованием цифровых IT технологий на базе современных высокоавтоматизированных процессов (RTM, VARTM, VIP, RFI, AFP, ATL), обеспечивающих реализацию основного преимущества ПКМ, когда материал, технология и конструкция

создаются и оптимизируются одновременно.

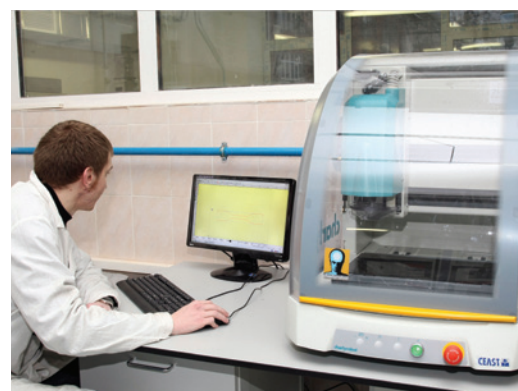
Современное технологическое оборудование:



Оборудование для термостатирования



Прессовое оборудование

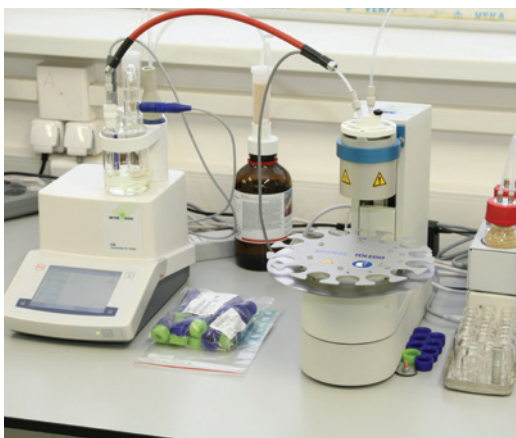


Автоматизированный комплекс изготовления образцов



Намоточный станок

Современная исследовательская и испытательная база:



Титратор



Гельтаймер



Испытательная машина фирмы ZWIK



Вертикальный копёр фирмы Instron



Термоаналитический комплекс фирмы NECH



Автоматизированный плотномер (градиентная колонка)

СЛОИСТЫЕ МЕТАЛЛОПОЛИМЕРНЫЕ КОМПОЗИЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ

В соответствии со «Стратегическими направлениями развития материалов и технологий их переработки на период до 2030

года» по направлению № 6 «Слоистые металлополимерные, биметаллические и гибридные материалы» реализуется комплексная проблема 6.2 «Слоистые трещиностойкие, высокопрочные металлополимерные материалы» и по направлению № 12 «Металломатричные и полиматричные компози-



Схема металлополимерного композита

ционные материалы» реализуется комплексная проблема 12.4 «Титановые сплавы для совмещения с углепластиком».

Металлопластики состоят из чередующихся тонких листов металлических сплавов (алюминиевых или титановых) и слоев полимерных композитов (органо-, угле- или стеклопластиков). Высокие характеристики прочности и вязкости разрушения металлопластиков достигаются благодаря армированию высокопрочными волокнами и использованию компонентов с взаимодополняющими свойствами (металла и полимерного композита).

Область применения металлопластиков — элементы конструкций, работающие в условиях усталостного нагружения с повышенными требованиями к надежности и живучести (силовые обшивки планера самолетов, зоны соединения разно-

родных материалов). Для конструкций из металлопластиков характерны повышенные демпфирующие, звуко- и теплоизоляционные характеристики, ударостойкость, огнестойкость, стойкость к воздействию молнии.

Металлополимерные композиты обеспечивают:

- снижение скорости роста усталостной трещины — в 5–100 раз;
- повышение виброакустической выносливости — в 10 раз;
- снижение массы деталей — на 10–15%.

АЛЮМОСТЕКЛОПЛАСТИК (СИАЛ)

СИАЛ 1-1, СИАЛ 2-1, СИАЛ 3-1 и др. — перспективный конструкционный слоистый гибридный материал, состоящий из тонких листов алюминиевых сплавов

(Al—Li сплава пониженной плотности 1441 и др.) и прослоек стеклопластика.

Прослойки пластика состоят, как правило, из нескольких монослоев однонаправленного клеевого препрега, армированного высокопрочными стеклонаполнителями; расположение и количество монослоев определяется назначением и габаритами детали.

Слоистые материалы обладают уникальным комплексом свойств по сравнению с монолитными алюминиевыми листами: высокой трещиностойкостью (на порядок выше сопротивлением росту трещины усталости $\leq 0,3$ мм/цикл при $\Delta K = 31 \text{ МПа}\sqrt{\text{м}}$), пониженной плотностью на 10–15%, высокой прочностью ($\sigma_{\text{в}} \geq 600 \text{ МПа}$), а также повышенными жаростой-

Сравнительные свойства алюмостеклопластика и алюминиевого сплава

Материал	$\sigma_{\text{в}}$, МПа	МЦУ: $N_{\text{ср}}$, кцикл (при $\sigma_{\text{max}}=157 \text{ МПа}$; $f=5 \text{ Гц}$; $K_c=2,6$)	СРТУ: dI/dN , мм/кцикл (при $\Delta K=31 \text{ МПа}\sqrt{\text{м}}$; $f=10 \text{ Гц}$)	K_c^y , МПа $\sqrt{\text{м}}$ (при $B=140 \text{ мм}$)	d , г/см ³
СИАЛ-3-1 (на базе сплава 1441)	≥ 600	140	0,15	80	2,36
1163-АТ	≥ 430	110	1,8	66	2,70

костью (1000°C, 15 мин — без прогорания), ударостойкостью и достаточной коррозионной стойкостью.

СИАЛ на базе листов сплава 1441 используется для молниезащитных элементов обшивки крыла самолета Бе-103. Рекомендуется к применению в качестве обшивок, противопожарных перегородок, облицовок багажно-грузовых отсеков, соединительных лент, поясов безопасности (стопперов), обеспечивающих повышенный ресурс и весовую эффективность перспективных российских конструкций авиационной техники.



Легкий самолет-амфибия Бе-103

АЛЮМООРГАНОПЛАСТИК (АЛОР)

Алор Д16/41, Алор Д16/41Н — слоистые металлопластики на основе тонких листов алюминиевого сплава и арамидных органопластиков. Рекомендованы для изготовления обшивок самолетов, подвергающихся воздействию вибро- и акустических нагрузок (обшивки и нервюры предкрылков, носки киля и стабилизатора и другие детали).



Носовая часть крыла самолета Ан-124
с обшивками из алора Д16/41



Самолет Ан-124 «Руслан»

Свойства трещиностойких алюмоорганопластиков и алюминиевого сплава

Свойства	Значения свойств алюмоорганопластиков			
	Алор16/41 (равнопроч- ный)	Алор16/41Н (однонаправ- ленный)	Алор на основе арамидных волокон второго поколения	Сплав Д16ч.-АТ
Плотность, г/см ³	2,35	2,25	2,2–2,3	2,78
Предел прочности при растяжении, МПа	450	700	1000–1500	415
Предел текучести, МПа	350	500	600–700	275
Модуль упругости при растяжении, ГПа	62	69	70–80	68
Малоцикловая усталость (МЦУ), кцикл, при $\sigma_{\max}$, МПа: 160 280	120 –	≥ 2000 ≥ 200	10000	80
Скорость роста трещины усталости (СРТУ), мм/кцикл ($\Delta K=30$ МПа $\sqrt{\text{м}}$)	0,2	0,1	0,01–0,05	5

ТИТАНООРГАНОПЛАСТИК (ТИОР)

Тиор ВТ35/ВК-36 – слоистый материал на основе листов титанового сплава и слоев органопластика, рекомендован для усиления обшивки кессона крыла самолета.

Механические свойства титаноорганопластика и титанового сплава

Свойства	Значения свойств материалов	
	титаноорганопластика на основе волокна Армос	сплава ВТ35
Плотность, г/см ³	3,5	4,7
Предел прочности при растяжении, МПа	1500	1250
Модуль упругости при растяжении, ГПа	100	110

ТИТАНОУГЛЕПЛАСТИК (ТИГРАН)

ВТ6/ВК-36 – слоистый материал на основе листов титанового сплава ВТ6ч. и слоев углепластика, рекомендован для усиления обшивки кессона крыла самолета, в качестве переходной зоны соединения деталей и агрегатов из углепластика с металлическим силовым набором.

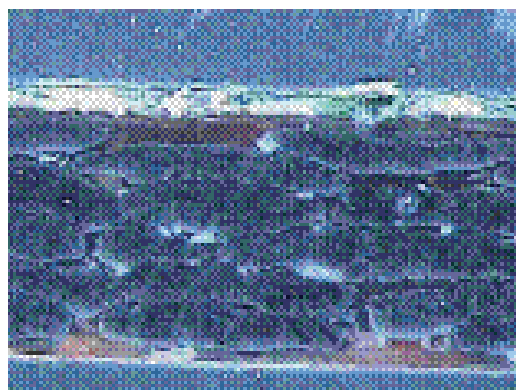
Свойства титаноуглепластика и титанового сплава

Свойства	Значения свойств материалов	
	титаноуглепластика	сплава ВТ6ч.
Плотность, г/см ³	3,5	4,5
Предел прочности при растяжении, МПа	830	850 ($\sigma_{0,2}$)
Модуль упругости при растяжении, ГПа	102	110
Предел прочности при сжатии, МПа	800	900 ($\sigma_{0,2}$)
Скорость роста трещины усталости (СРТУ), мм/цикл, при ΔK , кг/мм ^{3/2} :		
100	0,16	1,0
150	0,13	2,4
200	0,12	3,5
Выносливость клепаных и болтовых соединений при $\sigma_{\max}=450$ МПа, кцикл	24	—
Логарифмический декремент затухания при изгибных колебаниях, %	0,95	0,50

АЛЮМОУГЛЕПЛАСТИК

(АЛКАР)

Алкар Д16/14-3 — слоистый металлопластик на основе тонких листов алюминиевого сплава (с защитой от коррозии) и слоев углепластика. Область применения — силовые обшивки планера и крыла самолета, в том числе способные к самоадаптации и самоконтролю при эксплуатации.



Микрошлиф материала после выдержки в камере солевого тумана (коррозия и расслоения отсутствуют)

Свойства алюмоуглепластика и алюминиевого сплава

Свойства	Значения свойств материалов	
	алюмоуглепластика	сплава Д16ч.-АТ
Модуль упругости при растяжении, ГПа	87–93	68
Предел прочности, МПа		
при растяжении	860–900	410
при сжатии	690–720	410
при межслоевом сдвиге	5,8–6,1	—
Сохранение свойств после выдержки в камере солевого тумана в течение 2 мес, %	98–100	—

КЕРАМИЧЕСКИЕ И СТЕКЛОКЕРАМИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ

В соответствии со «Стратегическими направлениями развития материалов и технологий их переработки на период до 2030 года» по направлению № 14 «Высокотемпературные керамические и керамоподобные материалы» реализуются комплексные проблемы 14.1 «Конструкционные керамические композиционные материалы (ККМ)» и 14.2 «Новые технологии получения сверхвысокотемпературных керамических и металлических композиционных материалов».

СТЕКЛОКЕРАМИЧЕСКИЕ КОМПОЗИЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ

«Геларм» — многофункциональный высокотемпературный стеклокерамический материал на основе дискретных и/или дисперсных армирующих наполнителей и силикатной гель-матрицы с рабочей температурой до 1650°C. Материал предназначен для огне- и теплозащиты, в том числе в условиях термомеханических, газодинамических нагрузжений и термоударов, для применения в изделиях авиационной, ракетно-космической техники, в машиностроении и других областях. Отличительные особенности



Панели и образцы из СККМ типа «Геларм»

материала — малая энергоемкость технологических процессов, возможность изготовления крупногабаритных теплозащитных панелей, включая ремонт и восстановление в составе изделия.

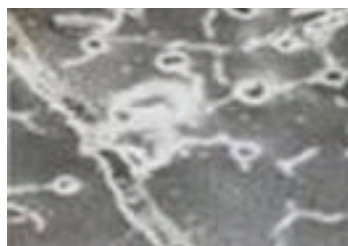
ВМК-2 («Стекларм») — высокотемпературный стеклокерамический композиционный материал на основе боросиликатной или стеклокристаллической матрицы, армированный углеродными волокнистыми материалами типа «Кулон». Материал обладает: плотностью 2—2,3 г/см³, высокими значениями механических свойств (предел прочности при изгибе от 500 до 1000 МПа в зависимости от текстильной формы наполнителя и его объемного содержания), повышенной окислительной стойкостью при температурах до 600°C (длительно) и 800 °C (кратковременно). Предназначен для изготовления теплонагруженных деталей авиационной, космической техники и изделий машиностроения (например, кольцевых элементов рабочего колеса мало-

инерционного компрессора высокого давления ГТД) методом прямого горячего прессования полуфабрикатов на основе ленточных и жгутовых препрегов. (Разработка данного материала осуществлялась совместно с РХТУ им. Д.И. Менделеева.)

КЕРАМИЧЕСКИЕ, УГЛЕРОДКЕРАМИЧЕСКИЕ КОМПОЗИЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ И АНТИОКИСЛИТЕЛЬНЫЕ ПОКРЫТИЯ

ВМК-3 — «безволоконный» конструкционный керамический композиционный материал типа SiC/SiC , работоспособный при температурах до 1650°C в окислительной среде, который отличается сверхвысокой термостойкостью (термостойкость по режиму $800 \leftrightarrow 1750^\circ\text{C}$ более 10 000 циклов, где 1 цикл: 1 минута). Материал обладает низкой удельной массой (в 2–3 раза легче ста-

лей), повышенной эрозионной, химической и коррозионной стойкостью в агрессивных средах; при эксплуатационных температурах обладает эффектом самозалечивания микродефектов и восстановления до 100% исходных механических характеристик (прочность при изгибе во всем интервале рабочих температур — 250–300 МПа). Отличительной особенностью материала, разработанного совместно с ИОНХ им. Н.С. Курнакова РАН и РХТУ им. Д.И. Менделеева является реализация процесса синтеза, основанного на применении золь-гель технологии для получения наноструктурных упрочняющих фаз в матрице керамического композита, что также позволяет снизить энергоемкость технологического процесса и сократить время изготовления независимо от габаритов и сложности изделия. Материал предназначен для изготовления теплонагруженных дета-

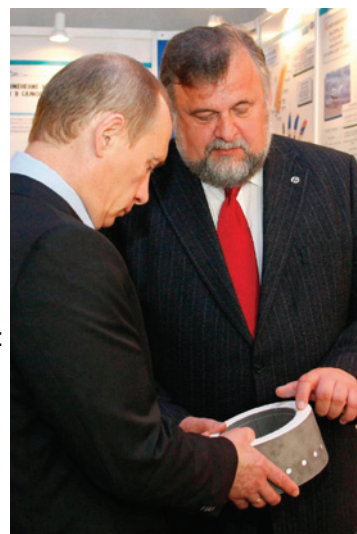


ЭФФЕКТ САМОЗАЛЕЧИВАНИЯ:

ВОССТАНОВЛЕНИЕ
ПРОЧНОСТИ ДО 100%



ВЫСОКАЯ ТЕРМОСТОЙКОСТЬ:
ПРИ $1500\text{—}800^\circ\text{C}$ — БОЛЕЕ
7000 ЦИКЛОВ (1ЦИКЛ: 1МИН)





Жаровая труба из квазипластичного керамического композита и фрагмент элемента жаровой трубы и кольца

лей горячего тракта перспективных двигателей (например, внутренняя поверхность двухстеночной камеры сгорания) и высокоскоростных летательных аппаратов.

НККМ — трещиностойкий (квазипластичный) высокотемпературный углеродкерамический композиционный материал для изготовления теплонагруженных узлов и деталей авиационных и стационарных газотурбинных двигателей. Совместно с сотрудниками ЦИАМ им. Баранова разработана технология изготовления жаровой трубы из материала НККМ.

ВМК-1, ВМК-4 — керамические композиционные материалы на основе муллита с рабочими температурами 1200–1350°C, допускаются кратковременные забросы до

1550°C. Материалы предназначены для применения в качестве материалов деталей и узлов трения, испытывающих механические нагрузки в условиях высоких температур.

ВМК-5, ВМК-6 — материалы на основе дискретных волокон оксида алюминия. Высокие температуры эксплуатации материала и диэлектрические характеристики делают возможным применение данных материалов для изготовления радиопрозрачных обтекателей ракет, окон приборов ориентации, элементов передних кромок крыльев ракетно-космической техники и гиперзвуковой авиации, теплозащитных элементов низкоинерционных термических установок, теплоизоляции печей.

Свойства НККМ

Плотность, г/см ³	Прочность, МПа	Рабочая температура, °C	Термостойкость 1300↔20 °C, циклы	Излучательная способность
0,3-1,0	220-320	1000-1350	50 без разрушения	≥0,8

Свойства покрытия ЭВУ-5

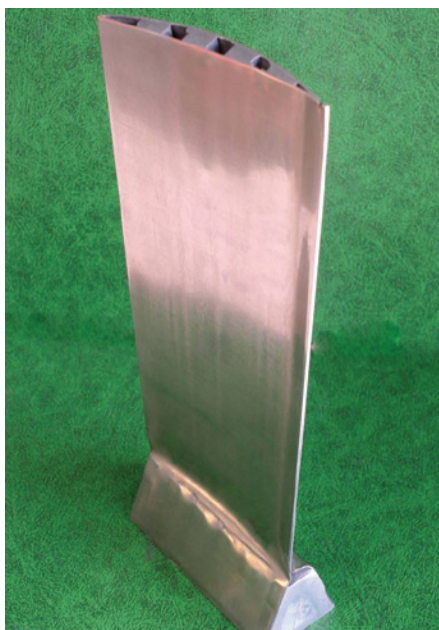
Рабочая температура, °С	Коэффициент излучательной способности, отн.ед	Константа скорости каталитической рекомбинации, м/сек	Термический коэффициент линейного расширения, град ⁻¹ × 10 ⁻⁶
до 2000 кратковременно, 1500-1600 длительно	не менее 0,86	6-10	4,8-5,2

В последние годы во ФГУП «ВИАМ» разработаны высокотемпературные теплозащитные и теплоизоляционные материалы с широким диапазоном плотностей (как жесткие, так и гибкие) на основе волокон оксида алюминия с рабочей температурой до 1700°С.

ЭВУ-5 — высокотемпературное покрытие предназначено для защиты от окисления высокотемпературных углеродсодержащих композитов при температурах вплоть до 2000°С. Отличительной особенностью нового поколения активных покрытий является способность за счет управляемых структурно-фазовых превращений адаптироваться к условиям эксплуатации — эффективность покрытия основана на принципе химического захвата кислорода, благодаря чему многократно снижается коэффициент его диффузии через покрытие к основному материалу.

МЕТАЛЛИЧЕСКИЕ КОМПОЗИЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ

В соответствии со «Стратегическими направлениями развития материалов и технологий их переработки на период до 2030 года» по направлению № 12 «Металломатричные и полиматричные композиционные материалы» реализуются комплексные проблемы 12.1 «Металлические композиционные материалы (МКМ), армированные частицами и волокнами тугоплавких соединений», 12.2 «Слоистые металлические композиционные материалы (МКМ) систем металл—интерметаллид и металл—керамика для легковесной авиационной защиты» и 12.3 «Металлические композиционные материалы (МКМ) на основе Nb, Mo и их интерметаллидов».



Облегченная лопатка вентилятора
с титановой оболочкой и несущими
боралюминиевыми стержнями

БОРАЛЮМИНИЕВЫЙ КОМПОЗИЦИОННЫЙ МАТЕРИАЛ

ВКА-2 — изготавливается диффузионной сваркой монослоев из боралюминия при одновременном приложении давления и температуры прессования. Предназначен для подкрепляющих элементов силового набора самолета, лопаток вентилятора (компрессора), балок, стрингеров, лонжеронов, нервюр и других силовых элементов конструкции и деталей планера и двигателя самолета на рабочие температуры до 350°C.



Установка для получения композиционных
гранул материала ВКД-1

Свойства композиционного материала:

- предел прочности при растяжении — 1250 МПа;
- модуль упругости — 220 ГПа;
- рабочая температура — до 350°C.

КОМПОЗИЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ КОНСТРУКЦИОННОГО И ФУНКЦИОНАЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ, АРМИРОВАННЫЕ ЧАСТИЦАМИ ТУГОПЛАВКИХ СОЕДИНЕНИЙ

ВКД-1 — конструкционный композиционный материал с объемным содержанием армирующей фазы до 20%, изготавливается по порошковой технологии из порошков карбида



Примеры использования силовых полупроводниковых приборов с теплопроводящими основаниями из МКМ системы Al–SiC в различных отраслях промышленности

кремния и алюминиевого сплава. Предназначен для деталей ГТД, работающих при температурах до 3000°С (вал, крыльчатка вентилятора, статорные лопатки) и силовых элементов конструкции планера.

Свойства композиционного материала:

- плотность — 3 г/см³;
- предел прочности при растяжении — 550 МПа;
- модуль упругости — 110 ГПа.

ВКМ-8 — функциональный композиционный материал с объемным содержанием армирующей фазы до 70%, изготавливается по технологии пропитки пористых заготовок из порошков карбида кремния расплавом матричного сплава. Предназначен для теплоотводящих основа-

ний силовой электроники и преобразовательной техники и обеспечивает создание мощных полупроводниковых приборов с полевым управлением (IGBT-модулей) нового поколения, работающих в жестких условиях эксплуатации в различных климатических зонах.

Отличительной особенностью технологии получения изделий из материала ВКМ-8, созданной совместно с ОАО «Электровыпрямитель» и ГОУ ВПО «МГУ им. Н.П. Огарева» (г. Саранск, республика Мордовия), является обеспечение жестких требований по геометрическим размерам, формирование отверстий, в том числе резьбовых при минимальной механической обработке.



Теплоотводящие основания из МКМ
системы Al—SiC

Свойства композиционного материала:

- плотность — 3 г/см^3 ;
- температурный коэффициент линейного расширения — $6,8 \cdot 10^{-6} \text{ К}^{-1}$;
- теплопроводность $170 \text{ Вт/(м} \cdot \text{К)}$.

Во ФГУП «ВИАМ» организован участок металлических композиционных материалов и армирующих компонентов для них. Для развития предлагаемых наукоемких инновационных технологий и их трансферт с целью последующей коммерциализации ФГУП «ВИАМ», ОАО «Электровыпрямитель» и ГОУ ВПО «МГУ им. Н.П. Огарева» совместно с Технопарком «Мордовия» создано ООО «Поликомпонент», получившее статус резидента инновационного центра «Сколково».

ТЕПЛОЗАЩИТНЫЕ, ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННЫЕ КОМПОЗИЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ

В соответствии со «Стратегическими направлениями развития материалов и технологий их переработки на период до 2030 года» по направлению №14 «Высокотемпературные керамические и керамоподобные материалы» реализуются комплексные проблемы 14.3 «Многофункциональные теплозащитные и теплоизоляционные материалы» и 14.4 «Углеродсодержащие теплозащитные и специальные материалы на основе возобновляемых источников растительного сырья».

ВТИ-19, ВТИ-20, ВТИ-21 — гибкие теплоизоляционные материалы на основе дискретных волокон оксида алюминия. Материалы предназначены для применения в ракетах-носителях легкого, среднего и тяжелого класса, в качестве высокотемпературной изоляции и уплотнений в изделиях гиперзвуковой авиации, ракетной техники и в высокотемпературных установках и печах различных отраслей промышленности.

Также выпускается широкий ассортимент изделий из материалов на основе кварцевых и кремнеземных волокон различных плотностей — от $0,15$ до $1,50 \text{ г/см}^3$.



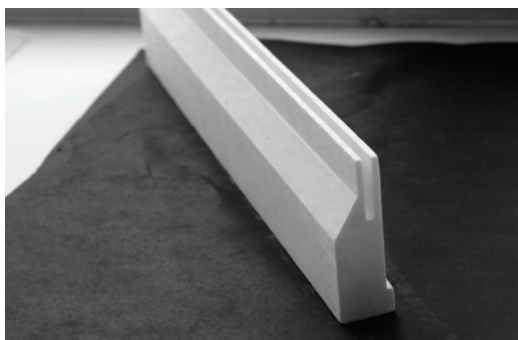
Материал на основе волокон оксида алюминия с рабочей температурой до 1700°C



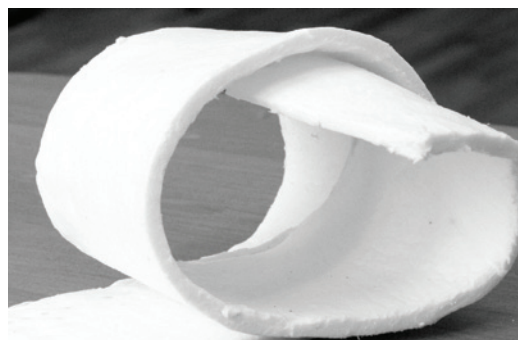
Материал ВКМ-5

Основные свойства гибких материалов на основе волокон оксида алюминия

Материал	Плотность, г/см ³	Тепло-проводность (1300°C 105 Па), Вт/м·К	Траб, °C
ВТИ-19	0,08-0,12	0,32	1700
ВТИ-20	0,18-0,23	0,34	1700
ВТИ-21	0,27-0,33	0,32	1700



Внешний вид расходного изделия для линии разливки алюминия



Внешний вид гибкого теплозащитного материала

ШТКв-10 и ШТКвМ-10 — шнуры теплоизоляционные предназначены для применения в качестве термического уплотнения, работающего в интервале температур от -130 до +1100°C.



Шнуры теплоизоляционные

Свойства шнуров

Наименование показателя	Значение свойств шнуров	
	ШТКв-10	ШТКвМ-10
Внешний вид	Белого цвета	Серебристого цвета
Диаметр шнура, мм	10 ± 2	10 ± 2
Масса 1 п.м. шнура, г, не более	50	100
Усилие, разрывающее сердцевину, кгс, не менее	1,0	3,0
Длина шнура в мотке, м	5 - 50	5 - 50
Плотность плетения, количество плетений на 100 мм	55 ± 3	50 ± 10

НАУЧНО-ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ КОМПЛЕКС ТЕПЛОЗАЩИТНЫХ И ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

Для серийного производства материалов высокотемпературной изоляции на основе непрерывных и дискретных волокон оксида алюминия во ФГУП «ВИАМ» создан производственно-технологический комплекс, включающий:

- участок производства непрерывных волокон из оксида алюминия и текстильных изделий из них;
- участок производства гибкой теплоизоляции;
- участок производства теплозащитных материалов;
- центр контроля исходных компонентов, промежуточной и конечной продукции;
- центр по исследованию, испытанию и контролю тугоплавких волокон и материалов на их основе.

В Воскресенском экспериментально-технологическом центре

ФГУП «ВИАМ» организуется производство по получению компонентов из возобновляемых источников растительного сырья, в том числе льна и других природных материалов, для теплозащитных, теплоизоляционных, текстильных и керамических материалов.

На производстве функционирует линия по очистке льняного волокна и предполагается размещение оборудования для безотходной переработки растительного сырья. Ввод участка в эксплуатацию позволит выпускать целлюлозосодержащие компоненты теплозащитных, теплоизоляционных, текстильных и керамических материалов, в том числе углеродные наполнители для специальных материалов. Также будет организовано производство дискретных высокотемпературных волокон мощностью до 3000 кг/год.



Испытательные машины для исследования микропластиков и моноволокон



Оборудование для производства текстильных теплозащитных, теплоизоляционных материалов, уплотнительных шнуров и жгутов





Исходное льняное сырье



Льняная костра



Котонин



Котонин глубокой очистки



Целлюлоза



Целлюлоза древесная отбеленная



Углен



Кострополимерный композиционный материал

НОМЕНКЛАТУРА МАТЕРИАЛОВ, ВЫПУСКАЕМЫХ В НАУЧНО- ПРОИЗВОДСТВЕННОМ КОМПЛЕКСЕ:

- дискретное волокно из оксида алюминия;
- непрерывное волокно из оксида алюминия;
- теплоизоляционные шнуры и жгуты из непрерывных волокон оксида алюминия;
- гибкие теплоизоляционные маты из дискретных волокон оксида алюминия;
- жесткие и гибкие теплозащитные материалы из волокон оксидов алюминия и кремния;
- котонин;
- волокно из оксида циркония;
- углеродсодержащие теплозащитные и специальные материалы;
- теплоизоляционные материалы с рабочей температурой от -170 до +2200°C.

ВИАМ ПРЕДЛАГАЕТ СОТРУДНИЧЕСТВО:

- По разработке новых и усовершенствованию существующих конструкционных композиционных материалов, включая полимерные, керамические и металломатричные, а также теплозащитных и теплоизоляционных композиционных материалов.
- По разработке и оптимизации технологических процессов изготовления полуфабрикатов и формования изделий из композиционных материалов.
- По оформлению комплекса нормативной и технологической документации: паспортов на материалы, технических условий, технологических инструкций, в том числе на материалы с использованием импортных компонентов.
- По поставке полимерных связующих, в том числе для безавтоматических способов формования; препрегов, включая прецизионные и для вакуумного формования, а также малогабаритных изделий из композиционных материалов.
- По поставке теплозащитных и теплоизоляционных гибких и жестких материалов, а также высокотемпературных уплотнительных шнуров.
- По поставке пенопластов различного назначения для эксплуатации в широком диапазоне температур.
- По проведению испытаний в соответствии с российскими и международными стандартами, в том числе квалификационные испытания.
- По продаже лицензий на производство разработанных материалов и технологические процессы изготовления изделий на их основе.





КОНСТРУКЦИОННЫЕ КОМПОЗИЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ

Под общей редакцией академика РАН Е.Н. Каблова
Ответственный за выпуск буклета к.т.н. Д.В. Гращенков

Составители:

Л.В. Чурсова	Т.А. Кириенко
А.Н. Бабин	Д.И. Коган
В.Г. Бабашов	А.И. Наймушин
Г.М. Гуняев	А.Е. Раскутин
С.С. Глухова	В.А. Розененкова
И.Н. Гуляев	И.И. Соколов
И.Ф. Давыдова	С.С. Солнцев
И.Ю. Ефимочкин	Е.В. Тинякова
Г.Ф. Железина	А.С. Туманов
Ю.А. Ивахненко	Н.И. Швец
Н.В. Исаева	А.А. Шавнев
Н.С. Кавун	Б.В. Щетанов
Н.С. Китаева	Н.Е. Щеголева

Редакционная группа:

Е.А. Аграфенина
М.С. Закржевская
Н.В. Савельева
И.С. Туманова

Оформление:

А.В. Андросенко
Л.Б. Ковтун
А.К. Кривушин
Э.Х. Намазова
Д.С. Трушин
Е.А. Цилин

Федеральное государственное унитарное предприятие
«Всероссийский научно-исследовательский институт авиационных материалов»

105005, Москва, ул. Радио, 17
телефон: (499) 263-86-46, факс: (499) 267-86-09,
e-mail: admin@viam.ru